

GÉPIPARI TUDOMÁNYOS EGYESÜLET

**HEGESZTETT ACÉLSZERKEZETEK TERVEZÉSE,
GYÁRTÁSA ÉS SZERELÉSE**

Budapest, 1977.

Szerző: Domanovszky Sándor
okl.mérnök

Lektor: Györgyi Ferenc
okl.mérnök

Felelős kiadó: Füzessy János

TANORG 79/1657 Készült 300 péld. 39,75 A/5-ös iv terj.

**Hegesztett acélszerkezetek tervezése,
gyártása és szerelése**

Irta: Domanovszky Sándor
okl.mérnök, okl.hegesztő szakmérnök

Lektorálta: Györgyi Ferenc
okl.mérnök, okl.hegesztő szakmérnök



1. BEVEZETÉS

A korszerű hegesztett acélszerkezetek tervezéséhez, gyártásához, szereléséhez - a hagyományos szögecselt szerkezetekhez képest - sok új, és főként mindhárom területet átfogó, komplex ismeretanyag szükséges. Jegyzetünkben (mely a hasonló című előadássorozathoz készült) megkíséreljük ezt az ismeretanyagot egységes - gyártási - szemlélet szerint összefoglalni. Célunk az érintett, önmagukban is hatalmas területet felölelő tudományokból kiszűrni a tárgyalásaink szempontjából legfontosabbakat, és rámutatni összefüggéseikre. Kiegészítjük ezeket gyakorlati tapasztalatokkal, új kutatási eredményekkel. A rendelkezésre álló keretek között részletekbe nem bocsájtkozhatunk. Ezért csak annyit mondunk el, amennyit a szerkezet-építés bármely területén dolgozó szakembernek ma általában tudnia kell (természetesen kinek-kinek saját szűkebb szakterületének műveléséhez az itt előadottnál mélyebb ismeretekkel kell rendelkeznie). Méretezési kérdésekkel nem foglalkozunk, mivel az az oktatásban és szakirodalomban kellően kitérített területet képez.

A korszerű hegesztett acélszerkezettől

- a rendeltetés célszerű betöltését,
- az esztétikus megjelenést,

valamint

- a töréssel szembeni biztonságot és
- a gazdaságosságot

követeljük meg.

Tárgyalásaink során ez utóbbi kettő szempontjainak érvényesítéséhez szükséges ismereteket tekintjük át.

1.1 A hegesztett szerkezetek sajátosságai. Újszerű követelmények a tervezés, gyártás, szerelés területén.

Az acélszerkezet építésben a hegesztésre való áttérés egy sor olyan problémát vetett fel, melyeket korábban - a szögecselt szerkezeteknél - nem ismertünk.

Ezek megoldása ma is élő, világszerte óriási erőket foglalkoztató munka. Az új kutatási eredmények, az egyre szaporodó gyakorlati tapasztalatok kapcsán, napról-napra nőnek a tervezővel, kivitelezővel szemben támasztott követelmények. Újszerű az is, hogy a saját szűkebb szakma legfrissebb tudnivalóinak mélyreható, naprakész ismerete mellett a kapcsolódó területek fejlődését és igényeit is fokozottan szem előtt kell tartani.

A következőkben - a szögecselt szerkezetekkel párhuzamot vonva - szakterületenként rávilágítunk a hegesztett szerkezetek újszerűségére, a bevezetésükkel keletkezett főbb problémakörökre.

1.1.1 Tervezés

Az anyag kiválasztás feladata a szögecselt szerkezetek esetében a szilárdsági kategória ("37"-es, "50"-es) meghatározására korlátozódott. A hegesztett szerkezetek bevezetésével együtt járó rögös törési esetek elkerülésére - kutatások ered-

ményeként - ma már egy szilárdsági kategórián belül a különböző minőségű acélok sorából, számos szempont szerint kell kiválasztani a legalkalmasabbat.

A szerkezeti elemek, a szállítási-, szerelési egységek közötti kapcsolatok kialakítása a szögecselt szerkezetek világában néhány egyszerű előírás alkalmazását jelentette. A hegesztett szerkezetek kötésének helyes kialakítása, azaz a biztonsági, gazdaságossági követelmények kielégítése (kiterjedt) ismeretkomplexumot igényel. Ide sorolandók pl. a metallurgia, a metallográfia, továbbá a különféle roncsolásmentes és roncsolásos vizsgálati módszerek mellett, a hegesztő eljárások, a hegesztő anyagok, a hegesztési technológia, az üzemi és a helyszíni adottságok.

Az alapanyagokkal, a varratokkal szemben támasztott minőségi követelmények helyes előírása általában azt igényli a tervezőtől, hogy - szemben a szögecselt szerkezetek viszonylag egyszerű eseteivel - a hegesztett szerkezeteknél (sokféle) szabvány és egyéb előírás betartásán túl további kikötéseket tegyen. Ehhez természetesen ismernie kell az érintett szakterületek mindegyikét.

A szögecselt szerkezetek többnyire két dimenzióban kiterjedt egységekből állnak és szerkezeti kialakításuk néhány tipuselem - idomacél, laposacél, szélesacél, lemez - szinte alig variálható összeállítási megoldásának felrajzolásából, ill. a kapcsoló elemek - szögecsék, csavarok - egyszerű előírások szerinti kiosztásából álló, könnyen elsajátítható munka volt, mely a tervezőtől nem igényelt különösebb gyártás- és szereléstechológiai ismereteket. Ezzel szemben a hegesztett szerkezetek - többségükben térbeli kiterjedésű - egységeinek kialakítása sokféleképpen történhet, de helyes csak akkor lehet, ha - a funkció, az esztétika és a törési biztonság mellett - a gyártástechológia feltételeit is messzemenően figyelembe veszi.

Az igénybevételi mód (statikus, ismételt) és a ridegtörési biztonság szempontjainak kielégítése a szerkezetalakításban a szögecselt szerkezeteknél alig, a hegesztett szerkezeteknél viszont nagy mértékben kell kifejezésre jusszon.

A hegesztett szerkezetek gazdaságossága sokkal nagyobb mértékben igényli a tervezőtől az üzemi, a szállítási, a szerelési adottságok, a technológiai folyamatok ismeretét, és már a vázlattervkészítés időszakában való figyelembe vételét, mint a szögecselt szerkezetek esetében.

1.1.2 Gyártás

A szögecselt szerkezetek gyártása a tervrajz szolgat lemásolásából, végleges méretre történő darabolásából, lyukfurásból, majd az elemek egyszerű, előfúrt lyukak utáni összeállításából ("egy csavar, egy dorn"), a lyukak feldörzsöléséből, szögecselésből állt. Ez nagyrészt egyszerű, rutin munka.

A hegesztett szerkezeteknél egyrészt a zsugorodások és alakváltozások ("kézben tartása"), azaz a méret és alakhelyesség, másrészt a rideg törés elkerülése, ujszerű és nehéz feladat elé állítja a kivitelező szakembereket. Az elemek darabolási méreteinek, a gyártási részegységeknek, a szerelési egységeknek, a szerkezet teljes összeállításának meghatározása; továbbá a hegesztéstechológia elemének - eljárás, hegesztőanyag, hegesztési paraméterek, hegesztési sorrend, előmelegítés, utóhőke-

zelés stb. - megválasztása; a készülékezés mértékének megállapítása, azaz a gyártástechnológia helyes kialakítása széleskörű elméleti és gyakorlati tudásanyag birtoklását, a gyártási mellett a tervezési, szállítási, szerelési szempontok egyidejű érvényesítését igényli. A munka végrehajtása képzett szakembereket, szigorú technológiai fegyelmet és korszerű üzemi körülményeket követel.

1.1.3 Szerelés

A szögecselt szerkezetek szerelése általában kisméretű egységek beemelését és a szögecs (esetleg csavar -) kapcsolatok elkészítését jelentő, viszonylag egyszerű feladat.

A hegesztett szerkezeteknél a szerelési egységek mérete, súlya egyre nagyobb. Hegesztett kapcsolatoknál komoly gond az egységek ideiglenes rögzítése. Gyakori a helyszíni gyártási tevékenység (pl. tartályoknál). A helyszíni kapcsolatok (hegesztés, NF-csavar) elkészítése nagy felkészültséget, szigorú technológiai fegyelmet, gyakran nagy áldozatok árán létrehozott "üzemi" körülményeket igényel. A hegesztett kapcsolatok ellenőrzése bonyolult feladat.

1.2 A szerkezetépítés helyzete külföldön és hazánkban

A hegesztett szerkezetek vázolt újszerű vonásai az acélszerkezet-építésben - máig sem befejeződött - forradalmi változásokat tettek szükségessé. Ezekből a legjelentősebbeket címszavakban felsoroljuk.

1.2.1 Külföldi helyzet

A hegesztett szerkezetek bevezetésének kezdete, az iparilag fejlett államokban, a harmincas évek végére tehető. Az átalakulás főbb folyamatai itt a következők.

A szerkezetalkítás fejlődésének terén három fázis határolható el:

- letérés a szögecselt szerkezeteket utánzó (un. "geschweisste Nietkonstruktion") megoldásokról;
- anyagtakarékosságra való törekvés;
- munkaerő megtakarítást, még az egyedi termékeknél is széria jellegű, gépesített gyártást lehetővé tevő, egyszerű szerkezeti kialakítások, egyben nagyméretű szerelési egységek, kevés helyszíni munka.

Az acél alapanyaggyártó ipar kifejlesztette a különböző szilárdságu és az egyes szilárdsági kategóriákon belül a különböző minőségi fokozatu acélok széles skáláját.

A hegesztőgép- és hegesztőanyag-gyártó ipar kifejlesztette a különböző eljárásokat, berendezéseket, gépeket és hozzájuk a megfelelő hegesztőanyag választékot, mellyel az acél alapanyag minőségét szükséges módon követni lehet.

A szerkezetgyártó iparban létrehozták az új technológiát. Ennek főbb műveletel: automatikus előrevéltetés és előkonzerválás, méretpontos gépi (főként NC vezérlésű) lángvágás, készülékezett gépi hegesztés, nagy szerelési egységekben való gyártás, korszerű korrózióvédelem.

Fokozott gondot fordítanak a szakember kérdésre, a tervezők és kivitelezők (szakmunkások, közép és felső szintű műszaki vezetők) képzésére, továbbképzésére. Szükségszerűvé vált a tervezés és kivitel szoros kapcsolatának kiépítése (a gyárak saját tervező gárdáival rendelkeznek, így a tervezés során a gyári adottságok maximalsan érvényre juthatnak). Új szakmát kellett teremteni: "a hegesztőmérnök", "hegesztő szakember", egész területet átfogó tevékenysége nélkülözhetetlenné vált. Rendeletek, szabványok írják elő a hegesztő szakemberek alkalmazásának szükségességét, munkaterületüket, hatáskörüket tervezés és kivitel vonatkozásában egyaránt. Ugyancsak rendeletileg szabályozzák a hegesztő szakmunkásképzés, minősítés módját is.

A legtöbb országban állami minősítő bizottság engedélyéhez kötik a hegesztett acélszerkezet gyártást. Engedélyt csak olyan üzem kaphat - meghatározott időre - melynél a szakszerű munka személyi és tárgyi feltételeit biztosítva látják.

Mindenütt - fejlesztést, szakértői, oktatási tevékenységet ellátó - önálló hegesztési kutató intézet van. Folyamatosan korszerűsített szabványok, szabályzatok összefüggő, mindenre kiterjedő hálózata irányítja az egész tevékenységet.

1.2.2 Hazai helyzet

A hegesztett szerkezetek bevezetése - mintegy negyedszázados lemaradással - a hatvanas években ment végbe.

A szerkezet-alakítás kérdése itt még nem tekinthető megoldottnak. Igen gyakoriak a túl bonyolult, munkaigényes, szakszerűtlen konstrukciók. Ez egyrészt a szakember-képzés hiányosságaira, másrészt a tervezésnek a gyáraktól elszakadt voltára vezethető vissza.

Az acél alapanyag-gyártás 1965-óta (az MSZ 6280-65, MSZ 500-66, majd különösen az MSZ 6280-74, MSZ 500-74 megjelenésével) - ha választék és főként szállítási határidő tekintetében nem is vetekszik a külföldivel - megfelelően minősíthető. (A hazai acélgyártó ipar a felszabadulás óta megnégyesezte teljesítményét és ma kb. évi 3,5 millió tonna acélt termel. - A világ össz acél termelése ezidő szerint kb. évi 650 millió tonna.)

A hegesztőgép- és hegesztőanyag - és főként a készülék - gyártás helyzete viszont siralmas, messze nem elégíti ki az ipar igényelt, legnagyobb részét importra szorulunk.

A szerkezet gyártó iparban tapasztalható fejlődés, több új gyár létesült. A régiakat azonban nem korszerűsítették kellő módon és nem kielégítő a szakember-elátottság sem. (A hazai acélszerkezet gyártó kapacitás hozzávetőlegesen évi 150 ezer tonnára tehető.)

A szakember-képzésben említésre méltó az 1961-62-ben Miskolcon és Budapesten beindult hegesztő szakmérnök oktatás, valamint a 3/1969. KGM rendelet nyomán folyó hegesztő szakember képzés és hegesztő szakmunkás minősítés. Nagy hiányszó van azonban az építőmérnök-képzés e területén és nincs megoldva az acélszerke-

zeti vonalon dolgozó mérnökök folyamatos, megfelelő irányu továbbképzése sem. Nem kielégítő a hegesztő szakmunkás képzés, továbbképzés és utánpótlás. Már vannak előírások a hegesztő szakemberek tevékenységére (pl. a "Különleges feltételek hegesztett közuti hidak gyártására", az MSZ 6442-72), mégsem nevezhetjük e területet kielégítően szabályozottnak.

Bárki gyárthat acélszerkezetet (az elmúlt években a "TSZ-melléküzemágak" tevékenysége e téren elég sok kedvezőtlen tapasztalatot eredményezett).

Hegesztési kutató intézetünk nincs. A Vasipari Kutató Intézetben működő Hegesztési osztály és a Gépipari Technológiai Intézet Hegesztési Főosztálya sokat tesz a hazai hegesztés ügyéért, de egy önálló hegesztési kutató intézet - feltétlenül szükséges - tevékenységének teljes körét nem láthatja el.

A szabványosítás vonalán van fejlődés. Számos új szabvány jelent meg (ezeket a későbbiekben ismertetjük). Még nem teljesen összefüggő azonban a szabványrendszer, sok a meg nem oldott kérdés.

A leírtakból látható, hogy hazánkban is jelentős a fejlődés, sok minden történt az elmúlt 15 év alatt az elmaradás felszámolására. Sok még azonban a tennivaló. E tanfolyammal is a további fejlődést kívánjuk elősegíteni.

2. A HEGESZTETT ACÉLSZERKEZETEK ALAPANYAGAI

A vas, ill. ötvözetek az acél az emberi tevékenység csaknem minden területén megtalálható. Szinte felülmúlhatatlan hasznosságát elsősorban kiváló mechanikai tulajdonságainak, és annak köszönheti, hogy ezeket a tulajdonságokat szükség szerint lehet befolyásolni, változtatni.

A vas a periodusos rendszer 26. helyét elfoglaló fémes elem. A természetben oxidjában (főként magnetit, hematit, limonit), ipari előállítás formájában pedig ötvözetekben fordul elő.

Acélnak nevezzük a max. kb. 2,0% szént, és egyéb ötvözőket tartalmazó vasat. Nagyobb széntartalom esetén nyersvasról beszélünk.

Az acélok ötvözetartalom szerinti csoportosítása:

- ötvözetlen acél max. kb. 0,8% szént és más ötvözőket kis mennyiségben tartalmaz;
- lágyacél olyan ötvözetlen acél, ahol a széntartalom nem lépi túl a 0,2%-ot;
- gyengén ötvözött acél az ötvözetlen acélhoz képest csekély mértékű ötvöztöbbletet tartalmaz;
- (közepesen, erősen) ötvözött acél jelentős mennyiségű (kb. 50%-ig) ötvözt tartalmaz.

A variánsok száma igen nagy. A következőkben tárgyalásunkat a mérnöki, ún. "acélszerkezetek"-ben előforduló ötvözetben és gyengén ötvözött acélok esetére korlátozzuk.

2.1 Vas- és acélgyártás

A vasgyártás a megfelelően előkészített, 20-70% vasat tartalmazó - ércből a kohósítási folyamat segítségével történik. Végtermék a lágyabb és öntöttvas gyártáshoz alkalmas szürke nyersvas (a szént grafit alakban tartalmazza), valamint a rideg és acélgyártáshoz felhasznált fehér nyersvas (a szént vaskarbid alakban tartalmazza).

Az acélgyártás a nyersvas szennyezőinek - főként a C, P, S, valamint Mn és Si - csökkentése, ill. szükség szerinti csillapítása és ötvözése megfelelő fémek, pl. Si, Mn, Al, Ti, Ni, Cr, V, Mo, W stb. hozzáadásával.

Az acélgyártási eljárások közül hazánkban a legjelentősebb az általánosan alkalmazott Siemens-Martin eljárás, mely hegesztett szerkezetekhez igen előnyös - kevés P és S szennyezőt tartalmazó - acélt eredményez. Ma azonban már nem ezt, hanem az "oxigénos konverteres" (az elkövetkező években a Duna Vasműben és a Lenin Kohászati Műveknél is bevezetésre kerül) és az "lvkemencés" (elektroacél) acélgyártó eljárást tekintik korszerűnek, fejlődőképesnek. Az acélgyártás kezdeti szakaszán alkalmazott BESSEMER és a THOMAS eljárás gyenge minőségű acélt eredményez.

Az acélgártás végtermékét vagy acélöntvények anyagaként használják fel, vagy kokillába öntve, a további melegalakításhoz - hengerléshez, kovácsoláshoz - alkalmas félkész terméket, a "bugát", v. más néven "öntecset", "acéltuskót" nyerik.

Megjegyezendő, hogy a buga méretet befolyásolják a végtermék, pl. a hengerelt lemez mechanikai tulajdonságait. A nagyobb buga ugyanis jelentősebb mértékű képlékeny alakításon megy keresztül és így mechanikai tulajdonságai kedvezőbbé válnak. (Magyarországon 1,7; 2,5 kivételesen 4,2; 4,7; max. 6 t-ás bugákat öntenek, szemben a külföldön gyakori 25 t-ás méretekkel. Ezért tudják a hazai hengerművek csak max. 60 mm-es lemezvastagságig garantálni a mechanikai tulajdonságokat, elsősorban a szívósságot, és ezért sem célszerű szerkezetünkbe 30-40 mm feletti vastagságú anyagok betervezése.)

Az acél kokillában történő dermedése során kb. 8%-os térfogatsökkenést szenved. A folyékony acélban jelen lévő oxigén a szénnel CO gázt képez, mely gázhólyagok formájában, bezáródva az öntecsbe, nagyrészt pótolja a zsugorodás okozta térfogatsökkenést. Egyidejűleg az utoljára kristályosodó részbe, a tuskó közepébe du-sulnak az acél szennyezői, főleg a C, S, P, valamint az N₂, O₂, H. Ez a bugát, ill. későbbiekben a végterméket erősen zárványossá, lunkeressé és inhomogénné teszi. Az anyag (profil acél, lemez stb.) szívóssága erősen csökken, igényesebb hegesztett szerkezetekhez alkalmatlanná válik (lásd a későbbieket is).

E kedvezőtlen jelenségek kiküszöbölhetők, ha az acélhoz kellő mennyiségű dezoxidáló elemet, elsősorban Si-t, továbbá Mn-t, Al-t, stb. adagolnak. Ezek ugyanis megkötik az oxigént, így megszűnik a forráshoz hasonló CO képződés - az acél csillapítottá, nyugtatottá válik - elmaradnak a gázhólyagok és jelentősen csökken a dusulás mértéke is. A gázcsökkenés következtében azonban lejátszódhat a tuskó zsugorodása, ezért felül mély beszívódás keletkezik, melyet hengerlés előtt el kell távolítani. A kihozatál így kb. 70%-ra csökken, szemben a csillapított acél kb. 90%-os kihozatalával.

A félig csillapított acélok a két eset közötti átmenetként kompromisszumos megoldást jelentenek.

2.2 Az acél mechanikai tulajdonságai és azok vizsgálata

A mérnöki szerkezetek acélját elsősorban mechanikai igénybevételnek vannak kitéve. Fontos tehát ismerni azokat a tulajdonságokat, melyek az acél ezen igénybevételekkel szembeni teherbírását jellemzik, ill. azokat a módszereket melyek e tulajdonságok mérésére szolgálnak.

Korábban a szögecselt szerkezetek idejében egyértelműen "szilárdsági tulajdonságok"-ról beszéltünk (a vonatkozó MSZ 105-ös szabvány ma is csak "szilárdsági vizsgálatok"-at ismer). A hegesztett szerkezeteknél azonban eminens szerepet kapott a rideg törés, amikor is a "szilárdság" szó inkább csak a szakítószilárdság és folyáshatár fogalmaira illik (ide sorolható még: a keménység és a kifáradáshatár). Az ezek növekedésével általában csökkenő tendenciát mutató (és a ridegtöréssel érzékenységet ellenkezőleg befolyásoló) nyulás, kontrakció, hajlítási szög inkább a "képlékeny" tulajdonságok, az úgynevezett hajlító vizsgálattal nyert ütmunka pedig a "szívós" tulajdonságok jellemzésére szolgál. Helyesebb tehát a

"szilárdsági tulajdonságok" helyett a "mechanikai tulajdonságok" gyűjtőfogalom használata. (Célszerű a megkülönböztetés azért is, mert az acél tulajdonságait megváltoztató ötvözők többnyire ellenkező hatást fejtenek ki; pl. az ún. "szilárdságnövelő" Cr növeli a szakítószilárdságot, de csökkent a többi szilárdsági jellemzőt.)

A mechanikai tulajdonságokat az alább ismertetett vizsgálatok segítségével határozzák meg. Alapvetően fontos azonban világosan látni azt, hogy az eredmények (főként a képlékenységi és szívóssági esetekben) csak a vizsgálat pontosan definiált körülményekre igazak. Nem használhatók tehát más körülmények között, általában másképpen igénybevett és más kialakítású szerkezetekhez közvetlen mérőszámként. A korreláció megállapítása - tapasztalati és kísérleti adatok alapján megalkotott - szabályzatok, szabványok alapján történik, vagy ezek hiányában tervezői feladatot képez.

2.2.1 Szakítóvizsgálat

A legrégebbi, máig is általánosan használt vizsgálat. Segítségével megállapítható az acél húzó szilárdsága, folyáshatára, nyulása, kontrakciója. Tehát a méretezés alapjául szolgáló adatot (amely tulajdonképpen a folyáshatár) ez a vizsgálat szolgáltatja. Korábban ez volt a legfontosabb vizsgálat, ma - mivel az acél ridegtörési érzékenysége nem utal - jelentősége csökkent.

A vizsgálatot az MSZ 103-66 szerint kivett, és az MSZ 105/1-72 szerint kialakított hengeres, vagy lapos próbapálcán, ugyane szabvány szerint hajtják végre. (Megjegyezzük, hogy az MSZ 105/1-72 új jelölési rendszert vezetett be - pl. a nyulást " " helyett "A"-val jelölt, stb. - mi azonban megmaradunk a műszaki gyakorlatban ma is élő eredeti jelölési rendszer és dimenziók mellett.)

A vizsgálat eredményeit a szakítódiaگرام ábrázolja, melyet a gép maga rajzol fel. A főbb paramétereket: a folyáshatárt és szakítószilárdságot a gép műszeréről leolvasás útján, a nyulást és a kontrakciót pedig a próbatest szakítás utáni lemérésével állapítják meg.

A szakítódiaگرامnak a következő jellemző szakaszai vannak (1. ábra):

G_A terhelésig terjed a rugalmas nyulás tartománya (A pont). Ezen belül, terhelés után a próbapálcá visszanyeri eredeti alakját (gyakorlatilag legalábbis úgy vehető). Erre a szakaszra érvényes a Hooke törvény:

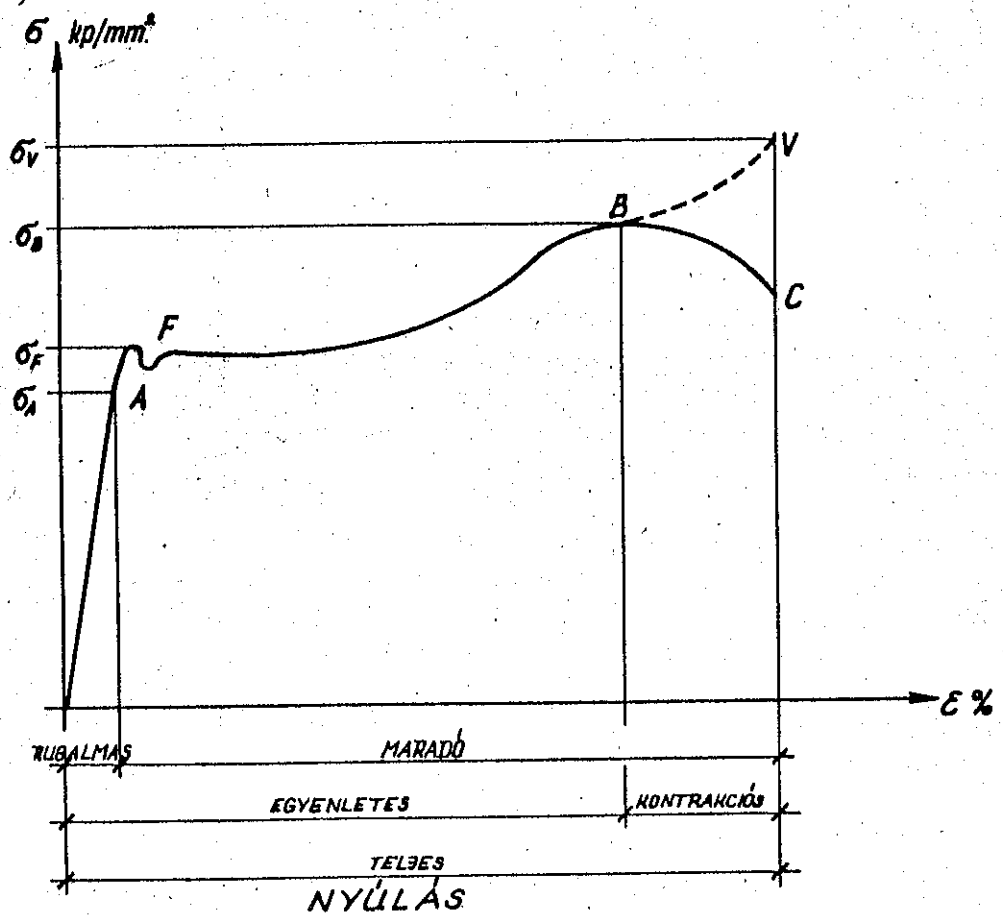
$$G = E \epsilon \quad (\text{kp/mm}^2)$$

ahol $E = 21,000 \text{ kp/mm}^2$ az acélokra érvényes rugalmassági tényező

$$\epsilon = \frac{L_c - L_0}{L_0} \% \text{ fajlagos nyulás}$$

Lo a jeltávolság igénybevétel előtt
 Le - " - feszültség alatt

A terhelés feletti feszültségek esetén a próbatest maradó alakváltozást szenved.



1. ábra

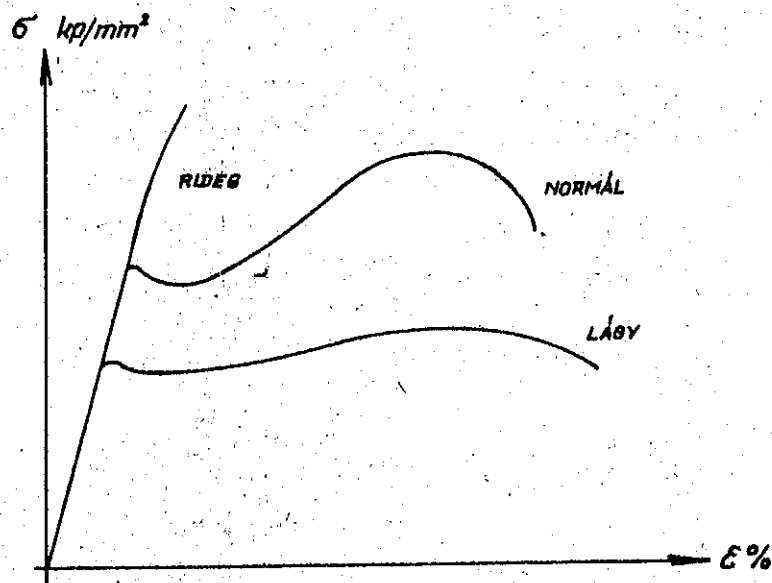
Az ötvöztelen acél szakítási diagramja

σ_F terhelésnél indul meg az anyag folyása (F pont). Itt kicsit visszaesik a diagram (a folyás alsó határát), majd a folyás (hidegalakítás) következtében felkeményedett anyag nyújtása az erő (feszültség) további növekedését igényli. σ_B terhelésnél a görbe eléri maximum pontját. Itt ugyanis megindul a kontrakció. A feszültség továbbra is emelkedik, de miután a görbe a σ_F eredeti - és nem a kontrahált - keresztmetszetre vetített értéket ábrázolja, első szakasz következik. A kontrahált keresztmetszetre (F_0) számított, ún. valódi feszültség-ét (σ_v) ábrázolva a görbe a szakadásig töretlenül emelkedik.

A mérnöki szerkezeteknél a σ_F folyáshatárnak van a legnagyobb szerepe, mivel azok a folyás beindultával tulajdonképpen tönkrementnek tekintendők. A méretezési feszültségeket - megfelelő biztonsági tényezők alkalmazásával - ebből vezetik le. (Ezért iparkodnak az acélművek a folyáshatárt - a szakítószilárdsághoz viszonyítva is - növelni és ezért csoportosítjuk ma az acélokat egyre inkább a folyáshatár szerint, ill. ezért beszélünk inkább "növelt folyáshatáru", mint "növelt szilárdságu" acélokról.)

A szabványok megadják a szakítószilárdság felső határát is. Ez azért fontos, mert a szilárdság növekedésével nő az acél edződési hajlama és ezzel - hegesztett szerkezeteknél - a repedés veszélye. Ha tehát arról kell döntenünk, hogy egy szabványostól eltérő szilárdságu acélt beépítsünk-e, óvatosabban kell eljárjunk ha szilárdsága nagyobb, mint ha kisebb az előírtnál.

A vázolt diagram a (képlékeny hegesztett acélszerkezetekhez alkalmas) acélokat jellemzi. Minél képlékenyebb egy anyag, annál hosszabb és minél ridegebb, annál rövidebb a teljes maradó nyulás szakasza (2. ábra). Rideg anyagok folyáshatára nem állapítható meg (0,2% maradó fajlagos nyuláshoz tartozó σ_F -et szokás venni), a szakítódigram közelít az egyeneshez, a szakadás kontrakció nélkül. Ezeknél az eredeti keresztmetszetre számított σ_B közel egyenlő a σ_v -vel.



2. ábra
Különféle acélok szakítódigramjai

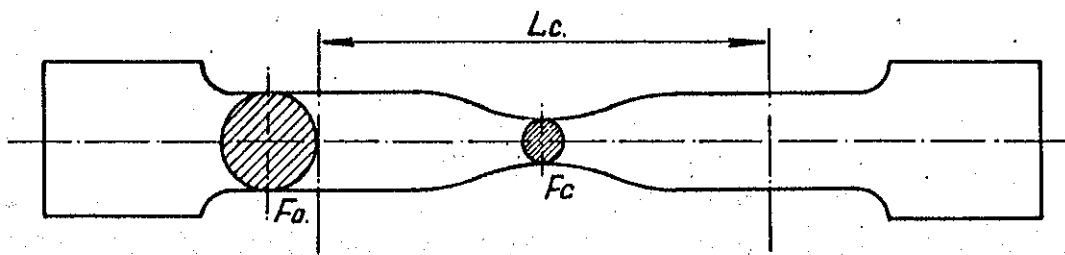
A nyulás megállapításához előzőleg "jeltávolság"-ot ütnek a próbapálcába (L_0). Ez szokás szerint hengeres próbapálcán 5 d ("d" a próbapálcát átmérője), négyszögszelvényű próbatesteknél $5,65\sqrt{F_0}$ hosszúság. (F_0 a keresztmetszet területe.)

A szakadási nyulás a jeltáv szakítás után lemerített hosszából (L_c) számítható (3. ábra):

$$\delta_5 = \frac{L_c - L_0}{L_0} \cdot 100 (\%)$$

A kontrakciót a szakadási keresztmetszetből (F_c) számítják (3. ábra):

$$\psi = \frac{F_0 - F_c}{F_0} \cdot 100 (\%)$$



3. ábra

Szakító próbatest (körkeresztmetszetű, kontrahált)

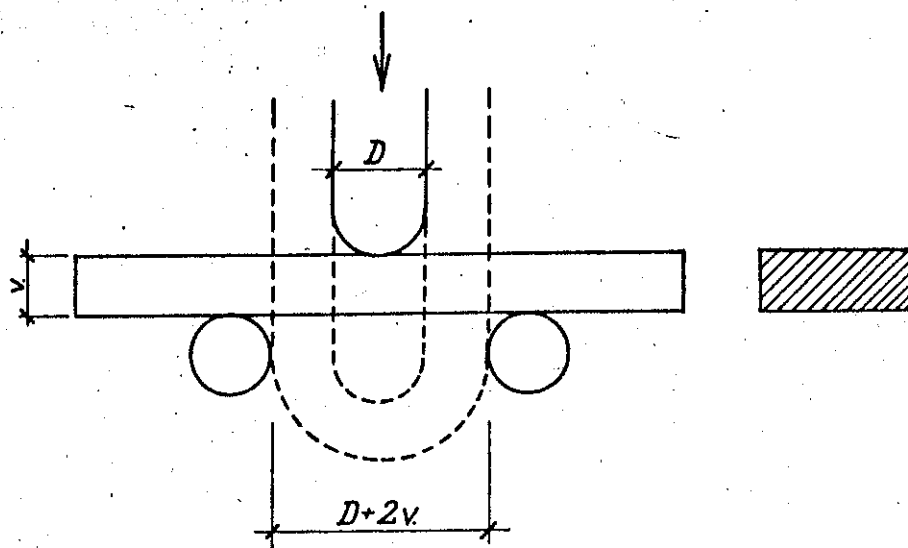
A terhelés sebességének a fokozásával a folyáshatár és a szakítószilárdság növekszik, míg a nyulás, kontrakció csökken. Ezért a terhelés sebességét is előírja a szabvány.

2.2.2 A hajlító vizsgálat

A hajlítóvizsgálatot az MSZ 103-66 szerint kivett próbapálcán, az MSZ 5702-66 szerint kell végrehajtani.

Lényege, hogy a megszabott távolságu alátámasztó görgőkön elhelyezett próbapálcát megszabott átmérőjű nyomóhengerrel terhelve hajlítják meg (4. ábra). A hajlítás sugarát és szögét az anyagszabványok írják elő.

Főként az anyag képlékenységre utaló, de az esetleges belső hibákat (rétegesség, rostosság, zárványosság, stb.) is feltáró vizsgálat, melynek szerepe a hegesztett szerkezeteknél fokozott jelentőségűvé vált, bár eredménye közvetlen mérőszámként nem használható.



4. ábra

Hajlítóvizsgálat

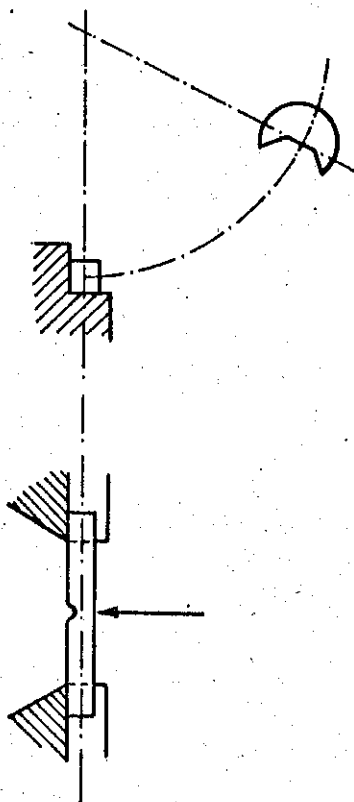
2.2.3 Bemetszett próbatest ütővizsgálata

Az ütővizsgálat (ülve hajlító vizsgálat) a hegesztett szerkezetek megjelenését, ill. a rideg törések előfordulását követően került bevezetésre, az anyag szívósságának, ill. ridegtörési érzékenységének ellenőrzésére. 1965 óta itthon is a minőségi acélok átvételénél (MSZ 6280-65, MSZ 500-66) kötelezően elvégzendő vizsgálat. (Szerepe nagy jelentőségű, ezért azzal a ridegtöréssel kapcsolatos fejezetben külön is foglalkozunk.)

A vizsgálatkal kapcsolatos előírásokat az MSZ 105/16. lap-60 és az MSZ 105/17. lap-67 tartalmazzák.

Tárgyalt acéljaink - mint azt a szakítóvizsgálattal kapcsolatban már részleteztük - szobahőmérsékleten végzett szakítóvizsgálathoz képest eltérő tulajdonságaik. Bizonyos körülmények között azonban rideg állapotba kerülnek. Ezek: az igénybevétel dinamikus hatása, térbeli feszültségállapot, alacsony hőmérséklet (a rideg törés három tényezője). Az ütővizsgálat mindhármát magában foglalja. A vizsgálati feltételeket nemzetközileg szabványosították.

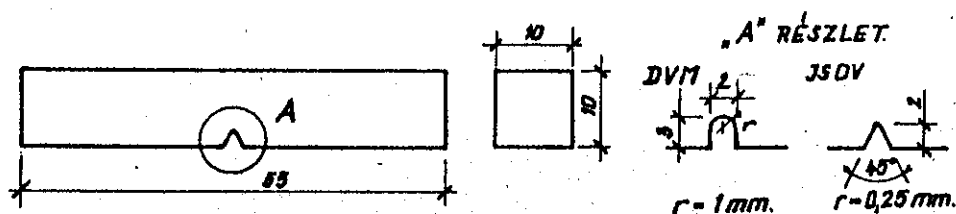
Az igénybevétel dinamikus hatását (másképpen fogalmazva: megszabott sebességű terhelést) meghatározott kialakítású ütőművel hozzák létre. Ez gyakorlatilag egy inga, melynek előírt súlyú kalapácsa adott sebességgel üt a próbapálcára. A töréshez szükséges munka a próbapálcák szívósságával arányos.



5. ábra
Útővizsgálat

A térbeli feszültségállapotot a próbapálca bemetszésével idézik elő. Hazánkban kétféle bemetszés használatos. Az U-bemetszésű (DVM) próbán 1 mm sugarú és 3 mm mély, míg a V-bemetszésű (ISO V) próbán 0,25 mm sugarú és 2 mm mély bemetszést alkalmaznak.

Egyebekben mindkét próbapálca azonos, 10x10 mm keresztmetszetű, 55 mm hosszú hasáb (6. ábra).



6. ábra

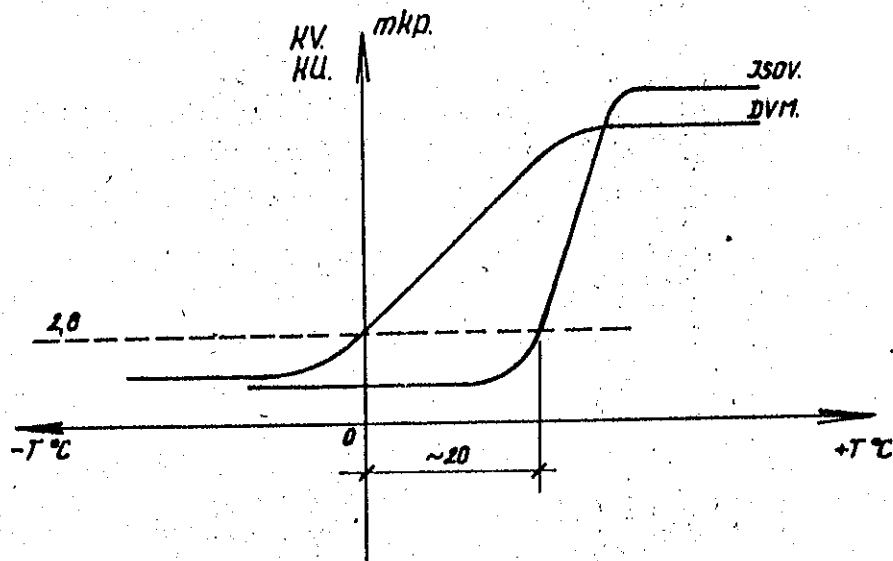
Útőpróbatestek (DVM és ISO V) kialakítása

A bemetszés iránya (egyezményesen) merőleges a lemez síkjára. A próbapálcát lehet akár hossz- vagy keresztirányban is kivenni. Az utóbbi általában a szigorubb (a törés hengerlést "szál" irányu). A kettő közötti eltérés az anyag izotrópiájára, ill. anizotrópiájára utal. A kivétel módját a szabványok rögzítik.

A vizsgálati hőmérsékletet az anyagszabványok írják elő, éspedig az anyag minőségi fokozatai szerinti lépcsőkben, általában $+20^{\circ}\text{C}$ - 50°C -ig terjedő tartományban. Az előírt hőmérséklet függ a próbapálcá bemetszésétől. A V-bemetszésű próbapálcán általában 20°C -al magasabb átmeneti hőmérsékleten írják elő a vizsgálatot, mint az U-bemetszésűn. Az éles bemetszés ugyanis szigorubb vizsgálati feltételeket jelent. (Pontos korrelációt a kettő között felállítani igen nehéz, sok körülménytől függ, inkább 25 - 28°C .) A 6280-74-es szabvány függeléke tartalmaz összehasonlító táblázatot.

A három tényező közül gyakorlatilag a hőmérséklet változtatható legkönnyebben. Ezért a másik kettőt állandónak fogadták el és a vizsgálatok során csak a hőmérsékletet változtatják.

Egy adott acélból készült próbapálcá sorozat különböző hőmérsékleten vizsgált értékeit ábrázolva a hőmérséklet-útómunka diagramot kapjuk. Megállapítható, hogy minden acélnál hasonló jellegű diagramot nyerünk, főként a függőleges tengelyhez mért helyzetük változik. Egy közel vízszintes szakaszt - a negatív hőmérséklet felé haladva - eső szakasz, majd újra vízszintes követ. Az eső szakasz környezetében van a vizsgált acél szivós-rídeg állapota közötti átmenet. Ez a DVM próbánál a Charpy V próbához képest kb. 20 - 25°C -al az alacsonyabb hőmérsékletek fele eltoltnak jelentkezik és bizonyos szórás tartománya van. Ez is oka annak, hogy ma már mindenképp áttérnek a Charpy V próba alkalmazására. (Igy jár el az MSZ 6280-74-is.) A szivós szakaszban viszont a V bemetszésű próba ad magasabb értékeket (7. ábra).



7. ábra

Az átmeneti hőmérséklet alakulása

DVM és ISO V próbapálcákkal történő vizsgálat esetén

Az MSZ 6280/74 szerint átmeneti hőmérsékletnek a 37-es és 45-ös acéloknál a 2,8 mkp ($3,5 \text{ mkp/cm}^2$), az 52-es acéloknál 4 mkp (5 mkp/cm^2) energiaszínhez tartozó hőmérsékletet fogadták el. (Az MSZ 4308/1 lap-69 ettől eltérően - véleményünk szerint helyesebben - a 24 kp/mm^2 névleges folyáshatáru acélokra 2,8 mkp, a 30 kp/mm^2 névleges folyáshatáruakra 3,5 mkp, a 36 kp/mm^2 névleges folyáshatáruakra pedig 4,2 mkp energiaszínhez rendeli az átmeneti hőmérsékletet.) A szabványos acéloknál a hengermű szavatolja a minőségi fokozatok szerint megadott hőmérsékleten előírt energia szintet.

A vizsgálati értékek jelölése ujabban az alábbiak szerint történik:

U bemetszésű próbán ($T^\circ \text{C}$ hőmérsékleten) mért ütőmunka (energiaszín): KU_T (mkp)

V bemetszésű próbán ($T^\circ \text{C}$ hőmérsékleten) mért ütőmunka (energiaszín): KV_T (mkp)

U bemetszésű próbán ($T^\circ \text{C}$ hőmérsékleten) mért fajlagos ütőmunka: KCU_T (mkp/cm^2)

V bemetszésű próbán ($T^\circ \text{C}$ hőmérsékleten) mért fajlagos ütőmunka: KCV_T (mkp/cm^2)

A (pl.) 2,8 mkp energiaszínhez tartozó átmeneti hőmérséklet

U bemetszésű próbán mérve: $TTKU_{2,8} (^{\circ}\text{C})$

V bemetszésű próbán mérve: $TTKV_{2,8} (^{\circ}\text{C})$

Az elmondottakból kitűnik, hogy egy adott vizsgálati eredmény csak akkor értékelhető, ha a vizsgálat összes körülményeit:

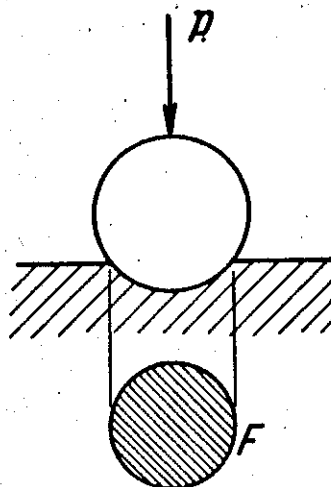
- a próbapálya helyzete a hengerlési irányhoz képest,
- a bemetszés iránya a lemez síkjához képest,
- a bemetszés fajtája (U, V)
- a vizsgálati hőmérséklet ($^{\circ}\text{C}$)
- az energiaszín, vagy fajlagos ütőmunka (KU, KV vagy KCU) egyértelműen megadjuk. (Erre jegyzőkönyvezéskor ügyelni kell!)

2.2.4 Keménységmérés

Az acél szilárdsági tulajdonságai közé tartozik a - szakítószilárdsággal, folyáshatárral egyenes arányban összefüggő - keménysége is. Ennek mérésére a következő módszerek használatosak.

A Brinell-keménység mérés (az ezzel kapcsolatos előírásokat az MSZ 105/9. lap-68 és az MSZ 105/10. lap-50 tartalmazzák) egy acél golyónak - pontosan meghatározott feltételek mellett - az acél felületébe való benyomásával történik (8. ábra). A Brinell keménység (HB) a terhelő erő, valamint a benyomódott gömbsüveg felületének hányadosaként - kp/mm^2 dimenzióval - adódik.

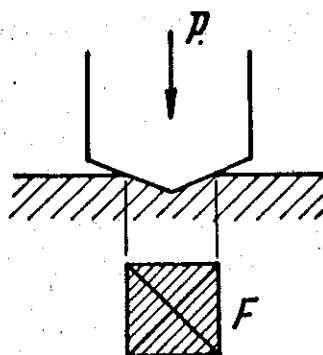
Ezt a módszert - mivel a mérőeszköz acélgolyó - csak kb. 400 kp/mm^2 HB-ig célszerű alkalmazni (mely kb. $\sigma_B = 135 \text{ kp/mm}^2$ szakítószilárdságnak felel meg).



8. ábra

Brinell-keménységmérés

A Vickers-keménység mérés (a vonatkozó előírásokat az MSZ 105/8. lap-65 és az MSZ 105/12. lap-66 tartalmazzák) egy gyémántgúlának - pontosan meghatározott feltételek mellett - az acél felületébe való benyomásával történik (9. ábra). A Vickers keménységet (HV) a terhelő erő és a benyomódás felületének hányadosa adja, kp/mm^2 dimenzióval.



9. ábra

Vickers-keménységmérés

Tekintettel arra, hogy a mérőeszköz itt gyémánt gula, az eljárás a legkeményebb anyagok mérésére is alkalmas ($\text{HV} = 900 \text{ kp/mm}^2$, ami kb. 302 kp/mm^2 szaktitkoszt-lárdságnak felel meg).

A hegesztési varratok és hőhatásövezetük keménységének mérésére a 10 kp terhelő erővel végrehajtott Vickers keménység mérést (HV 10) alkalmazzák. Így az acélszerkezet gyártásban ez terjedt el, a többinek itt nincs gyakorlati jelentősége.

A Rockwell-keménység mérés (a vonatkozó előírásokat az MSZ 105/11. lap-66 tartalmazza) vagy gyémánt gulának (HRA és HRC), vagy acél golyónak (HRB) - pontosan meghatározott módon, három lépcsőben - az acélba való benyomásával történik. A második terhelés okozta benyomódás mélységét mérik és ebből közvetlenül számítják - a dimenzió nélkül - Rockwell keménységet. A mérés így gyorsabban végrehajtható az előző kettőnél.

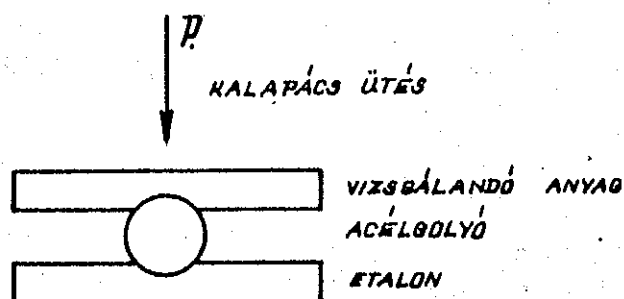
A háromféle keménységmérés értékeinek egymással és a vizsgált anyag szakítószilárdságával való közelítő összehasonlítását az MSZ 105/13-54 tartalmazza. Ebből kiemelünk néhány olyan értéket, mely az acélszerkezetek anyagainál, ill. varratainál és azok hőhatásövezeténél előfordul (1. táblázat).

HV kp/mm ²	HB kp/mm ²	HRC	HRB	σ_B kp/mm ²
110	105	-	60	37
150	145	-	78,2	52
200	197	-	92,8	70
250	249	24,3		88
300	300	31,8		107
350	352	37,7		125

1. táblázat

Megjegyezzük, hogy a hegesztés hőhatásövezetében megengedett legnagyobb keménység 300, ill. 350 HV (lásd a 3.2 fejezetet).

Vitás esetekben a szerkezeten magán gyorsan, egyszerűen roncsolásmentesen lehet a Poldi-kalapács segítségével az acél szakítószilárdságára következtetni (kb. 5-10%-os pontossággal). Lényege az, hogy kalapács ütés hatására egy acélgolyó ismert szilárdságú etalon rudba és a vizsgálandó acélba történő benyomódását megmérjük. A két gömbsülveg átmérőjének viszonyából - táblázat segítségével - megkapható a keresett szakítószilárdság (10. ábra).

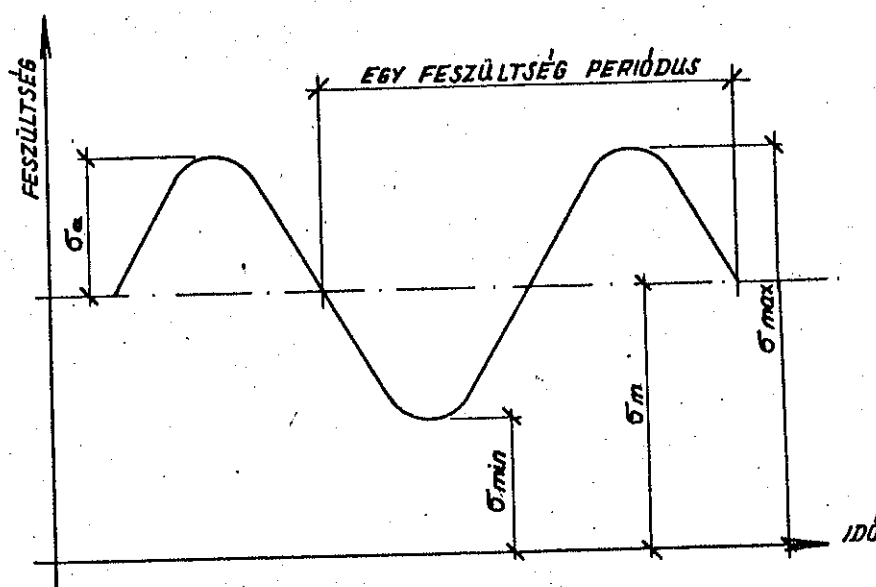


10. ábra

Keménységmérés Poldi-kalapáccsal

2.2.5. Fáradásvizsgálat

Az acél szakító szilárdságán egyszeri, folyamatos igénybevétellel meghatározott mérőszámot értünk. Amennyiben egy acél igénybevétele nem állandó (statikus), hanem azt változtatják, akkor az acél - a terhelés módjától (terhelésváltozások száma, terhelés mértéke, jellege) függően - már jóval a szakítószilárdság alatti igénybevételnél is -kontrakció nélkül- törik. A jelenséget "fáradt törés"-nek nevezzük. A periódikusan ismétlődő feszültségek jellemző értékeit a 11. ábra szerint jelöljük.



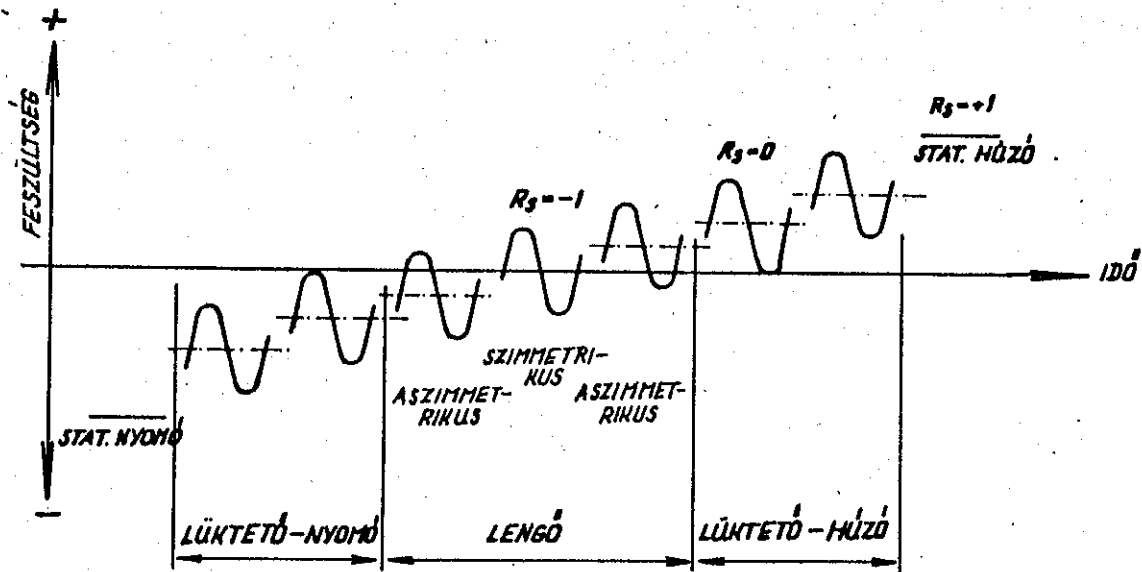
σ_a - FESZÜLTSEG AMPLITÚDÓ
 σ_{min} - LEGKISEBB FESZÜLTSEG
 σ_{max} - LEGNAGYOBB FESZÜLTSEG
 $\sigma_m = \frac{\sigma_{max} + \sigma_{min}}{2}$; KÖZÉPFESZÜLTSEG
 $R = \frac{\sigma_{min}}{\sigma_{max}}$; FESZÜLTSEGARÁNY

11. ábra

A fárasztó igénybevétel jellemző feszültségértékel

A fárasztóvizsgálattal kapcsolatos fogalmakat, jelöléseket, a vizsgálat végrehajtását az MSZ 105/14-72, valamint az MSZ 105/19-71 és MSZ 105/20-71 tartalmazzák.

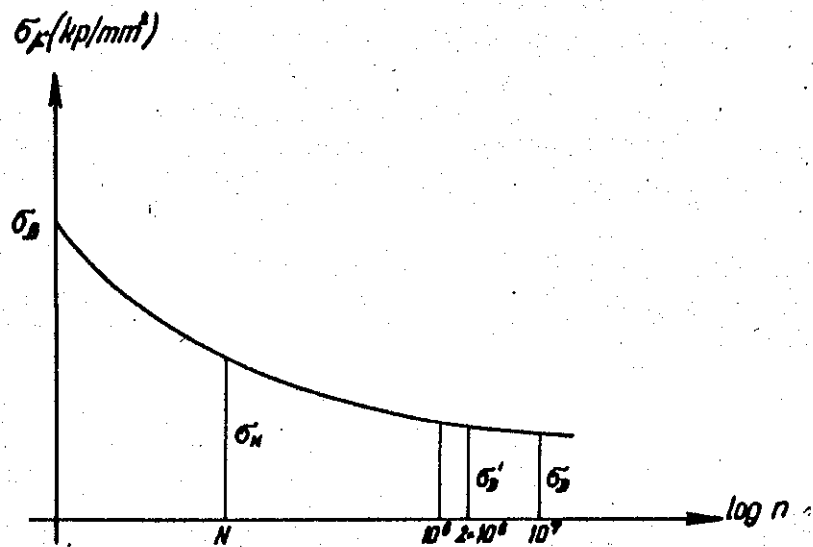
Az igénybevétel módjának meghatározó szerepe van az acél fáradási szilárdságának alakulásában. A 12. ábra szerinti fő igénybevételi típusokat különböztetjük meg normál igénybevétel esetekre (de hasonlóan járunk el másfajta igénybevételek esetén is).



12. ábra

Igénybevételi típusok

Az igénybevétel ismétlések száma és a törőfeszültség közötti összefüggést az ún. "Wöhler-görbe" szemlélteti. A vízszintes tengelyen ábrázoljuk az ismétlések számát (logaritmikus léptékben), a függőlegesen a feszültség-amplitudót (13. ábra).

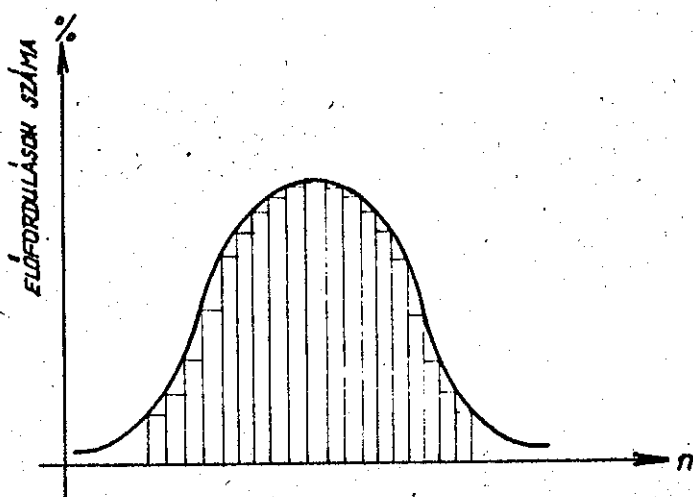


13. ábra

Wöhler-görbe

A görbe $2 \cdot 10^6$ ismétlődési szám fölött már közeledik a vízszinteshez. A mérnöki gyakorlatban az ehhez tartozó feszültségértéket "kifáradási határ" ("fáradási szilárdság")-nak nevezzük. Jele: σ_D . A kisebb igénybevételi számokhoz a "tartamzilárdság" (σ_N) tartozik. A méretezés a szerkezet megkívánt élettartama alatt várható igénybevétel-ismétlődés alapján valamely σ_N -re, vagy σ_D -re történik.

A görbe megrajzolásához lehetőleg minél több próbapálcát kell egy-egy feszültség-szinten elfárasztani. Az így nyert adatokból rajzolt hisztogramot megközelítő sűrűség-függvény (14. ábra) alapján megállapítható, hogy az egyes értékek hány százalékos valószínűséggel fognak előfordulni.



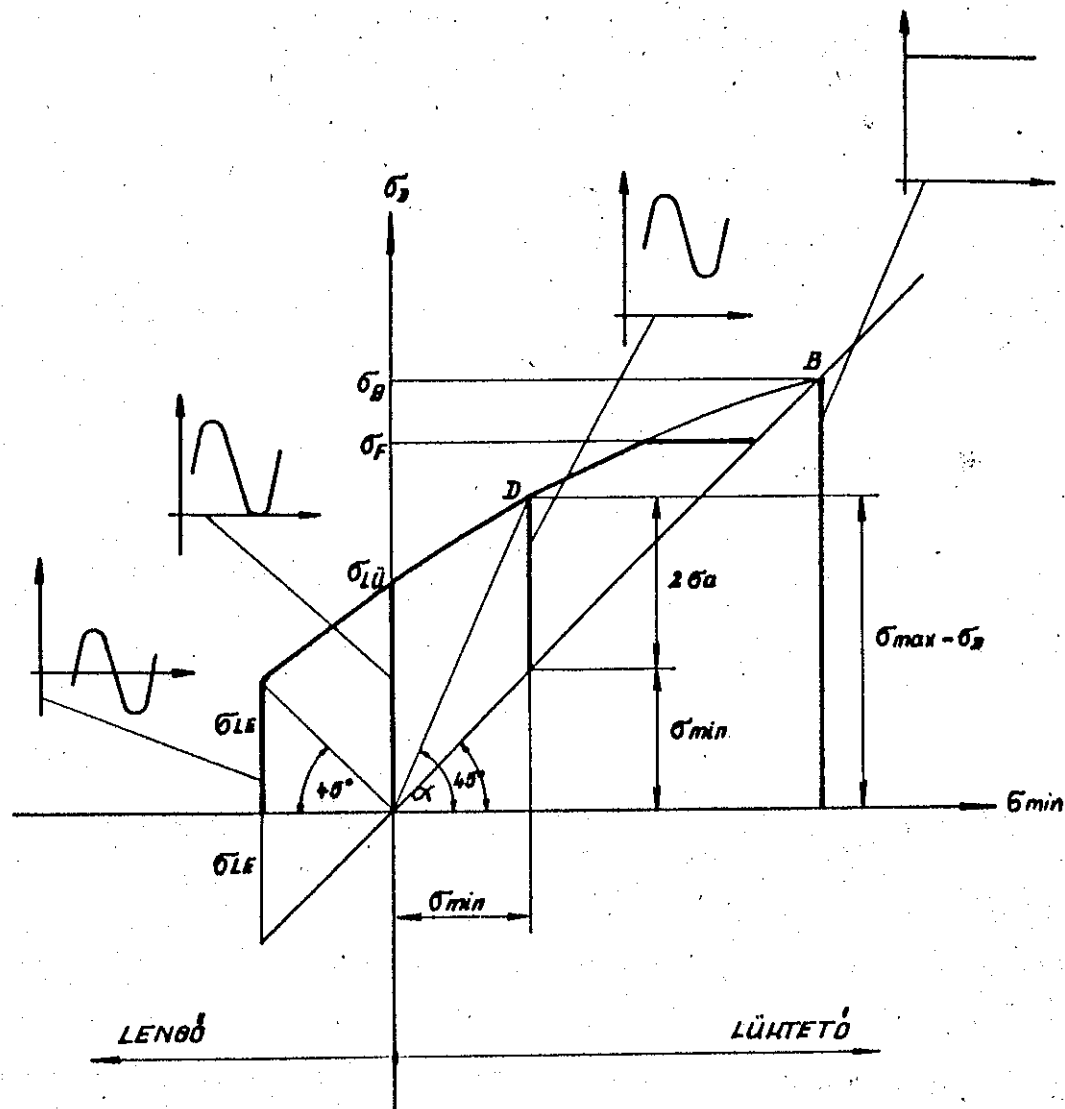
14. ábra

Az egy feszültség-szinten végrehajtott vizsgálatok eredményeire ábrázoló hisztogram és az ezt közelítő sűrűségfüggvény

A tervező feladata a biztonság megkívánt valószínűségének – és ennek alapján a szerkezetben megengedhető igénybevételnek – a kiválasztása. (Pl. egy híd leszakadásának valószínűségét jóval kisebbre kell választani, mint egy főtengely törését.)

A kifáradási határ megállapításához szükséges nagyszámú próbatest költséges és időrabló vizsgálatának egyszerűsítésére több csak néhány próbatestet igénybevevő vizsgálati módszert dolgoztak ki (pl. a Prot-féle eljárás, vagy a Locati módszer, mely csak egy próbatestet igényel).

Minden egyes igénybevételi módhoz külön Wöhler-görbe tartozik. A terhelési esettől függő és a méretezés alapjául szolgáló kifáradási határértékeket többféle módon lehet ábrázolni. Ismeretes a Haigh, Jasper, Smith, valamint a mérnöki gyakorlatban leginkább alkalmazott Goodman-féle ábrázolási mód (15. ábra).



15. ábra

A Goodman-diagram

A Goodman diagram vízszintes tengelyére a σ_{min} , a függőlegesre a σ_D kerül. Az origón átmenő, 45°-os hajlású egyenes és a $\sigma_B = \sigma_{min} = \sigma_{max}$ (Statikus törőszilárdság) metszéke adja a görbe egyik végpontját. A $\sigma_{min} = 0$ pontnál a görbe a 0-kezdésű lüktető feszültséghez tartozó $\sigma_D = \sigma_{Lu}^{min}$ értéket metszi ki az ordináta tengelyből. Az abszcissza tengellyel 135°-ot bezáró egyenessel a szimmetrikus lengő terheléshez tartozó $\sigma_D = \sigma_{Le}$ értékkel való metszéspontja adja a görbe másik végpontját. A 45°-os egyenes és a görbe közötti függőleges metszések az adott σ_{min}

és a kifáradási határhoz tartozó feszültségamplitudó kétszeres értékelt adják. Az ordináta tengelytől jobbra eső vonalszakasz a lüktető, a balra eső pedig a lengő igénybevételekhez tartozó kifáradási határ feszültség értékelt adja meg.

A gyakorlatban használatos diagramok általában az

$$R_s = \frac{\sigma_{\min}}{\sigma_{\max}}$$

"feszültségarány"-ra épülnek (pl. az MSZ 6441-72).

A Goodman diagramból az R_s értékekhez tartozó fáradási szilárdságokat is megkaphatjuk. Ugyanis az origóból húzott egyenes hajlásszöge:

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{\sigma_{\max}}{\sigma_{\min}} = \frac{1}{R_s}$$

Szokás az R_s értékekhez tartozó kifáradási határokat is görbékkel ábrázolni. A három jellemző pontot itt a

$$\begin{aligned} \sigma_{\min} &= \sigma_{\max} = \sigma_B ; R_s = 1 && \text{(statikus igénybevétel)} \\ \sigma_{\min} &= 0 ; R_s = 0 && \text{(nullkezdésű lüktető igénybevétel)} \\ \sigma_{\min} &= -\sigma_{\max} ; R_s = -1 && \text{(lengő igénybevétel)} \end{aligned}$$

értékek adják.

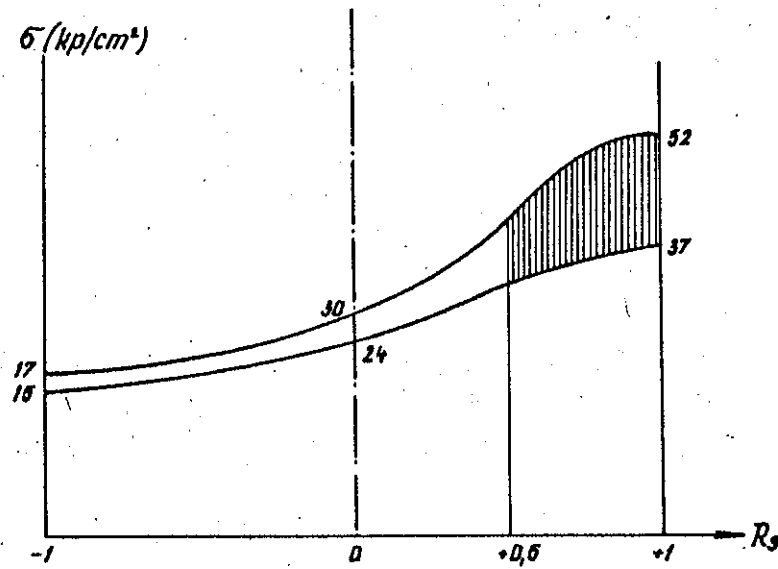
Az 52-es és 37-es acélokra ilyen módon felrajzolt fáradási szilárdság diagramokat a 16. ábra szemlélteti (Jasper-diagram).

A kifáradással kapcsolatosan - tárgyalásaink szempontjából - alapvető fontosságuk a következők:

- Az acélnak - szemben más fémekkel - fontos tulajdonsága, hogy kifáradási határa van. Ez a gyakorlat számára azt jelenti, hogy σ_D alatti feszültség végtelen számú ismétlődés esetén sem okoz törést, az acélszerkezetek tehát kellő biztonsággal méretezhetők kifáradásra.
- Az acél kifáradási határa nem acélminőség függő (pl. a B és a D fokozatok szerinti acélok fáradási szilárdsága gyakorlatilag azonos).
- A kifáradási határt döntő módon befolyásolják a feszültségviszonyok. Minél kisebb az $R_s = \frac{\sigma_{\min}}{\sigma_{\max}}$ arány, annál kedvezőtlenebb az igénybevétel, ill. annál alacsonyabb lesz a kifáradási határ.

- A különböző szilárdságú acélok kifáradási határában csak $R_g = 0,5$ körül van jelentős különbség. Ennél kedvezőtlenebb igénybevételek esetén (pl. lengő terhelés) nem indokolt a 37-es-nél nagyobb szilárdságú acélok alkalmazása.

Az elmondottak elsősorban az acél alapanyagra vonatkoztak. Az acélszerkezetek kifáradási tulajdonságairól a későbbiekben lesz szó.



16. ábra

A fáradási szilárdság változása az R_g függvényében a 37-es és az 52-es acéloknál (Jasper-diagram)

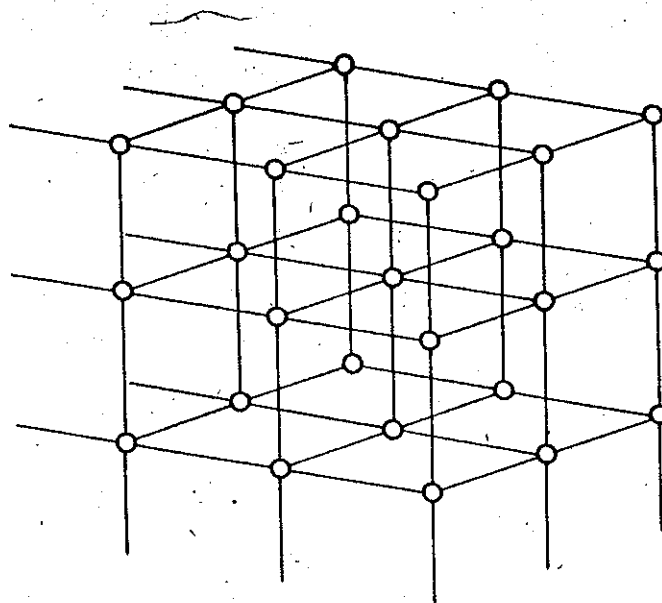
2.3 Az acél fémtani szerkezete, hő hatására abban végbemenő változások, ezek hatása a mechanikai tulajdonságokra.

Az acél előző fejezetben részletezett mechanikai tulajdonságait belső (fémteni) szerkezete, valamint vegyi összetétele szabják meg. Az acél belső szerkezetét "kikészítés"-ével (hengerlés, hőkezelés, kovácsolás), összetételét ötvözással lehet szabályozni. Az acél utólérhetetlen hasznossága éppen abban rejlik, hogy tulajdonságait - ezek megfelelő szabályozásával - szinte tetszés szerint alakítani tudjuk.

A következőkben röviden átfutjuk ennek a hatalmas területnek (mellyel a metallográfia foglalkozik) tárgyalásainak szempontjából legfontosabb tudnivalóit.

2.3.1 A tiszta vas

A tiszta vas atomjai a folyékony halmazállapotban állandó, szabálytalan mozgásban vannak, ugyanis a közölt hőenergia taszító hatása nagyobb, mint az atomok közötti vonzó (kohéziós) erő. A folyadék hűlésével a mozgás lassabbodik, majd 1536°C -on az atomok szabályos szilárd rendszerbe, az ún. "térács"-ba (17. ábra) rendeződnek és ott - a hőmérséklet csökkenésével arányosan csökkenő amplitúdójú - rezgőmozgást végeznek.



17. ábra

A vas atomjainak rendeződése a köbös rendszerű térrácsban

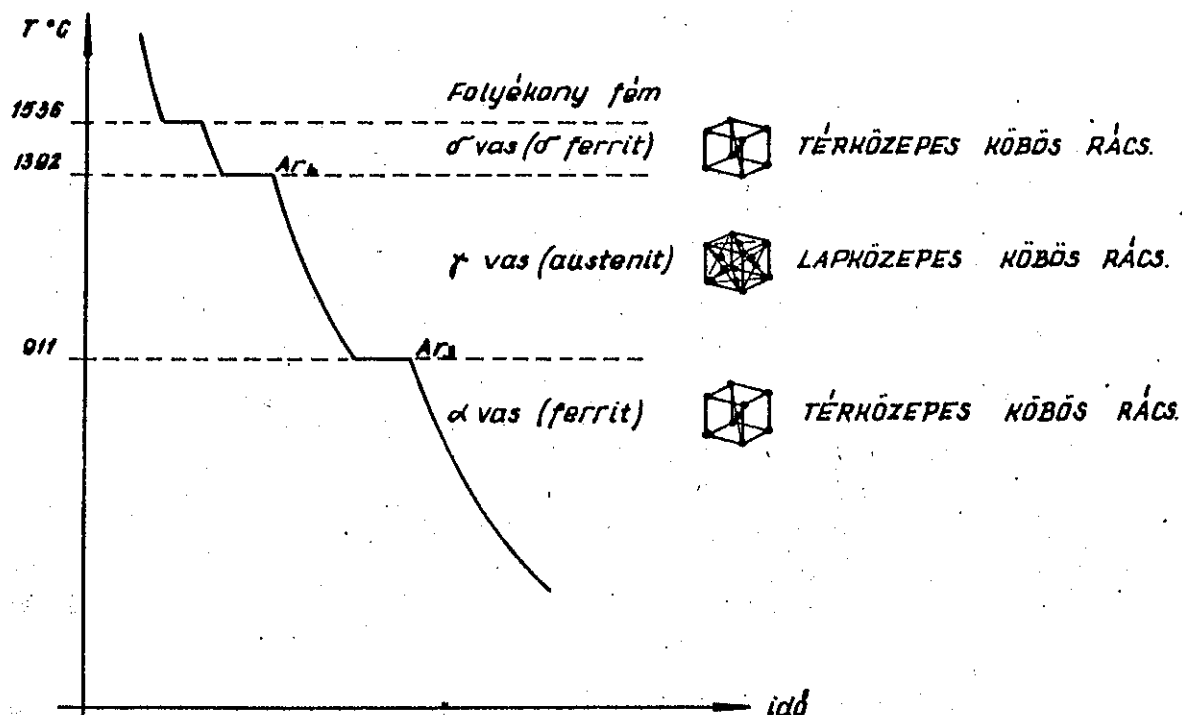
A hűlési görbe (18. ábra) vízszintes szakaszai időben lejátszódó folyamatokat jeleznek.

A megszilárdulás 1536°C -on megy végbe. Ekkor a vas atomjai az ún. "tétközepes köbös" rácsban rendeződnek. Ez a δ -vas, vagy δ -ferrit. (Ez fizikailag azonos az α -vassal.)

1392°C -on a rács az ún. "lapközepes köbös" - rendszerbe billen át. Ez a γ -vas, vagy austenit.

Végül 911°C -on újra tétközepes köbössé alakul a rács. Ez az α -vas, vagy ferrit.

Az átalakulási hőmérsékleteket "A"-betűvel jelöljük. Indexként az átalakulást jelző számot (1, 2, 3, 4) és többnyire egy - a hűtés (r) és a hevítés (c) esetét megkülönböztető - betűt alkalmazunk (pl. A_1 vagy A_{r1}).



18. ábra

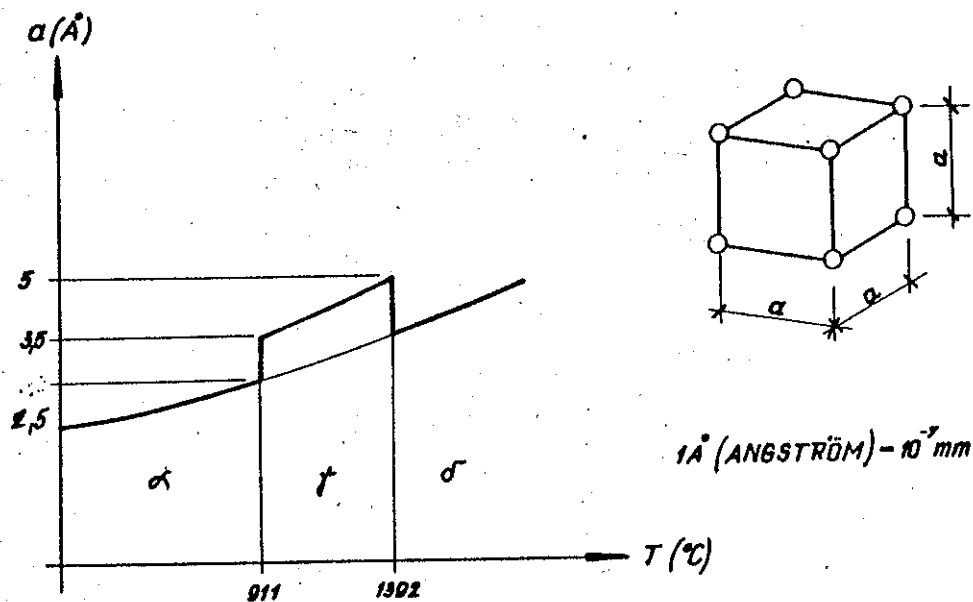
A tiszta vas lehűlési görbéje

A rácsrendszer elemi kockáinak élhossza, az un. "rácsparaméter" (a) az átalakulások hőmérsékletén ugrásszerűen változik. Értéke kb. $2,5 \text{ \AA} - 5 \text{ \AA}$ között mozog ($1 \text{ \AA} = 10^{-7} \text{ mm}$). Jelentős, hogy a γ -vas rácsparamétere jóval nagyobb mint az α -vasé (19. ábra).

Az atomok rendeződése a térrácsban fokozatosan megy végbe. Először csak néhány atom alkot un. "kristályosodási csirát". Ez a "kristályosodási képesség", mely annál nagyobb, minél több csíra képződik időegység alatt egy térfogategységben.

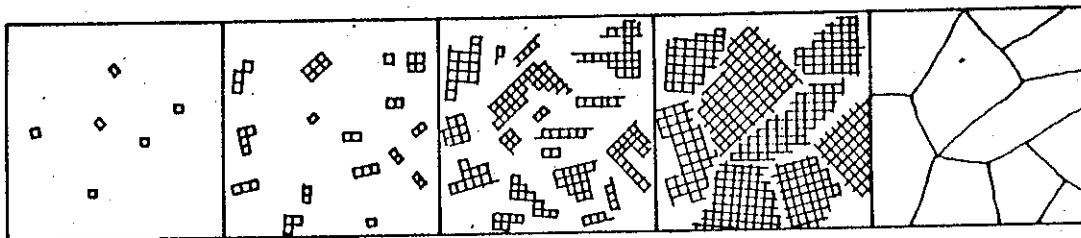
A csirákhoz további atomok kapcsolódnak a "kristályosodási sebesség" (az időegység alatti csiranövekedés) függvényében.

A szomszédos csirák növekedés következtében - "krisztallitok"-ká fejlődve - elérik egymást (20. ábra). A krisztallitok, az un. "szövetelemek" együttese alkotja a vas "szövetstruktúrát"-ét.



19. ábra

A rácsparaméterek változása a hőmérséklet változásával



20. ábra

A kristályosodás folyamata

Az egyes kristallitok - a térben - különböző alakúak, méretűek és különböző irányítottaságú térrácsban rendeződött atomokból állnak. Találkozásaiknál - a "szemcsehatárok"-on - a rácrendszerben felületi hibák keletkeznek.

Egy kristalliton belül sem homogén azonban a vas, mert a rácrendeződés során is keletkezhetnek szabálytalanságok.

Ezek lehetnek:

- pontszerűek (üres rácshelyek)

- vonalszerűek (pl. diszlokációk)
- síkbellek (pl. felületi hibák)
- térbellek (pl. üregek)

A hibák nemcsak maguktól keletkezhetnek, azokat mesterségesen is létre lehet hozni (pl. ötvözéssel, hevítéssel, képlékenyalakítással stb.).

A kristályos szerkezet rácsrendeződési hibát alapvetően kihatnak a fém mechanikai tulajdonságaira. (A tiszta vas szaktíószilárdsága 24 kp/mm^2 , a hibátlan egykristályé viszont 1000 kp/mm^2 körül volna!)

2.3.2 Az acél

Az ötvöztelen lágyacélban a vas részaránya kb. 99%. Az ilyen acél mechanikai tulajdonságait elsősorban a szén határozza meg. Ezért - és az egyszerűség érdekében - célszerű a kétalkotós vas-szén ötvözetet külön vizsgálni, majd az egyéb ötvözők és szennyezők vas-szén ötvözetre gyakorolt hatását elemezni. Tárgyalásaink során is ezt a módszert követjük.

2.3.2.1 Egyensúlyi átalakulások

A vas-szén ötvözetben a hűlés során végbemenő állapotváltozásokat az ún. "vas-szén állapotábra" szemlélteti. A vas a szénnel "vaskarbid" (Fe_3C) formájában alkot vegyületet. Maximálisan 6,67% szenet tud így lekötni. Ezért az állapotábrát 0-6,67% C-tartalom határok között rajzolják meg (21. ábra).

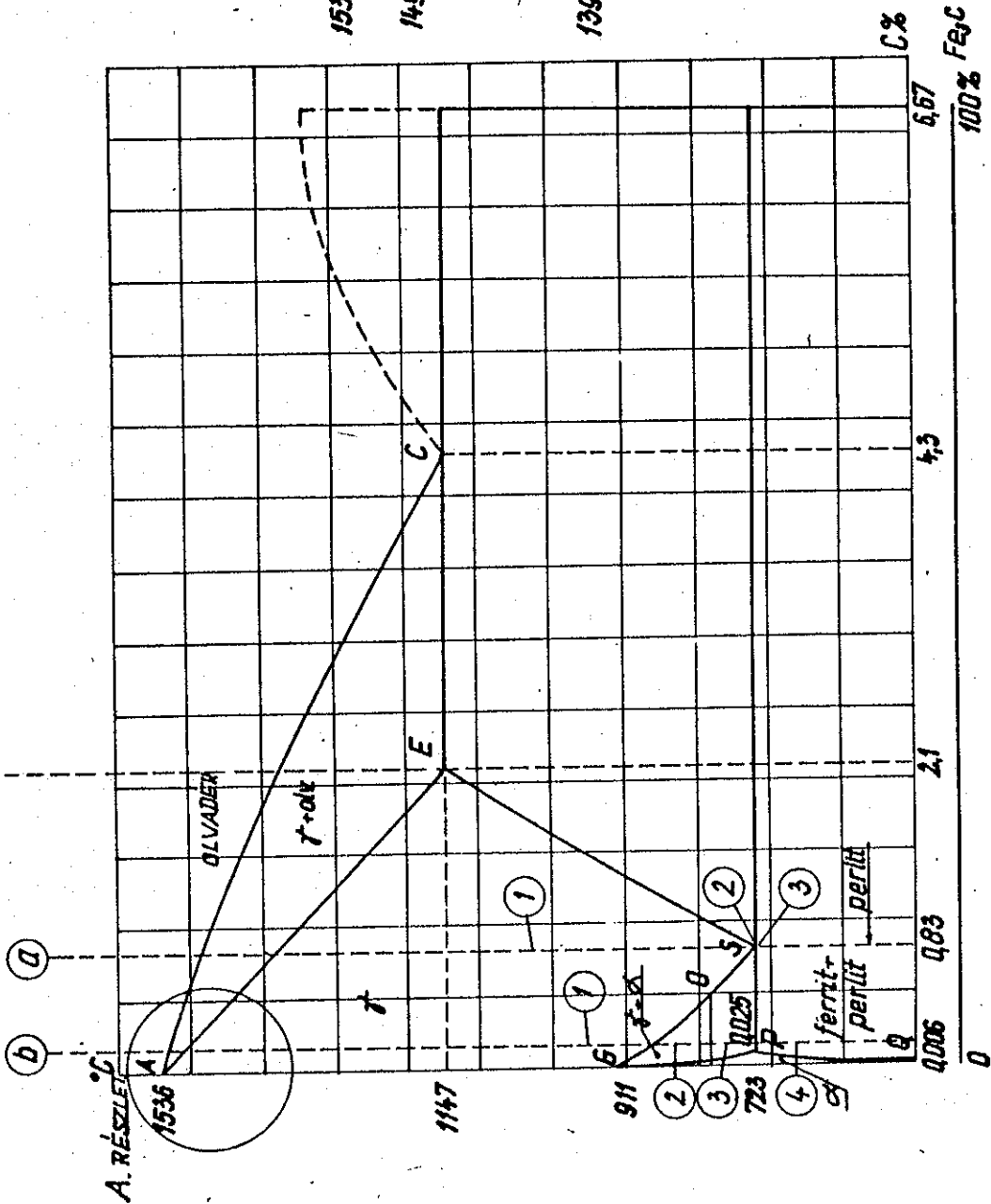
A 20. ábrán az állapotábrának csak a bal oldalát részleteztük, mivel a tárgyalásaink körébe tartozó szerkezeti acélok max. 0,8% szenet tartalmaznak. A δ fázisnak az acél végleges tulajdonságainak kialakulásában nincs jelentősége. Ezért egyszerűsített állapotábránkból az erre vonatkozó részt is elhagytuk.

Az állapotábrából kitűnik, hogy - szemben a szénvas előző fejezetben tárgyalt esetével - az ötvözet fázisátalakulásai (folyadék- γ vas; γ vas - α vas+perlit) nem adott hőmérsékleten, hanem hőközben mennek végbe. (Az átalakulás hőmérsékleti tartományát az állapotábrán két vonal zárja közre.)

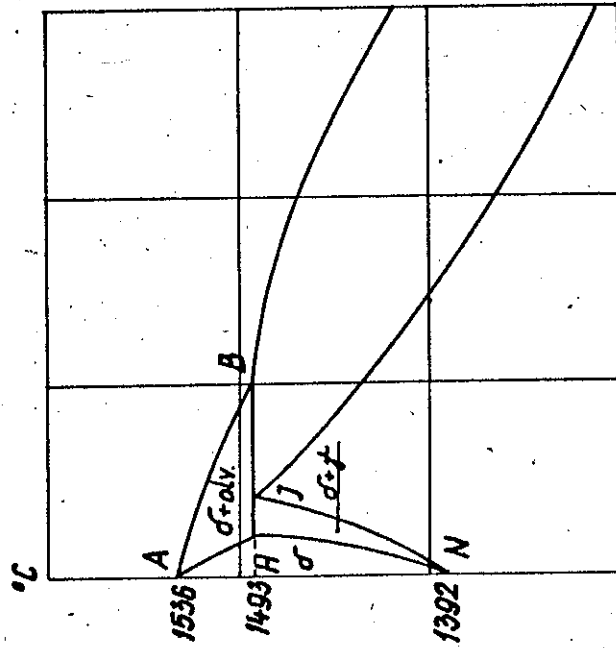
A lehűlés folyamatát, ill. a lehűlés során keletkezett végtermékek kialakulását az állapotábra két jellemző helyén berajzolt ötvözetjelző vonal mentén vizsgáljuk. (A 0% C tartalomhoz tartozó tiszta vas esetét az előző pontban már megtárgyaltuk.) Az "a" vonal (0,83% C tartalmu ötvözet) AC likvidusz vonallal való metszéspontjának hőmérsékletén megkezdődik és az AE szolidusz vonallal való metszéspontjának hőmérsékletén befejeződik az olvadékból az austenit (γ vas) kristályok kiválása.

Az austenit lapközepes köbös térrácsában a szénatomok vagy az üres rácshelyeken ("szubsztitúciósan"), vagy az atomok között ("intersticiósan") helyezkednek el. Ezt az ötvözetet "szilárd oldat"-nak nevezzük. A γ -vas 1147°C -on 2,1%, míg 723°C -on már csak 0,83% szenet tud oldani ily módon.

ACÉL ← → ÖNTÖTTVAS

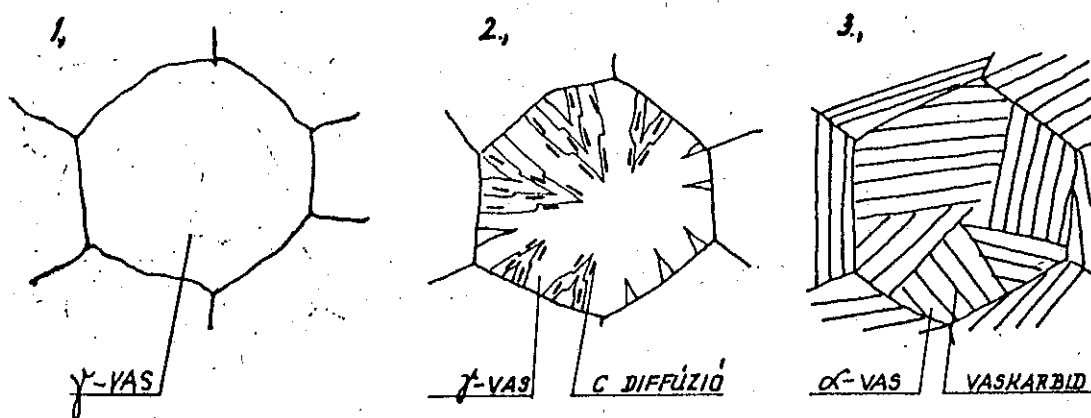


A. RÉSZLET.



21. ábra. Vas-szén állapotára (egyszerűsített)

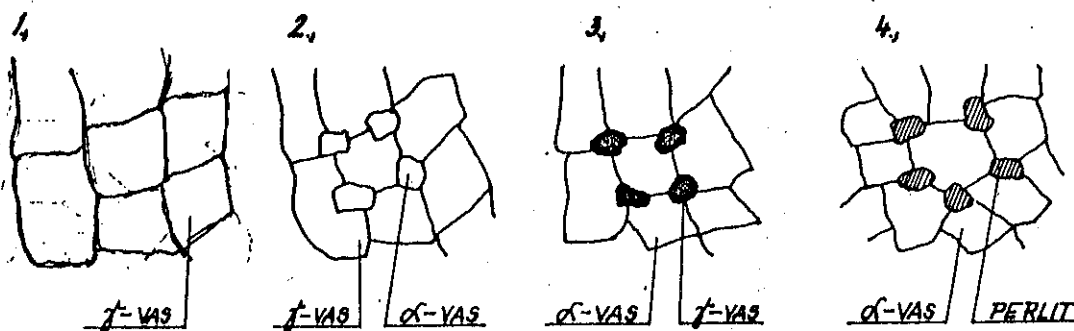
A ferrit kisebb rácsparaméterű térközepes köbös rácsában már alig fér el szén-atom: 723°C -on csak kb. 0,025%-ot tud oldani. Ezért a γ -vasból az A_{cm} vonalat elérve (az S pontban), az α -vasban nem oldódó szénmennyiség (a 0,83% és a 0,025% közötti különbség) diffúzió útján koncentrálnodik, Fe_3C formájában vaskarbid vegyületet alkot és így, lemezes alakzattal beágyazódik a szénben elszegényedett γ -vasból rács átbillenéssel kialakult α -vasba (21. ábra). Ezt az ötvözet formát "eutektoid"-nak nevezzük. A ferrit-cementit eutektoid kétfázisú szövetelem, neve perlit (22. ábra).



22. ábra

Perlitképződés 723°C -on a 0,83% széntartalmu ötvözetben

A "b"-vonal (0,2% C tartalmu ötvözet) menti átalakulás az "a"-vonal mentitől főként abban tér el, hogy a γ - α átalakulás nem egy adott hőmérsékleten (723°C -on), hanem a GOS és a PS vonalak által kimetszett hőközben zajlik le. A GOS vonal alatti hőmérsékleteken megindul a szén diffúziója, a szénben elszegényedett lapközepes köbös austenit térközepes köbös ferritté alakul, míg a szénben feldusult austenit 723°C -on perlitté bomlik (22. ábra). A kialakult végtermék a ferrit-perlites szövet (23. ábra).



23. ábra

A γ - α átalakulás a 0,2% széntartalmu ötvözetben

Fontos jelenség, hogy az austenit szemcsenagysága a hőmérséklettel növekszik. A túlhevített, vagy magas hőmérsékleten keletkezett austenit tehát durvaszemcsés lesz. Ez a további hűtés során nem csökken és így a ferrit-perlit szemcsék méreteire is hatással van. A durvaszemcsés szövetszerkezet viszont kedvezőtlen mechanikai tulajdonságokkal rendelkezik. Ezért célszerű azt - melegalakítással, hőkezeléssel, ötvözéssel -, finomszemcséssé tenni.

A ferrit lágy szövetelem (σ_B : 30 kp/mm², δ : 70%), míg a cementit igen rideg (σ_B : 90 kp/mm², δ : 5%), a perlit szintén kemény, de viszonylag képlékeny (σ_B : 80 kp/mm², δ : 10%). A szövetszerkezet tehát alapvetően kihat az acél mechanikai tulajdonságaira.

2.3.2.2 Egyensúlytól eltérő átalakulások

A vas-szén állapotábra a végtelen lassu hűtés esetére, azaz az "egyensúlyi állapot"-ra érvényes átalakulásokat ábrázolja.

A hűtés sebességének növelésével (az austenit túlhevítésével) az állapotábra átalakulást jelző vonalai eltolódnak, az S pont kettéválik és ferrit egyre kisebb, perlit egyre nagyobb százalékban keletkezik (24. ábra).

A $\gamma - \alpha$ átalakulásnak két fontos mozzanata van:

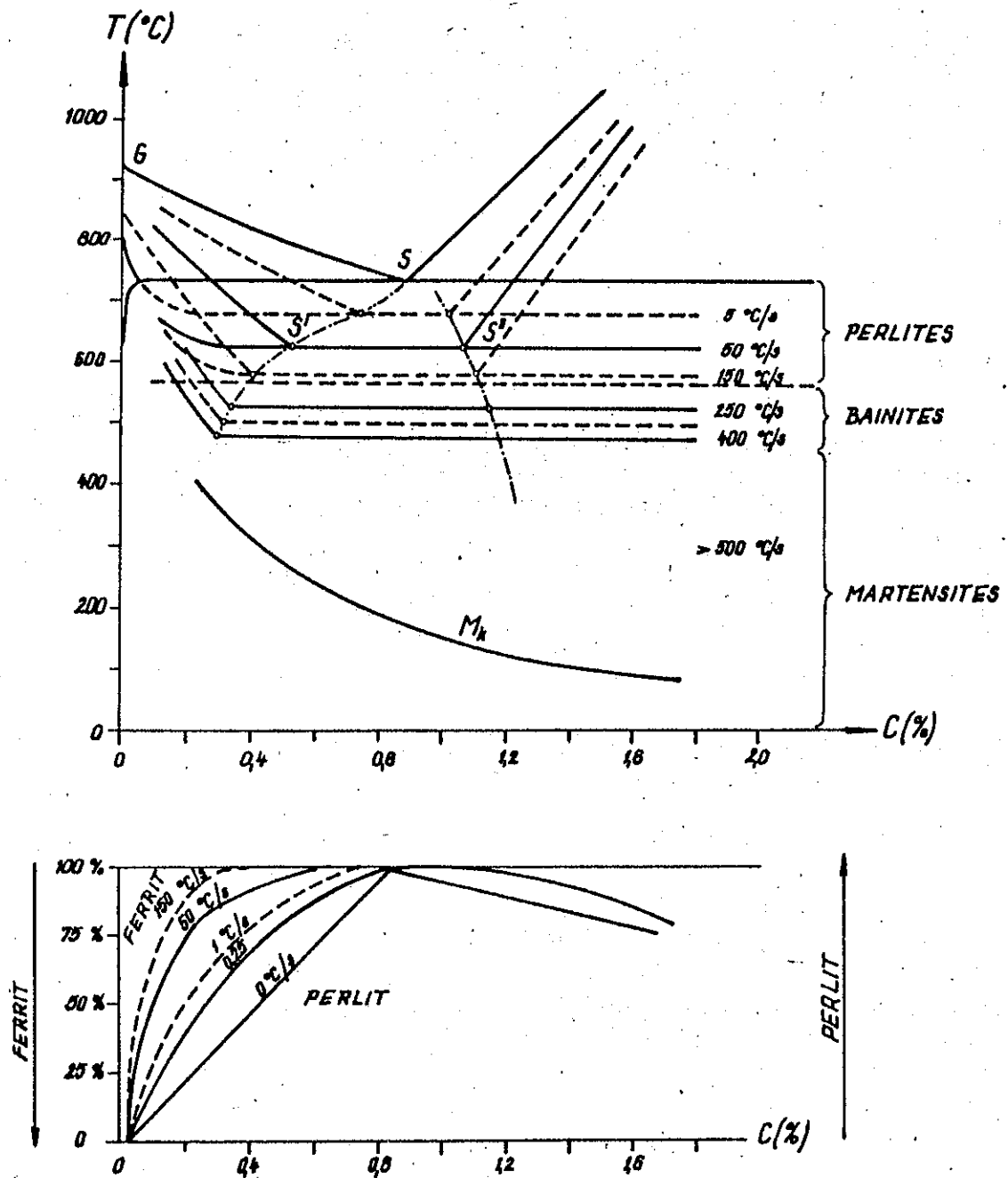
- a szén diffúziója
- a rács átalakulása

A szén diffúziója - ami időt igénylő folyamat - a hőmérséklet csökkenésével lelassul, az átkristályosodás, ill. a kristálycsírák képződése a hűlés sebességével gyorsul. Ezért alacsonyabb hőmérsékleteken a szénatomok diffúziós útja egyre csökken. A cementit lamellák sűrűsödnek, vékonyodnak. A perlit ilyen változatait sorbitnak, és troostit-nak nevezzük.

A még alacsonyabb hőmérsékletű hűtés esetén a vaskarbid már nem tud összefüggő lemezekké nőni, a ferritbe csak apró cementit lapocskák ágyazódnak. Ennek a szövetelemnek bainit a neve.

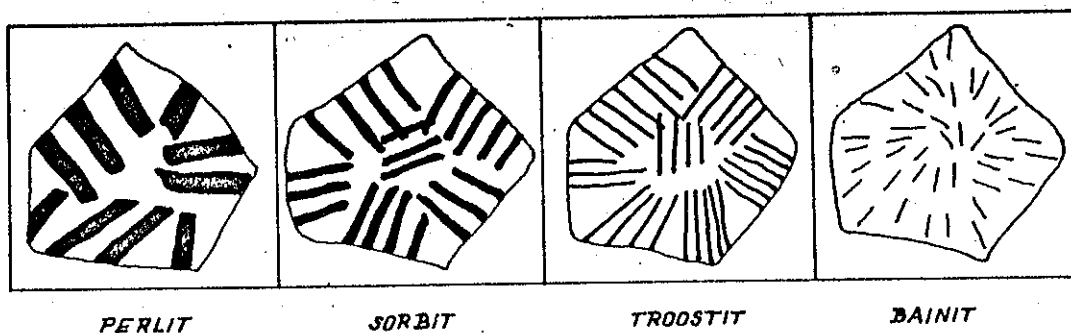
A perlit (sorbit, troostit) és bainit közös jellemzője, hogy diffúziós bomlástermékek, az egyfázisú austenitból a kétfázisú ferrit és cementit eutektoid képződik. E szövetelemeket vázlatosan a 25. ábra mutatja be.

Még nagyobb hűtési sebességnél, még alacsonyabb hőmérsékleten a szénatomok diffúziójára nincs mód, azok a helyükön maradnak. Ezért ezt a fajta átalakulást - eltérően az előzőekben ismertetettektől - martensites átalakulásnak nevezzük. A rács átalakulás így nem jöhet létre szabadon. A bent rekedt szén atomok nagy belső feszültséget okozva a rácsot eltorzítják (kübösből tetragonállissá).



24. ábra

Az egyensúlyi diagram változása a hűtés sebességének hatására



25. ábra

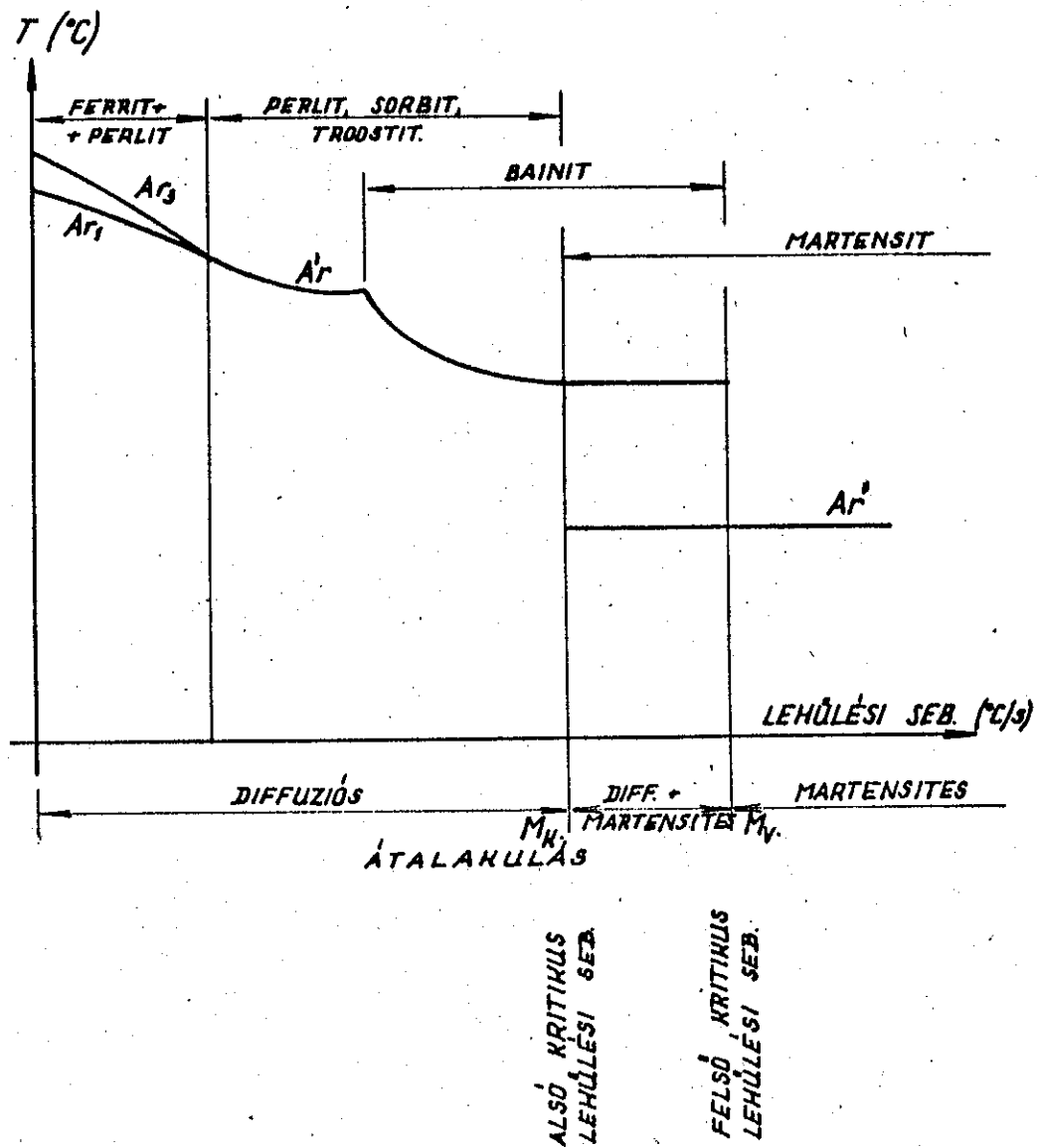
A diffúziós átalakulás szövetelemet

Az így keletkezett - csak erős, kb. 1200-szoros mikroszkópi nagyítással felismerhető - típus szövetelem a martensit. A martensit rendkívül kemény, rideg ezért repedésre hajlamos szöveteleme - kialakulásából fakadóan - csak bizonyos százalékú (0,20-0,25%) széntartalom felett képződhet. A martensit-képződéssel járó lehűlést nevezzük edződésnek, ami hegesztéskor kerülendő. (Főként ezért törekszenek a C tartalmat 0,20% alatt tartani.)

A hűtés sebességének hatását az átalakulási hőmérsékletnek változására, ill. az austenitből keletkező termékek alakulására a 26. ábra szemlélteti. (Az értékek a C-tartalomtól függően természetesen változnak.)

A hűtési sebességnek két jellegzetes pontja van: M_K az "alsó kritikus" lehűlési sebesség, ameddig csak diffúziós, és M_V a "felső kritikus" lehűlési sebesség, ami felett csak martensites átalakulás van.

A hűtési sebesség növelésével keletkezett szövetelemek - a leírás sorrendjében - egyre keményebbek, ridegebbek, repedésre hajlamosak. Ennek számunkra különösen az acélok hegesztése során van jelentősége, ugyanis a hegesztéskor általában viszonylag kis fajlagos hőmennyiséget viszünk be, ezért a megolvadt alapanyag gyorsan hűl. Így a varrat menti (átmeneti) övezetben túlzott felkeményedés és ennek kapcsán repedések léphetnek fel.



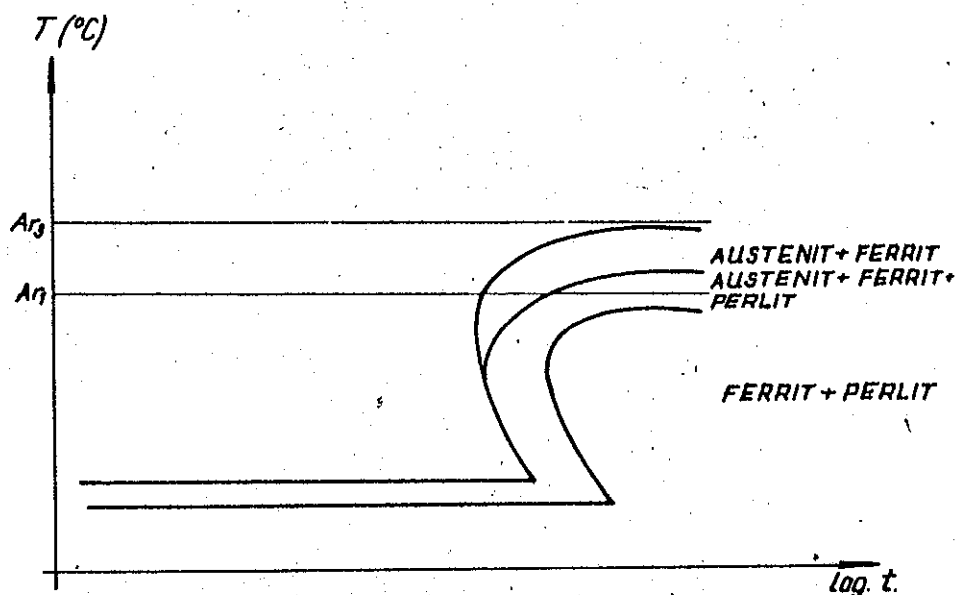
26. ábra

Az átalakulások változása a hűtési sebesség függvényében

2.3.2.2.1 Izotermás átalakulási diagram

Az állandó hőmérsékleten, de tulhűtött austenitből keletkező átalakulási termékeket az ún. "C-görbék", vagy "izotermás átalakulási diagramok" ábrázolják.

A lehülési folyamatot jelző vonalak, a gyors hűlést feltüntető eső szakasz után az átalakulás állandó hőmérsékletét (és az ezen kialakuló szövetelemeket) vízszintes szakasszal követik. A "C"-görbék tehát vízszintes vonal mellett olvashatók. A lágyacél C-görbéjét a 27. ábra szemlélteti. Bainit és martensit nem keletkezik.

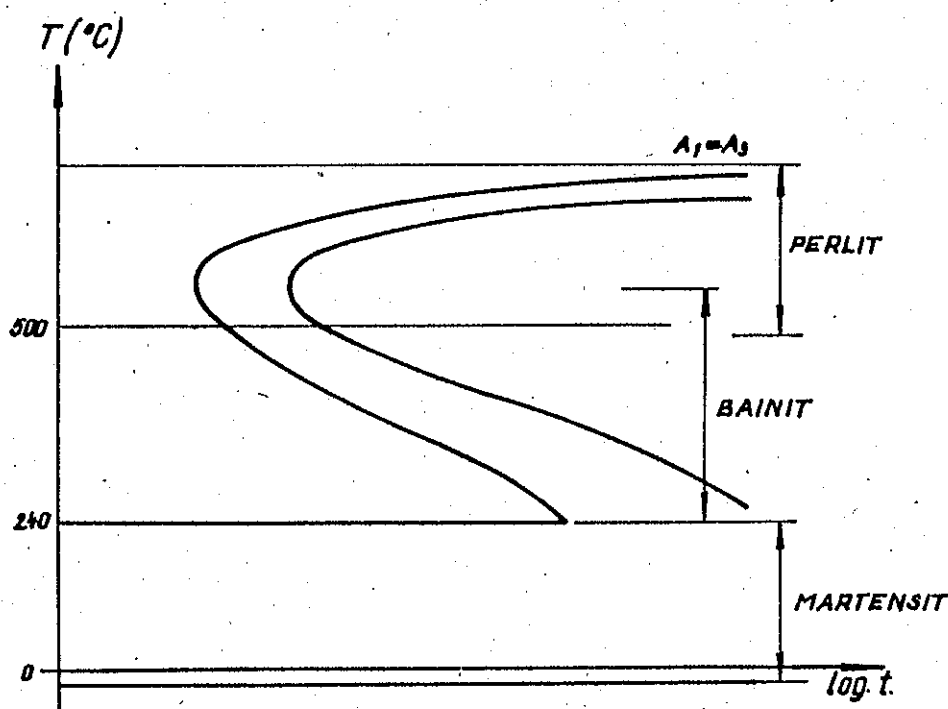


27. ábra

A lágyacél izotermás átalakulási diagramja

A 28. ábrán a 0,8% C tartalmú acél izotermás görbéjét láthatjuk. Itt alacsonyabb hőmérsékleten bainites, további tulhűtés esetén (M_K alatt), martensites szövet képződik.

Az izotermás átalakulási diagramok a hőkezelések alapjai. Segítségükkel A_{C3} feletti hevítés után irányított hűtés segítségével tetszős szerinti szövetszerkezetet - ill. velük járó mechanikai tulajdonságokat - lehet elérni.



28. ábra

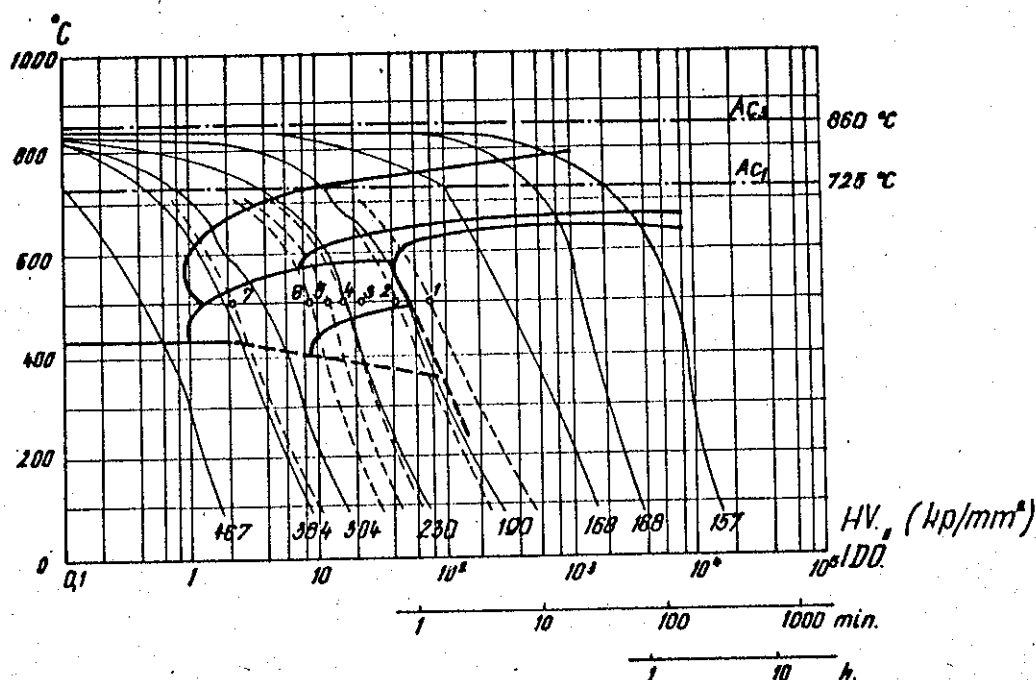
A 0,8% C tartalmu acél izotermás átalakulási diagramja

2.3.2.2.2 Folyamatos lehűlési diagramok

A gyakorlatban a lehűlés többnyire nem állandó, hanem – mint pl. a hegesztés hőhátasövezetének esetében – folyamatosan csökkenő hőmérsékleten megy végbe. Az ausztenit bomlástermékek esetében is perlit, bainit, martensit.

A folyamatos hűtés különböző esetekben keletkező végtermékekre nyújtanak felvilágosítást a "folyamatos lehűlési diagramok". Egy-egy acéltípusra megrajzolt ilyen diagramból az adott lehűlési sebesség esetén keletkező szövetelemeket és ezek százalékos arányát, továbbá a végtermék keménységét nyerhetjük. Ezek a diagramok is – jelen esetben vízszintes szakaszt nem tartalmazó – lehűlést jelző vonalak mentén olvasandók.

A folyamatos lehűlési diagram segítségével hegesztéskor az átmeneti övezetben keletkező keménység elkerüléséhez szükséges lehűlési idő, ill. ebből a fajlagos hőbevitel is meghatározható. Az ilyen diagramok készítése körülményes, ezért kevés szerkezeti acéltípushoz áll rendelkezésre folyamatos lehűlési diagram. A 29. ábrán adott összetételű St 52 acélra szerkesztett diagramot közlünk.



29. ábra

St 52 acél folyamatos hűtést diagramja

Figyelemre méltók a diagramon az 500°C hőmérséklet vízszintesre berajzolt, 1-7-ig terjedő számokhoz tartozó lehülési görbék. Ezek 12,5 és 38 mm vastag lemezekre, 4, 5, 6 mm átmérőjű elektródával, illetve 30 mm vastag lemezre 3,25 mm átmérőjű elektródával lerakott varrathernyók átmeneti övezeteinek 500°C-ra történő lehülési sebességét közlik. Kiolvashatjuk az ilyen lehülés nyomán keletkező szövetelemeket százalékos megoszlásban, ill. a varrat átmeneti övezetének keménységét Vickersben:

jel	Lemezvastagság (mm)	elektróda átm. (mm)	lehülési sebesség(sec)	HV
1	12,5	6	80	180
2	12,5	5	45	195
3	12,5	4	25	220
4	38	6	18	230
5	38	5	12	250
6	38	4	9	270
7	30	3,25	2,2	380

Látható, hogy az 1. esetben - ahol viszonylag nagy a fajlagos hőbevétel - kis keménységű ferit-perlites szövet képződik. Ezzel szemben a 7. esetben - csekély fajlagos hőbevétel nyomán - bainit-martensites (kb. 30-70%), nem megengedhetően kemény szövetelemhez jutnak. A példa pontosan rámutat a hegesztési technológiára (fajlagos hőbevétel) jelentőségére. (Ezt a fontos kérdést a későbbiekben még részletesen tárgyaljuk.)

2.3.2.3 Szövetszerkezeti változások képlékeny alakítás hatására

Képlékeny alakításon az acél folyáshatáránál nagyobb igénybevétellel végrehajtott maradó alakváltozás létrehozását értjük. Ez úgy megy végbe, hogy a térrácsba rendeződött atomok bizonyos síkok mentén egymáshoz képest elmozdulnak. Ezek a mozgások történhetnek kristályon belül és szemcsehatárok mentén – elsősorban attól függően, hogy a rácsrendezetlenségek mennyire teszik azt lehetővé (lásd a 2.3.1 pontot), ill. az ott elhelyezkedő idegen atomok mennyire gátolják azt meg. Minél több a gátló tényező, annál gyengébb az acél alakíthatósága.

Megkülönböztetünk "hideg" – (pl. élhajlítás, hidegsajtolás) és "meleg" – (pl.: hengerlés, kovácsolás, melegsajtolás) alakítást, aszerint, hogy alakításkor az acél hőmérséklete elég magas-e ahhoz, hogy az eltorzult szövetszerkezet egyidejűleg átkristályosodhasson. Ez a határ a szerkezeti acélok esetében 600°C körül van.

A hidegalakítás hatására az eredetileg közel szabályos alaku szemcsék eltorzulnak. Ez rácsstorzulással és felkeményedéssel jár. A szakítószilárdság és folyáshatár megnő, a nyúlás, kontrakció csökken (30. ábra).

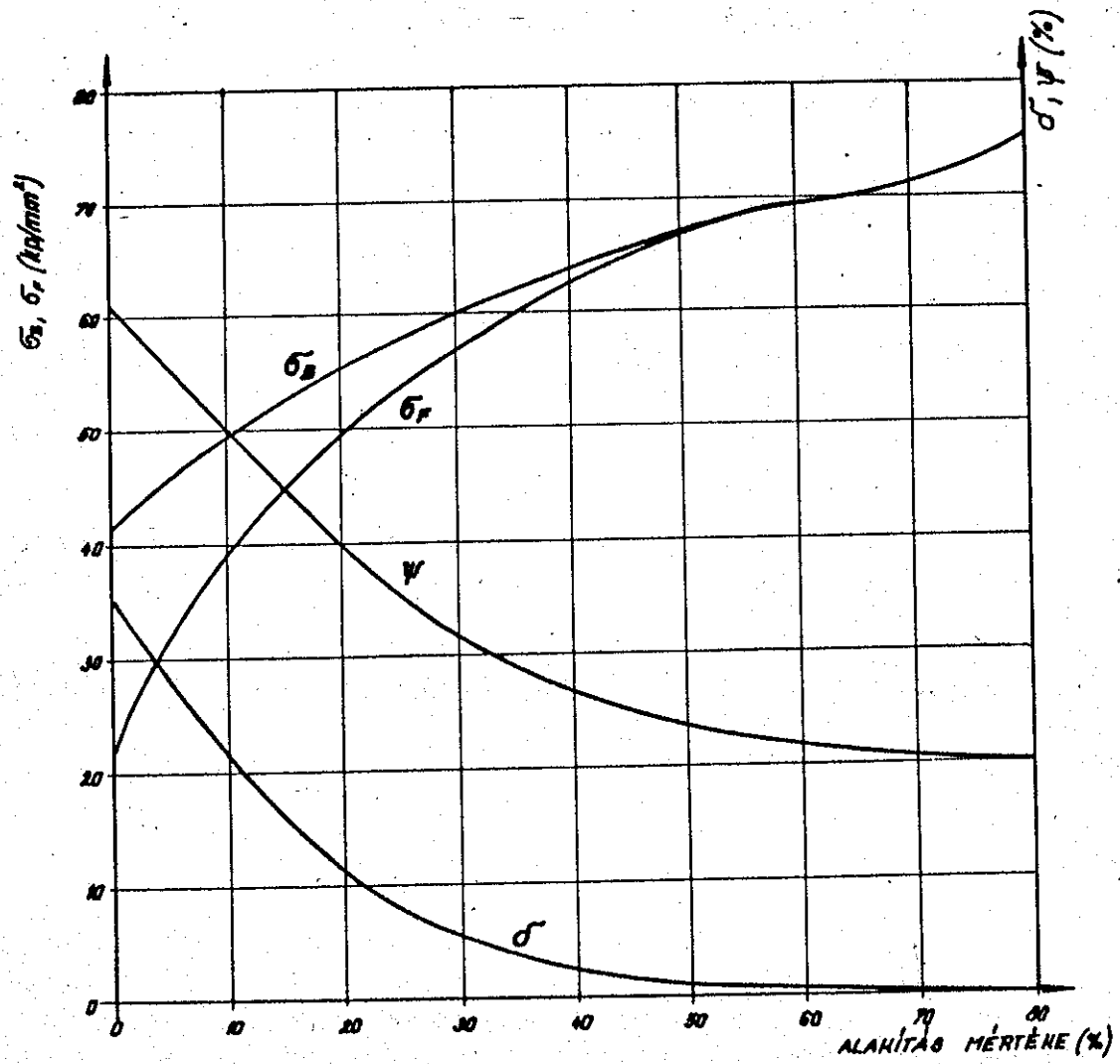
Az így eltorzult szövetek azonban nem "egyensúlyi"-ak ezért már viszonylag alacsony hőmérséklet hatására is átalakulnak, "ujrakristályosodás"-on (rekrisztallizáció"-n) mennek keresztül – egyidejűleg megszűnik a felkeményedett állapot.

Az ujrakristályosodás során kialakult szemcsék mérete függ a hidegalakítás mértékétől és a hőntartás idejétől, valamint a hőmérséklettől.

Ha az alakítás mértéke 5-15% közé esik, hő hatására (kb. 600°C , legalább egy órás időtartam) erős szemcsedurvulás következik be. Az ilyen durvaszövetű acél mechanikai tulajdonságai igen kedvezőtlenek. (Ezért írja elő az MSZ 6441-72 anyagkiválasztási táblázata a hidegalakított – és utána hegesztéssel hőhatásnak kitett – acélok nál a magasabb minőségi fokozat alkalmazását.)

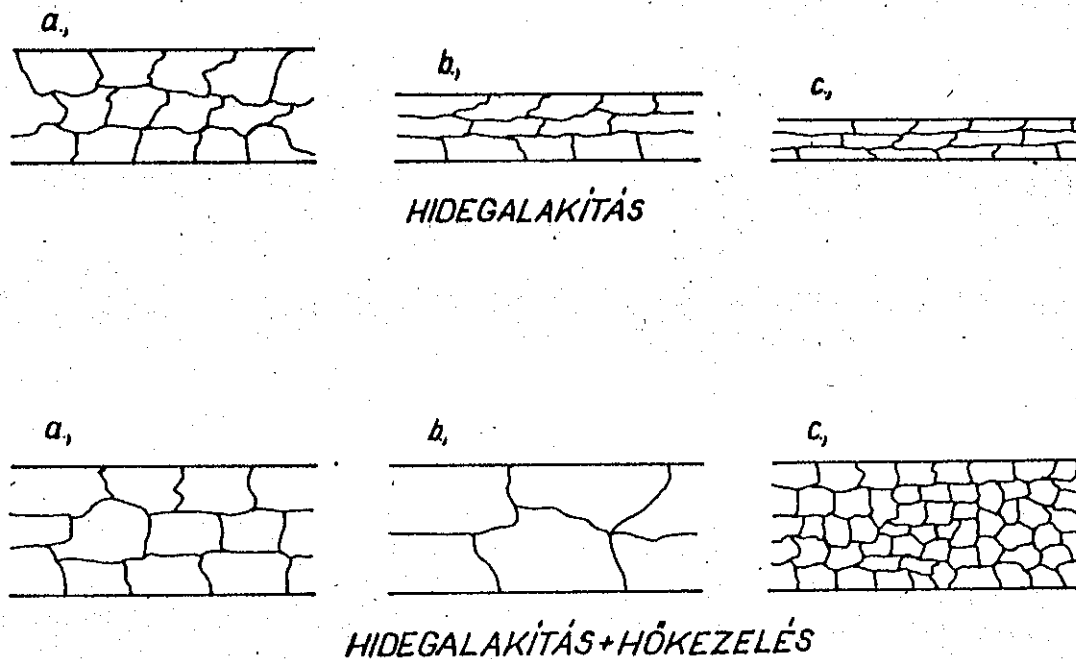
Ha a hidegalakítás mértéke meghaladja a kb. 15%-ot, az acél a rekrisztallizáció során – az alakítás mértékétől függően, fokozatosan – finomszemcséssé alakul (31. ábra).

Az ujrakristályosodás hőmérséklettartománya kb. $600-700^{\circ}\text{C}$, idő igénye kb. egy óra. Ha az acélt e fölötti hőmérsékleten alakítjuk melegalakítás-ról beszélünk. Ezesetben is bekövetkezik a szemcsetorzulás, mely azonban egyidejű ujrakristályosodással meg is szűnik. Az így kialakult szemcsék mérete függ a hőmérséklettől. Ezért fontos, hogy a melegalakítás (pl. hengerlés) befejezése – "irányítottan" – A_3 körüli hőmérsékleten történjék, ugyanis a hőmérséklet emelkedésével az acél egyre durvább szemcseszerkezettű lesz.



30. ábra

A mechanikai tulajdonságok változása a hidegalakítás hatására



31. ábra

A szemcseméret változása hidegalakítás és azt követő hőkezelés hatására ("a": hidegalakítás nélkül; "b": 5-15% hidegalakítás; "c": 15%-nál nagyobb hidegalakítás)

2.3.2.4 Öregedés

Az acélban oldott állapotban jelenlevő nitrogén lassu (néhány éves) diffúzióval az üres rácshelyekre koncentrálódik és rideggé teszi az acélt. Ezt a folyamatot meggyorsítja a hidegalakítás, (5-10%), valamint a magasabb hőmérséklet (200-300°C).

Az acéloknak az öregedésre való hajlamát (az MSZ 105/15-69 szerinti) öregített ütőpróbatestekkel lehet vizsgálni. A 10% hidegalakítással és ezt követő fél órán át 250°C-on történő hőtartással létrehozott "mesterséges öregítés"-nek kitett próbatesteket a vonatkozó acélszabványok szerinti körülmények (hőmérséklet, bemetszés mód) mellett vizsgálják.

Az öregedési hajlamot a nitrogén nitridek formájában - pl. alumíniummal - történő megkötésével lehet csökkenteni.

2.3.2.5 Hőkezelések

Az előzőekben bemutattuk, hogy az acél szövetszerkezete és ezen keresztül mechanikai tulajdonságai milyen módon változnak a hűlés sebességének, ill. az átalakulások hőmérsékletének, időtartamának függvényében. A szénacélnak ezek a tulajdonságai - melyeket ötvözőelemek adagolásával még sokrétűbbé lehet tenni és melyek más fémeknél nem jelentkeznek hasonló módon - annak a lehetőségét kínálják számunkra, hogy - hőkezelések útján - az acél mechanikai tulajdonságait szükségleteinknek megfelelően alakítsuk.

A hőkezelésnek - az ötvözt. acélok tartományára is gondolva - számtalan változata van. A magunk részéről ezek közül csak a szerkezeti acélokat érintő eljárásokat tárgyaljuk.

2.3.2.5.1 Normalizálás

A normalizálás a szerkezeti acélok legfontosabb, leginkább használatos hőkezelési eljárása. Alkalmazására vonatkozóan az acél szabványok intézkednek. (Pl. a 6280-74 előírja, hogy a 37-es és 45-ös acéllemezeket 12 mm vastagság felett, az 52-es acéllemezeket minden vastagságban normalizálni kell. Ez alól csak az trányltott hengerlési és hűtési hőmérséklet mellett gyártott termékek képezhetnek kivételt.)

A normalizáló hőkezelés célja mindenfajta "normálttól eltérő" szövetszerkezet megszüntetése, finomszemcsés ferrit-perlites szövetszerkezet létrehozása és ezen keresztül az acél mechanikai tulajdonságainak megjavítása.

A normalizálás végrehajtása oly módon történik, hogy az acélt kevés (30-50°C) A_3 fölé hevítik, hűt tartják (annyi ideig, hogy az α - γ átalakulás létrejöjjön) (a gyakorlatban az anyagvastagság minden mm-ére 2 percet, összesen minimum 20 percet számolnak), majd nyugodt levegőn gyorsítva hűtik 600°C-ig (hogy a γ - α átalakulás rövid idő alatt mezejn végbe, tehát az acél finomszemcsés legyen (fontos szerep jut itt a klf. nitrídkepzőknek Al-, Ti-, V-nak), ezután lassu kemencehűtés következik.

2.3.2.5.2 Edzés - megeresztés (nemesítés, lágyítás)

Az edzés mint hőkezelési eljárás a nálunk használt szerkezeti acéloknál nem használatos. Számunkra mégis fontos, mert bizonyos körülmények között a szerkezeti acélok is kerülhetnek edzett állapotba. Gondolunk itt elsősorban a hegesztés hőhatásövezetére, melyben - az edződésre hajlamos acéloknál - felléphet edzési jelenség, ennek nyomán pedig repedés.

Edzésről akkor beszélünk, ha az acélt austenites, A_3 feletti hőmérsékletéről Mv-nél nagyobb sebességgel hűtve, martensites szövetet hoznak létre. Ehhez kb. 0,25% C szükséges, de hasonló hatásuak lehetnek bizonyos ötvözők is a szénegyenérték (lásd a 2.4 pontot) képlete szerinti mértékben. A 0,2% C tartalom alatti ötvöztelen acél - tehát általában a 37-es acélsalád - nem edzhető. E felett a széntartalom növekedésével (0,8%-ig) a keménység fokozatosan nő, míg a képlékenység és szívósság nullához közelít.

Az edzett - feszültségektől terhes - állapot labilis, ezért már alacsonyabb hőmérsékletű hevítés, un. "megeresztés" esetén is megindul a C diffúziója. A felszabaduló szén a vassal Fe_3C vegyületet (vaskarbidot) alkot és kiválik - de nem lemezes alakban (mint hűtésekor a perlit esetében), hanem szemcsésen. Ezt a szövetet "szferoidit"-nek nevezzük.

A szferoidit szemcsék annál nagyobbak, minél magasabb a hőmérséklet és minél hosszabb a hőntartás. Ezzel arányosan csökken a szilárdság, növekszik a képlékenység és szívósság.

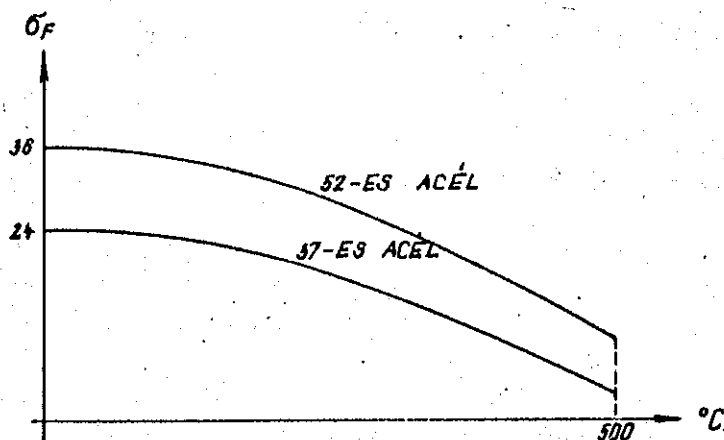
A hosszú idejű (több órás) magas hőmérsékleten (A_1 közelében) végzett megeresztést "lágylítás"-nak, a rövidebb idejű, alacsonyabb hőmérsékletű megeresztést pedig "nemesítés"-nek nevezzük. Nemesítéssel viszonylag magas szilárdsági jellemzők mellett szívós állapotot tudunk előidézni. Ezért a nemesítés a nagyszilárdságú szerkezeti acélok előállításának gyakori módja.

2.3.2.5.3 Feszültségmentesítés

A feszültségmentesítés, vagy pontosabban "feszültségcsökkentő izbitás" nem annyira az acél alapanyag-gyártás, mint inkább a szerkezetéptítés hőkezelési eljárása.

A feszültségmentesítés - mely végrehajtási módjában a lágylításhoz hasonló - célja az acélban a különböző külső hatásokra (egyenlőtlen lehülés, hegesztési zsugorodás, hidedgalakítás, kovácsolás, stb.) keletkezett belső feszültségek (melyek nem azonosak a martensitben levő mikro-feszültségekkel) csökkentése és ezzel főként a ridegtörési biztonság növelése, esetleg a feszültség alatti alakváltozások elkerülése.

A feszültségmentesítés alapja az, hogy az (ötvözetlen) acél folyáshatára a hőmérséklet növekedésével fokozatosan csökken és 500°C -nál az eredetinek már csak kb. 10%-a (32. ábra), így ezen a hőmérsékleten (vagy e felettin) a belső feszültségek, feszültségcsúcsok helyén az acél megfolyik és képlékeny alakváltozás révén a feszültségek leépülnek.



32. ábra

A 37-es és az 52-es acélok folyáshatárának csökkenése a hőmérséklet növekedésével

A feszültségmentesítés végrehajtása A_1 alatti ($600-650^\circ\text{C}$) hőmérsékletre történő lassu hevítéssel, hőtartással (ennek ideje kb. egyezik a normalizálás hőtartási idejével), lassu hűtéssel történik. A hevítés és hűtés sebessége a szerkezet bonyolultsága, az anyagvastagság függvényében változik.

A feszültségmentesítés során - mivel az átalakulási hőmérsékletet (A_1) nem lépjük túl - jelentős szövetszerkezeti és így mechanikai tulajdonságbeli változásokkal nem szoktak számolni. Az újabb kutatások azonban rávilágítottak arra, hogy a hőkezelés-kor lejátszódó diffúziós folyamatok jelentős mértékben megváltoztathatják az acél (és a hegesztett kötés) mechanikai tulajdonságait! Nevezetesen - a hőmérséklet és a hőtartás, felmelegítés, lehűtés idejétől, valamint az acél vegyi összetételétől függően - csökkenhet a folyáshatár és emelkedhet az átmeneti hőmérséklet. Célszerű tehát a feszültségmentesítő hőkezelés alkalmazása előtt a kérdésben (pl. kísérlettel) tájékozódni. (Lásd Dr. Rittinger János - Kern Ferenc a Gép 1974. 10. számában megjelent, a "Feszültségmentesítés hatása a szerkezeti acélok tulajdonságaira" c. cikkét.)

2.4 Az acél vegyi összetétele. Az ötvözők és szennyezők hatása a mechanikai tulajdonságokra.

Az előzőekben foglalkoztunk a vas, ill. a vas-szén ötvözet fémtani szerkezetével, nyomon kísértük a különféle hőfolyamatoknak a szövetszerkezetre és az acél mechanikai tulajdonságaira gyakorolt hatását.

Az acél mechanikai és egyéb (pl. hőállóság, kopásállóság, rozsdállóság, stb.) tulajdonságait a leglényegesebben a vasban jelenlevő különböző ötvöző és szennyező elemek befolyásolják. Ez oly módon történik, hogy jelenlétükkel hatással vannak a vas-atomok rácsrendeződésére, a kristályosodási képességre, a kristályosodási sebességre, az átkristályosodás folyamataira. Elemi állapotban oldva, esetleg a vassal, vagy egymással vegyületeket alkotva elhelyezkednek a kristályon belül, vagy kívülnek a szemcsehatárokon, és alapvetően megváltoztatják a vas tulajdonságait.

Előljáróban megemlítjük, hogy a vegyi összetételnek a hegesztés bevezetésével igen jelentősen megnőtt a szerepe, hiszen a szerkezeti acél edződésre, ridegtörésre való hajlama korábban kevésbé volt fontos. Ezért a régebbi szabványok (1965 előtt) a vegyi összetételre nem is tartalmaztak részletes előírásokat és ismerete is csak a kohászok számára birt jelentőséggel, a tervező, kivitelező nem törődött vele.

A következőkben - továbbra is csak az ötvözetlen és a gyengén ötvözött, ún. "szerkezeti acélok" birodalmában maradva - egyenkint megvizsgáljuk az e területen leggyakrabban előforduló elemek szerepét, hatását.

A szén (C) a kívánt mennyiségig szilárdságnövelő ötvözőként kerül alkalmazásra, kohászatiilag tulajdonképpen szennyezőnek számít, mivel az ércekben fölös mennyiségben jelenlevő szenet a vas és az acélgyártás folyamán gyakorlatilag el kell távolítani. A szénnek az acél szövetszerkezetére, ill. mechanikai tulajdonságaira gyakorolt hatását az előzőekben részletesen ismertettük. E helyen a legfontosabbakat még egyszer összefoglaljuk: növeli az acél szilárdságot, csökkenti a képlékeny és szívós tulajdonságait, növeli az edződési hajlamát.

A szögecselt szerkezetek acéljaiban ahol a feldolgozás során jelentős hőhatással számolni nem kellett (az autogénvágás esetét kivéve, de itt előírták a hőnek kitett zóna forgácsolással való eltávolítását) - a szén csaknem egyedüli szilárdságnövelőként szerepelt és az 50-es acélokban a 0,4% értéket is elérhette.

A hegesztett szerkezetek acéljaiban általában 0,22% feletti szén nem tűrünk meg, a jó minőségű acélokban ez az érték még redukálódik, sőt a növelt folyáshatár, finomszemcsés, alacsony átmeneti hőmérsékletű és edződésre kevésbé hajlamos korszerű acélokban - még 60 kp/mm² folyáshatár (!) mellett is - max. 0,12-0,15%-ra korlátozzák a C tartalmat.

A mangán (Mn) a szén mellett a szerkezeti acélok legjelentősebb ötvözője, mely a vasércben is előfordulva, minden acélban jelen van.

Dezoxidálóként is fontos, de önmagában a csillapításhoz nem elegendő. Fő szerepe, hogy a ként magas olvadáspontu mangánszulfid (MnS) alakban megkötve, meggátolja az acélban az utoljára dermedő, bedusult, alacsony olvadáspontu vasszulfid (FeS) képződést. Ez ugyanis a szemcséket hálósan körülvéve a dermedés során fellépő zsugorodási feszültségek hatására melegrepedést ("vörös törékenység") idéz elő. 10-15-szörös Mn-tartalom elegendő biztonságot nyújt a vörös törékenységgel szemben.

A mangán viszonylag olcsó szilárdságnövelő is (0,1% Mn kb. 0,5 kp/mm² σ_B emelkedést eredményez). Előnye, hogy - bizonyos határok között - nemcsak a szilárdságot, hanem az acél szívósságát is növeli. Hátránya viszont, hogy fokozza az acél edződési hajlamát (1,5% Mn kb. duplájára emeli a 0,2% C tartalmu acél azonos keménységet okozó lehülési idejét). Szokásos mennyisége az ötvözetlen acéloknál 0,3-0,8%, a gyengén ötvözötteknél 1,0-1,8%.

A szilícium (Si) affinitása az oxigénhez a mangánénál nagyobb, elsőrendű szerepe az acél csillapítása, azaz homogentizálása és szívósságának növelése (lásd a 2.1 pontot).

E célból általában 0,15-0,35%-ban adagolják az acélhoz. Ötvöző szerepe ebben a mennyiségben nem jelentős (0,1% Si 2 kp/mm²-rel növeli a σ_B értékét). E felett azonban káros, mert rontja az acél képlékeny és szívós tulajdonságait.

A kén (S) az ércekkel kerül az acélba, kellemetlen, vörös törékenységet okozó szennyező. Ellenszere a mangán (lásd előbb). A hegesztett szerkezetekben megtűrhető S mennyisége általában 0,05%, az alacsony átmeneti hőmérsékletű, finomszemcsés acélokban 0,03%-ban szokták korlátozni.

A foszfor (P) a kénhez hasonlóan szennyező, de azzal ellentétben vegyi úton nem tehető ártalmatlanná. Ha mennyisége meghaladja a 0,05%-ot az acélt ridegíti és lehűtésekor az alacsonyabb hőmérsékleteken (kb. 300°C) ún. "kéktörékenységet" okoz. Ujabban korrózióálló acélokban 0,1% körüli mennyiséggel (rézzel és krómmal) ötvözőként is szerepel.

Az eddigiekben ismertetettek a legáltalánosabb alkotói az ötvözetlen acéloknak. (Az ún. "ötalkotós" vegyvizsgálat alatt ezek mennyiségének meghatározását értjük.)

Az alumínium (Al) az acél szívósságának növelésére a legáltalánosabban és viszonylag a legrégebben használt ötvöző.

Affinitása az oxigénhez még a szilíciumnál is nagyobb, mégsem annyira dezoxidálóként jut szerephez, fontosabb feladata a nitrogén alumíniumnitríd (AlN) formájában való megkötése és ezzel az acél öregedésállóvá tétele (lásd előbb). Az AlN csírák már viszonylag magas hőmérsékleten (kb. 1000°C) keletkeznek és így a γ - α átalakuláskor a kristályosodási képességet javítva, finomszemcséssé teszik az acélt.

Szokásos mennyisége a C-D fokozatu, un. "különlegesen csillapított" acélokban 0,02-0,04%, a felső határ 0,1% (e felett ridegtől az acélt).

A titán (Ti) szerepe az alumíniuméhoz hasonló. Szintén dezoxidens, nitrídképző és finomszemcsésséget létrehozó elem. Az acél szívósságát is fokozza, ha a termék normalizált és ha a hengerlési hőmérsékletet pontosan betartották. Ellenkező esetben növeli az átmeneti hőmérsékletet. Mivel ilyen értelemben kényesebb mint az alumínium, nem terjedt el annyira.

A réz (Cu) 0,4%-ig oldódik a ferritben és ezért ez elatti mennyiségekben jelentős hatása nincs az acél tulajdonságaira. Így szerkezeti acéljainkban általában 0,3%-ban maximálják. Nagyobb mennyiségben (0,50%-ig, kivételesen 1%-ig) korrózió mérséklésére adagolják, ilyenkor azonban számolni kell egyrészt a hegesztéskor fellépő nehézségekre, másrészt a szívósságot csökkentő hatására.

A nikkel (Ni) fokozza a szívósságot és kisebb mennyiségben növeli a szilárdságot. A növelt folyáshatáru (36 kp/mm^2 feletti) szerkezeti acélok kedvelt ötvözője, egészen 0,8-1,5%-ig alkalmazzák. Ez a mennyiség 5-10%-ra emelkedik a különleges hidegálló acéloknál (átmeneti hőmérséklet -200°C körül). A saválló acélok egyik fő ötvözője (Cr-Ni acélok).

A króm (Cr) növeli a szilárdságot, az edződési hajlamot, csökkenti a szívósságot. Szerkezeti acélokban ezért 0,30%-ban maximálni szokták. Ennél nagyobb Cr-tartalmat (kb. 1%-ig) - a Cu-val együtt - általában csak a korrózió mérséklésére alkalmaznak. A saválló acélok egyik fő ötvözője.

A niób (Nb) és a vanádium (V) - az Al és a Ti mellett - egyre kedveltebb szemcséfinomító mikroötvöző. Kis mennyiségekben (max. 0,10%) növeli az acél szívósságát.

A szerkezeti acélokban előforduló nemfémes elemek szerepét röviden az alábbiakban foglaljuk össze.

A nitrogén (N) korábban kizárólag öregedést kiváltó szennyezőként volt ismert (lásd a 2.3.2.4 fejezetben), hiszen már egészen kis mennyiségekben (0,01%) is ridegké teszi az acélt (a DIN ezért ma is 0,008-0,009%-ban maximálja a nitrogént). Újabb felfogás szerint - nitrídképzőkkel egyensúlyban (pl. Al, Ti, V) - finomszemcsésség létrehozásában részes mikroötvözőnek tekintik (az MSZ 6280-74 is elfogadja).

Az oxigén (O_2) egyértelműen kedvezőtlen szennyező gáz, mely az acélt lunkeressé teszi, és már 0,003% felett ugrásszerűen növeli az átmeneti hőmérsékletet. Ellenszere a dezoxidálás (lásd a 2.1 fejezetet).

A hidrogén (H) szintén igen kedvezőtlen hatású gáz, melyből az acél dermedés során egyre kisebb mennyiséget tud oldani. A bennrekedt - és diffúziós úton molekulává egyesült hidrogén - óriási nyomása hajszálrepedéseket okozhat. Jelentősége főként a hegesztés során a varratba vitt és onnan az átmeneti övezetbe diffundált, annak felkeményedett zónájában repedést okozó hidrogénnek van. A diffúziója normál hőmérsékleten is igen gyors, a repedések a hegesztést követő órákban - gyakorlatilag 48 órán belül - keletkezhetnek.

Az acél hegesztési hőfolyamatbeli viselkedésének, azaz a hegesztési hőhatásövezet felkeményedésének alakulásában döntő szerepe van a vegyi összetételnek (igen fontos még a hengerművi kikészítés, szemcseméret stb.). Az egyes ötvözők edződés terén C-hez hasonlóan kifejtett hatását a "szénegyenérték"-képlettel adják meg. Az egyes ötvöztési rendszerekre különböző szénegyenérték képleteket dolgoztak ki. Az alábbiakban ezekből néhányat közlünk:

$$C_e = C + \frac{Mn}{6} + \frac{Ni}{15} + \frac{Cr}{5} + \frac{Mo}{4} + \frac{Cu}{13} + \frac{P}{2}$$

$$C_e = C + \frac{Mn}{6} + \frac{Si}{24} + \frac{Ni}{15} + \frac{Cr}{5} + \frac{Mo}{4}$$

$$C_e = C + \frac{Mn}{6} + \frac{Cr + Mo + V}{5} + \frac{Ni + Cu}{15}$$

$$C_e = C + \frac{Mn}{6} + \frac{Si}{24} + \frac{Ni}{40} + \frac{Cr}{5} + \frac{Mo}{40} + \frac{V}{14}$$

$$C_e = C + \frac{Mo}{4} + \frac{Cr}{5} + \frac{Mn}{6} + \frac{Cu}{13} + \frac{Ni}{15} + \frac{P}{2} + 0,0024 S$$

(ahol "S" a lemezvastagság)

A képletek változatosságából kitűnik, hogy egy-egy ötvöző edződést okozó hatása gyakran tág határok között változik.

2.5 A szerkezeti acélok hegeszthetősége

Ha a hegeszthetőség fogalmának alakulását nyomon követjük, akkor megállapíthatjuk, hogy az abban végbement változás hűlen tükrözi a hegesztett acélszerkezet építés egész területének órlási fejlődését.

Néhány évtizeddel ezelőtt "jól" és "rosszul" hegeszthető acélokról beszéltünk és ezen azt értettük, hogy a hegesztett kötetést egyáltalán létre tudjuk-e hozni. Ha ez sikerült, az acélt "jól hegeszthető"-nek minősítettük, ha nem - pl. ha már hegesztéskor szemmel látható repedések keletkeztek - az acél a "rosszul hegeszthető" kategóriába sorolódott.

Később rájöttünk arra, hogy bizonyos követelmények kielégítése mellett a rosszul hegeszthető acélok között is lehet jó hegesztett kötetést létrehozni. Ekkor "feltétel nélkül" és "feltételeken" hegeszthető acélokat különböztettünk meg. Itt a meghatározás főként arra szorítkozott, hogy - az akkor a szerkezetépítésben járatos hegesztési eljárások (főként a kézi lyhegesztés) alkalmazása esetén - előmelegítés nélkül, vagy előmelegítés mellett hozható-e létre repedésmentes kötés.

Hazánkban a legutóbbi évtizedben jutottunk el odáig, hogy a hegeszthetőség fogalmát kibővítsük mindazokra az egymással összefüggő tényezőkre, melyek közrejátsszanak a hegesztett szerkezet töréssel szembeni biztonságában. A kérdés korszerű megfogalmazást nyert - a nemzetközi bázisra épült - "Acélok hegeszthetősége. Alapelvek" c. MSZ 4305-68 szabványban. További tárgyalásaink során nagyjából e szabvány meghatározásából indulunk ki.

2.5.1 Az acélok hegeszthetőségének alapelvei

Valamely acél hegeszthetőségével kapcsolatban azt követeljük meg, hogy megfelelő hegesztéstechnológiával az acélon olyan kötetést lehessen létrehozni, mely az egész szerkezetet alkalmassá teszi megkívánt körülmények közötti biztonságos üzemelésre. Ezt egyrészt a hegesztett kötés tulajdonságai, másrészt a kötésnek az egész szerkezetre gyakorolt hatása határozzák meg.

Az összetett követelmény teljesítésében a következő tényezők játszanak közre

- az acél tulajdonságai
- a hegesztéstechnológia elemei
- a szerkezeti kialakítás
- az üzemi körülmények

Az acél fontosabb tulajdonságai - jelen esetben a hegeszthetőség szempontjából nézve - az anyagszerkezeti, valamint a mechanikai és fizikai tulajdonságokat értjük. Ezeket - amint azt az előzőekben már részleteztük - a gyártási eljárás (pl. elektrokemencében történő olvasztás) és módszer (a csillapítottság foka), a vegyi összetétel, valamint a hő- és mechanikai kezelés szabják meg.

A hegesztéstechnológia elemein a hegesztőeljárás, a hegesztőanyagok, valamint a hegesztési munkarend (hegesztési paraméterek, hegesztési sorrend, előmologítás, utóhőkezelés stb.) együttesét értjük. Fontos, hogy ezek egymással, a hegesztendő acéllal, valamint az egész szerkezettel és annak üzemi körülményeivel összhangban legyenek.

A szerkezeti kialakítás hegeszthetőség szempontjából fontosabb tényezői azok, melyek a hegesztési saját és az üzemi feszültségek alakulását (esetleges térbeli voltát, feszültségcsúcsok kialakulását) meghatározzák, azaz: az anyagvastagság, a bemetszések, hirtelen keresztmetszetváltozások, a szelvények, kötések és varratok alakja, elrendezése és mérete.

A szerkezet üzemi körülményeinél meghatározó az igénybevétel módja (nagysága, sebessége, váltakozása), az üzemi hőmérséklet tartománya és a korrózió.

A fentiekből belátható, hogy egyrészt az acélok hegeszthetőség szempontjából általános érvénytelen nem rangsorolhatók, másrészt a hegeszthetőség kérdését nem lehet egy egyszerű "jó", vagy "feltételelesen" jelzővel elintézni. A legkiválóbb acélból készült szerkezetben is keletkezhet törés szakszerűtlen hegesztéstechnológia, vagy helytelen szerkezeti kialakítás esetén, de hiába jó ez utóbbi kettő, ha nem a követelményeknek megfelelő acélminőséget választottak.

2.5.2 Az acél hegeszthetőségi vizsgálata

A hegeszthetőség fogalmának összetett voltából következik, hogy az acél hegeszthetőségének egyértelmű megállapítására alkalmas vizsgálati módszert mindezekig nem találtak és előreláthatóan nem is fognak találni.

A probléma jelentőségéből fakadóan természetesen már eddig is számtalan javaslat látott napvilágot. Ezek általános hibája, hogy a tényleges üzemi helyzetet (igénybevétel, szerkezeti kialakítást, stb.) nem tudják reprodukálni. Ezért a velük meghatározott anyagjellemzők csak - általában tapasztalati adatokra épülő - korrelációs rendszerek segítségével alkalmasak bizonyos hegeszthetőséggel kapcsolatos következtetések levonására. Az egyes vizsgálati módszerek gyakorlati elterjedését elsősorban a tapasztalati adatokra való visszavezethetőség (azaz a hasonló vizsgálatok), ill. az azokkal ellenőrzött szerkezeteken gyűjtött tapasztalatok minél nagyobb száma és a vizsgálat végrehajtásának egyszerűsége határozzák meg.

A következőkben a sokféle hegeszthetőségi vizsgálat közül csak az "Acélok hegeszthetőségi vizsgálata" o., MSZ 4308 szabványban szereplő, a gyakorlatban legjobban elterjedt módszereket ismertetjük.

Az átmeneti hőmérséklet meghatározása vizsgálattal (MSZ 4308/1 lap-69) az acél - 2.2 fejezetben már tárgyalt - átmeneti hőmérsékletének ISO V próbatesttel való meghatározására irányul.

Ez a vizsgálat - a nagy számú statisztikai adat és az egyszerű végrehajthatóság következtében, bár hegesztést nem alkalmaz - mind a mai napig a legelterjedtebb hegeszthetőségi vizsgálat, melyet minden korszerű acélszabvány előír (de nem az átmeneti

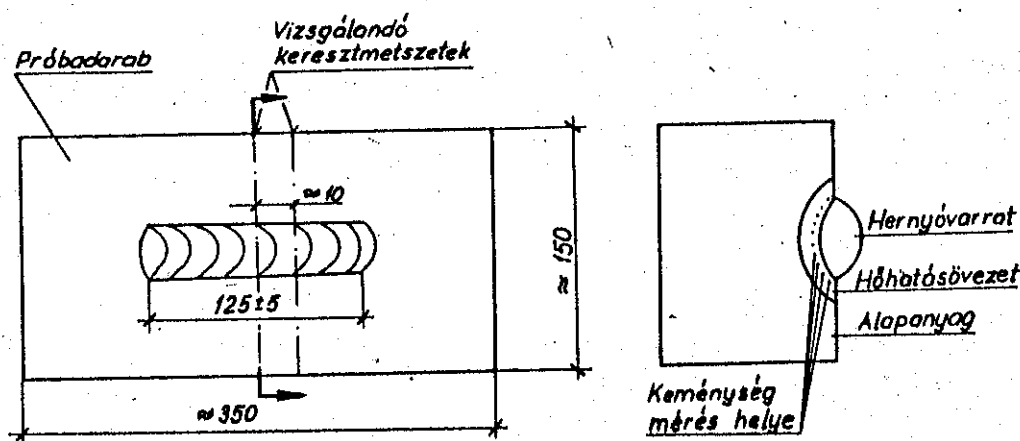
hőmérséklet meghatározására, hanem egy - az adott minőségi fokozathoz - előírt átmeneti hőmérséklet szavatolására).

A hernyóvarrat hőhatásövezetének keménységvizsgálata

(MSZ 4308/2-69) az acél edződési hajlamának meghatározására szolgáló, igen elterjedt, viszonylag egyszerű vizsgálat.

A próbadarab készítése úgy történik, hogy adott méretű lemez (ez az a minimális méret, melynél nagyobb már nem jelent gyorsabb hőelvezetést) közepére, adott hegesztési technológiával, meghatározott méretű varrathernyót kell készíteni.

A varrat közepén vett metszet csiszolatán a varrat átmeneti övezetében mért keménység felvilágosítást ad az illető acél edződési hajlamáról. Az előírások általában - pl. az MSZ 6442-71 - nem engednek meg nagyobb felkeményedést mint 300 HV, hidrogén-szegény heganyag esetén (bázikus elektródával végzett kézi lvhegesztés) 350 HV (33. ábra).



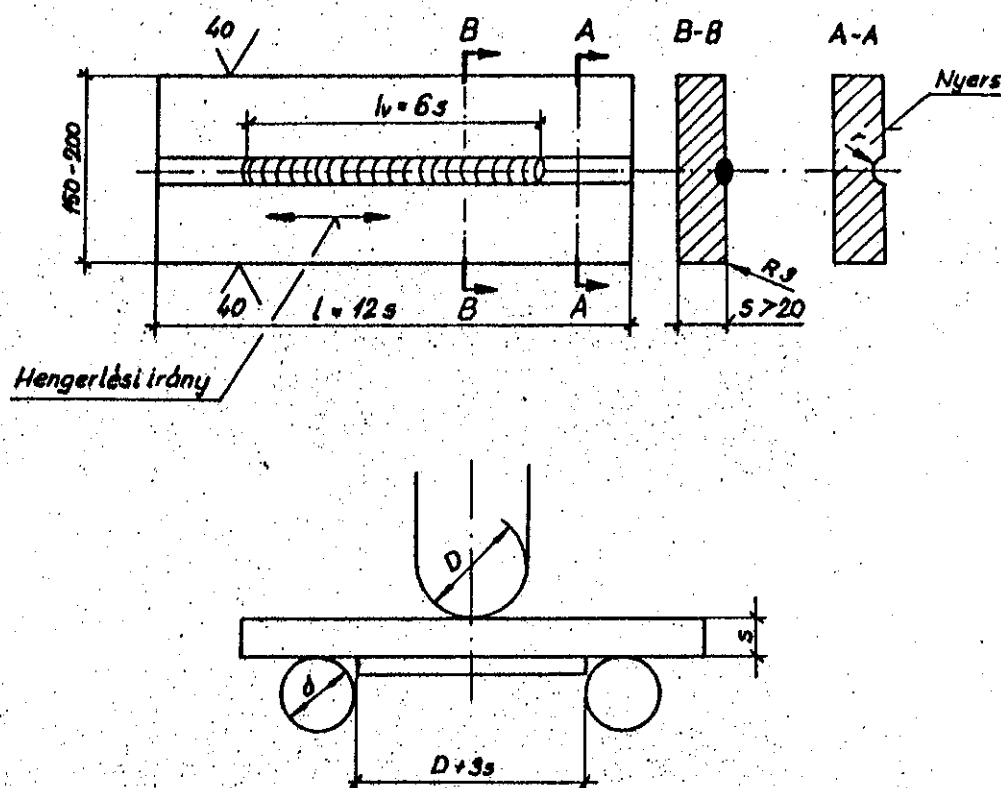
33. ábra

Hernyóvarrat hőhatásövezetének keménységvizsgálata

Ezt a vizsgálatot az alapanyag szabványok általában nem írják elő.

A hernyóvarratos hajlítóvizsgálat (MSZ 4308/3-69), vagy más elnevezéssel Kommerell-próba, a hegesztési hőhatásövezet képlékenységének meghatározására szolgál.

Adott méretű, hossz tengelyében horonnyal ellátott lemezre, előírt technológiával varrathernyót készítenek. A vizsgálat során a próbatestet úgy hajlítják meg, hogy a varrathernyó és környezete hossz tengely irányu húzást szenved. Előírt hajlítási szög (általában $\alpha \geq \frac{1500}{s}$; ahol "s" a lemezvastagság) repedésmentes teljesítése az átmeneti övezet kellő képlékenységet igazolja. A próbatestet töréssel hajlítva, a törési felület jellege (max. 50%-ban lehet rideg) szintén az alapanyagot jellemző adat (34. ábra).



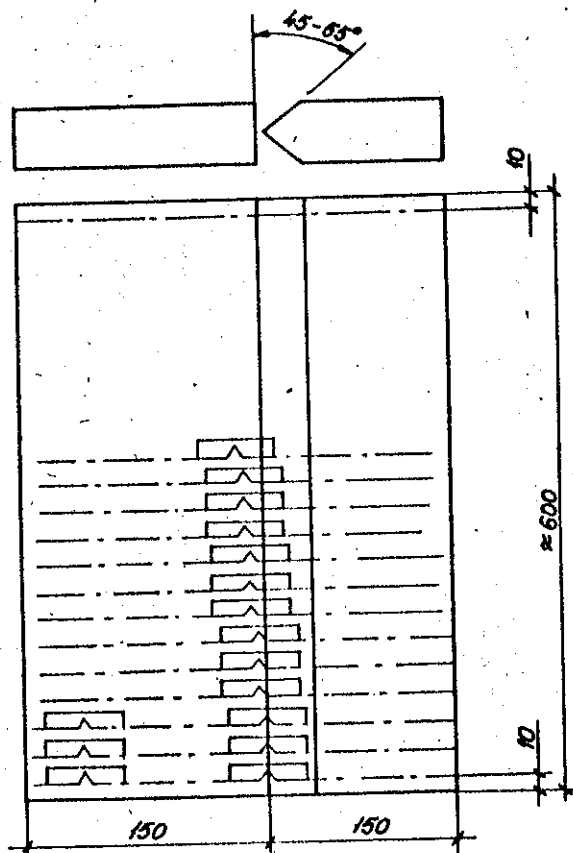
34. ábra

Hernyóvarratos hajlítóvizsgálat

A hernyóvarratos hajlítóvizsgálatot több alapanyagszabvány előírja (az MSZ 6280-74 csak a 45 és 52 típusú, 20 mm-nél vastagabb lemezekre és szélesacélokra).

A hegesztési hőhatásövezet útővizsgálata (MSZ 4308/4-69, egyik változata a Čabelka-próba) a hegesztési hőfolyamatnak az acél ridegtörési érzékenysége (átmeneti hőmérsékletére) gyakorolt hatását vizsgálja.

A vizsgálathoz adott módon (1/2V, 1/2X) leélezett lemezeket a felhasználáskor alkalmazni kívánt technológiával tompán összehegesztünk. A tompavarratból útő próbapálcákat veszünk ki. Ezeket (a lemez síkjára merőlegesen) oly módon kell bemetszeni, hogy (három próbapálcaként) a varrat szélén, majd attól távolodva adott távolságokban (pl. 0; 1; 2; 3; 4; 5; 7; 10 és 15 mm) legyen a bemetszés csúcspontja. A vizsgálat során az alapanyag átmeneti hőmérsékletén meg kell határozni az átmeneti övezet különböző pontjainak útőmunkaértékeit, majd meg kell keresni a leggyengébb hely átmeneti hőmérsékletét - mely kétségtelenül magasabb lesz az alapanyagénál (35. ábra).



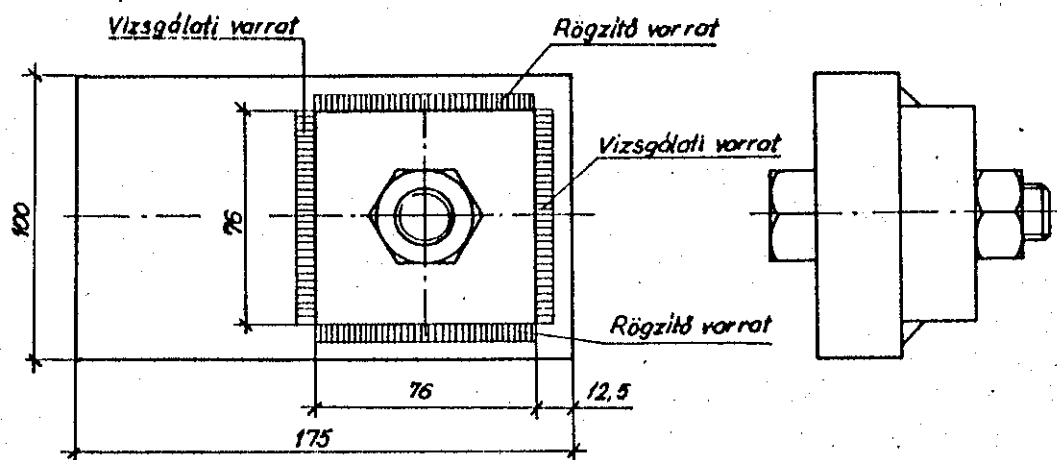
35. ábra

Hegesztési hőhatásövezet ütővizsgálata

A Čabelka próba végrehajtása meglehetősen hosszadalmas. Értékelésére vonatkozóan sincsenek egyértelmű előírások (pl. a szabványok nem határozzák meg, hogy a leggyengébb pont átmeneti hőmérséklete mennyivel lehet magasabb az alapanyagra előírtnál), ezért a Čabelka által javasolt eredeti formában kevésbé terjedt el.

A sarokvarrat hőhatásövezete repedési hajlamának vizsgálata (MSZ 4308/6-71), vagy más néven a CTS-próba, kedvezőtlen körülmények között hegesztett sarokvarratok az acél hőhatás övezetére gyakorolt hatásának, főként repedési hajlamának elemzésére szolgál.

Két adott méretű lemezt csavarral összeszorítanak, majd két oldalon sarokvarrattal is rögzítenek. Ezt követően – a vizsgálat célja szerint – vagy egy adott technológiával, vagy pedig egyre kedvezőtlenebb körülmények között (egyre kisebb fajlagos hőbevitellel) meghesztik a másik két sarokvarratot. (Ezek közül az egyik két-, a másik három-irányú hőelvezetéssel jár.) A varratokból vett csiszolatok keménység- és metallográfiai vizsgálata az alapanyag edződési és repedési hajlamára ad felvilágosítást (36. ábra).



36. ábra

Sarokvarrat hőhatásövezete repedést hajlamának vizsgálata

Az első esetben (adott technológia) egy alkalmazni kívánt technológia helyességéről (vagy helytelenségéről) győződhetünk meg. A másik esetben pedig megkereshetjük azt a technológiát, mely az acélban már repedéseket kelt. Ez a módszer főként a különböző acélfajták repedésérzékenységének, vagy a különböző - pl. a hidrogén-szegény bázikus és a varratba több hidrogént bevívó - hegesztőanyagok repedést keltő hatásának összehasonlítására alkalmas.

A CTS-vizsgálat is meglehetősen bonyolult, ezért az üzemi gyakorlatban kevésbé, jobbára csak a kutatás területén terjedt el.

2.6 A szerkezetépítés főbb hazai és külföldi acéltípusai

A tárgyalásunk körébe tartozó hegesztett acélszerkezetek alapanyagát legnagyobb-részt a világszerte kialakult 37-es és az 52-es szilárdsági kategóriába esnek. A fejlett ipari államokban egyre jelentősebb az 52-es acél részaránya. Az ennél nagyobb szilárdságú (60, 70, 80, 100 kp/mm² névleges szakítószilárdság) acélok szerkezeti célra történő feldolgozása említésre méltó mértékben csak az USA-ban és Japánban fordul elő. Hazánkban jelenleg a 37-es acélok dominálnak, az 52-es acélok az össz-termelésnek csak kb. 1%-át teszik ki, ennél nagyobb szilárdságú acélt szerkezeti célra még nem alkalmaznak.

Hazai viszonylatban tehát e téren bizonyos elmaradás tapasztalható. Ennek okát főként abban kell keresni, hogy - mint ahogy azt anyagunkban több helyütt részletesen tárgyaljuk - a 37-es acélok gyártása és feldolgozása jóval egyszerűbb, mint az 52-es és főként az ezt meghaladó szilárdságuké. Gondolunk itt elsősorban a gyártásnál az edződést hajlamot mérsékelő különféle, csillapítást, ötvöztetést és hőkezelést igényekre,

a feldolgozásnál pedig a feledződést és azzal a ridegtörési veszélyt elhárító, meglehetősen költséges és nagy szakmai felkészültséget követelő módszerek alkalmazásának szükségességére.

A következőkben rövid értékeléssel bemutatjuk a hazai szerkezeti acélokat tartalmazó szabványok legfőbb előírásait, továbbá - tájékoztatásul és összehasonlításul - néhány jellemző külföldi példát sorakoztatunk fel.

Előljáróban két dolgot is ki kell emelnünk. Az egyik az, hogy a hazai acélszabványok a legkorszerűbb elveken épültek fel, egy-egy szilárdsági kategórián belül - hasonlóan az ISO (Nemzetközi Szabványosítási Szervezet) javaslatához - a minőségi fokozatok megkülönböztetése az ütővizsgálatok hőmérsékletének változtatásával történik. E mellett hangsúlyozni kell, hogy a hazai szabványok viszonylag szigorú előírásokat tartalmaznak a vegyi összetételre. A másik jellegzetesség, hogy a hazai nemzeti szabvány magában foglalja a tényleges választékokat. Ezzel szemben a külföldi nemzeti szabványok csak keretül szolgálnak a különféle acélművek által - házi szabványok szerint - gyártott, a szabványokban szereplőnél lényegesen szélesebb skálájú és pontosabban körülírt választéknak. Ilyenformán egy-egy szilárdsági kategórián belül acél-"család"-okról kell beszélni (pl. DIN-szerinti St 52-3 megjelölés alatt igen sokféle acél kerül forgalomba).

2.6.1 Hazai szerkezeti acélok

A hegesztett acélszerkezetek alapanyagául szolgáló acélokat az MSZ 6280-74 és az MSZ 500-74 tartalmazzák.

Mint már említettük mindkét szabvány a legkorszerűbb elveken épül fel. Bár elődjeikhez képest természetesen fontos előrelépést jelentenek, korszakalkotónak mégsem ezeket, hanem tíz éve érvénybe lépett elődjeiket, az MSZ 6280-65-öt és az MSZ 500-66-ot tekintjük. Ennek alátámasztására, ill. a fejlődés érzékeltetésére bemutatjuk az addig érvényben levő szerkezeti acélszabványokat is.

1966-ig - ill. 1967-ig az acélszerkezetek - és így az addig épült hegesztett acélszerkezetek (pl. a szolnoki Közutó Tiszahíd 1962-ben átadott kifejezetten korszerű hegesztett acélszerkezetének I) - alapanyagát elsősorban az MSZ 6289-55, az MSZ 6280-57, továbbá az MSZ 21-50 és az MSZ 112-50 szerint készülték.

Az MSZ 6289-55 ("Különleges acélok hegesztett híd és járműszerkezeti acélokra"). két acéltípusnál az "S" betűt jelentette - az akkori idők fogalmait szerinti - a hegeszthetőséget. (A 36.24 S minőség "jó", a 45.30 S minőség "eléggé" hegeszthető a szabvány szerint!) A mechanikai vizsgálatok közül hiányzik a ridegtörési érzékenységre utaló ütővizsgálat, melyet ma a legfontosabbnak tartunk (2. táblázat).

A "hegeszthetőség" (?) biztosítására a szabvány a vegyi összetételt is előírja. Ez azonban - mivel csak maximumokat ír elő - még csillapítottságot (St tartalmat) sem garantál. Egyedül a C, P, S vonatkozásában jelent némi biztosítékot (3. táblázat).

2. táblázat

Jel	Szakítószilárdság kg/mm ²	Folyáshatár kg/mm ²	Teljes nyúlás δ _{10%}	Hajlítás Tüskeátmérő			
				S ≤ 8 8 < S ≤ 12 12 < S ≤ 30			
		legalább					
36.24 S	36	24	h 22	h s	h	s	h 2s
			k 20	k s	k	1,5 s	k 3s
45.30 S	45	30	h 19	h 2s	h	2 s	h 3s
			k 17	k 3s	k	3 s	k 4s

3. táblázat

Jel	Legfeljebb						
	C	Mn	Cr	Si	Cu	P	S
36.24 S	0,2	0,7	-	0,35	0,35	0,06	0,055
45.30 S	0,2	1,3	0,3	0,52	0,35	0,06	0,055

Az MSZ 6280-57 "Különleges acélok. Nagyszilárdságú acél hegesztett híd- és járműszerkezeti célra MnTi acél, un. MTA 50 acél", (Mn, Ti, Al ötvöztetű, 50-es névleges szakítási szilárdságú) acél az 50-es kategóriában teremtett "jól hegeszthető" (?) acélt. Ez a típus feltétlenül nagy előrelépést jelentett, egyrészt az Al és Ti finomszemcséséget és öregedésállóságot biztosító hatása, másrészt az ennek bizonyos foku igazolására szolgáló $+20^{\circ}\text{C}$ -on, DVM próbával előírt - ütővizsgálat bevezetésének révén. A 4. táblázat a szilárdsági tulajdonságokat, az 5. táblázat a vegyi összetételt írja elő.

A másik két szabvány (MSZ 21 és MSZ 112) sem vegyi összetételt, sem ütővizsgálatot nem ír elő, folyáshatárt is csak részlegesen. Ezeket az acélokat általában csak szegecselt szerkezetekhez alkalmazták, így előírásaik tulajdonképpen kielégítőek voltak. (Részletes bemutatásukat mellőzzük.)

Természetes, hogy az előzőekben részletezett szabványok szerinti acélok messze nem elégítik ki a 60-as években egyre terjedő hegesztett szerkezetek szabta követelményeket. (Pl. az Erzsébet-híd gyártása során két 24 mm vastag, 36.24 S minőségű lemez - a varratból, ill. az autogénnel kivágott hengerművi próbából kilinduló repedéssel - ridegen eltört. Az ehhez kapcsolódó vizsgálatok eredményeként végül is 1000 t anyagot kellett lecserélni. Ugyanitt derült ki, hogy az MTA 50-es acél szívóssága körül is hibák vannak, ami egyrészt a Ti hengerlési hőmérsékletre érzékeny voltára, másrészt arra volt visszavezethető, hogy a szabvány a normalizálást - értelmetlen módon - csak 7 mm vastagság alatt (!) írta elő.)

Nagyon időszerű volt már tehát e szabványok megreformálása. Ez az igény az 1966-ban hatályba lépett - az MSZ 6289-55-öt és az MSZ 6280-57-et egyesítő - MSZ 6280-65-tel, valamint az 1967-ben hatályba lépett - az MSZ 21-50-et és az MSZ 112-50-et egyesítő - MSZ 500-66 révén, mint már említettük, korszerű módon kielégítést nyert. Hibás lépés volt azonban, hogy két (és nem egy) szabványban lényegében azonos anyagokat ismételtelen határolták meg. Ez bizonyos átfedésekhez, zavarokhoz, nehézkes kezelhetőséghez vezetett, melyeket teljesen kiküszöbölni az örökség terhére magukkal cipelő 1975-ös kiadások sem tudtak.

Az MSZ 6280-65 ("Szerkezeti acél fokozott követelményű hegesztett szerkezetekhez"), egyrészt bevezette az egy kategórián belül minőségi fokozatokat (Y, B, C, D) az ütővizsgálat követelménye révén, másrészt egyértelmű előírást adott a vegyi összetételre, ezen keresztül a csillapítottság mértékére, továbbá a hengerművi kikészítésre, a hőkezelésre vonatkozóan. A 6. táblázat a mechanikai tulajdonságokra, a 7. táblázat a vegyi összetételre vonatkozó fő előírásokat mutatja be.

Jellemzi e szabvány korszerűségét, hogy az általa előírt acélok messze alkalmasabbak hegesztett szerkezetek gyártásához (ezt megfelelő vizsgálatokkal igazolni is kell), mint az MSZ 6280-55 szerintiék, és - ellentétben ez utóbbival - a hegeszthetőségre vonatkozóan már nem tesz egyértelmű kijelentést, ezt a kérdést is - a következők szerint - korszerűen kezeli:

4. táblázat

Jel	Vastagság mm	Szakító szilárd- ság σ_B kg/mm ²	Folyás- határ σ_F kg/mm ²	Teljes nyulás hossz- irányban δ_5 % min.	Fajlagos ütőmunka A_k mkg/cm ² hosszirányban +20°C-nál	Hossz- Kereszt- irányu hajli- tásnál tüske- átmérő	Hajli- tási szög
MTA 50	16-ig		34	24	21	2a	3a
	16 felett						
	25-ig	50-62	33	23	20	2a	3a
	25 felett				8		180
	40-ig		32	22	19	2a	3a

5. táblázat

Vegyi összetétel % legfeljebb

Jel	C	Mn	Si	Cr	Al	Ti	P	S
MTA 50	0,2	1,3	0,55	0,2	0,10	0,20	0,05	0,045

6. táblázat

Minőségi jel	Szakítószilárdság σ_B kp/mm ²	Folyáshatár σ_F kp/mm ²				Teljes nyúlás δ_5 % legalább				Ütővizsgálat hőmérséklete °C		Hajlítás 180°-ra tüskeátmérő mm					
		I	II	III	IV	I	II	III	IV	hossz- irányban	kereszt- irányban	szállítási állapotban	1/ 2/	I	II	III	IV
37 Y												0					
37 B												-10					
37 C	37-45	24	24	23	22	26	26	26	25	24	24	24	23	a	a	a	a
37 D												-40	+20 (0)				
45 Y												0					
45 B	45-55	30	29	28	-	24	24	23	-	22	22	21	-	2a	2a	3a	4a
52 C												-20	+20				
52 D	52-62	36	35	34	-	24	23	22	-	21	20	19	-	2a	2a	2a	3a
												-40	+20 (0)				

1/ Az ütővizsgálatot lemezeken keresztirányu, a többi terméken hosszirányu próbatesteken kell végezni

2/ Külön megállapodásra végzendő

7. táblázat

Minőségi jel	Vegy összetétel %-ban								
	C legfeljebb	Mn	Si legfeljebb	Ti	Al legfeljebb	P	S legfeljebb	Cu legfeljebb	Cr
37 Y	0,17	0,50 - 0,90	0,10	-	-	0,050	0,055	0,35	0,30
37 B	0,19	0,40 - 0,70	0,15 - 0,35	-	-	0,050	0,055	0,35	0,30
37 C	0,19	0,40 - 0,70	0,15 - 0,35	-	0,02	0,045	0,050	0,30	0,30
37 D	0,19	0,40 - 0,70	0,15 - 0,35	-	0,02	0,045	0,045	0,30	0,30
45 Y	0,17	0,70 - 1,40	legfeljebb 0,10	-	-	0,045	0,045	0,30	0,30
45 B	0,20	0,70 - 1,30	0,25 - 0,55	-	-	0,045	0,045	0,30	0,30
52 C	0,20	1,00 - 1,50	0,25 - 0,60	-	0,02	0,045	0,045	0,30	0,20
52 D	0,20	1,00 - 1,50	0,25 - 0,60	0,02-0,15	0,02	0,045	0,045	0,30	0,20

"2.71 Az e szabvány szerinti acélok hegeszthetőségét a gyártási módszerre, vegyi összetételre, az ütvizsgálatra, valamint a 20 mm és ennél vastagabb termékeknél ezeken túlmenően hernyóvarratos hajlító vizsgálatra előírt követelmények kielégítése szabja meg. A hegesztés és a hegesztett szerkezet megbízhatósága az anyag tulajdonságain kívül a választott szerkezeti formától, a hegesztő anyagoktól, a hegesztés technológiájától és a szerkezet üzemi körülményeitől is függ. Ez utóbbiak helyes megállapítása és ennek alapján a megfelelő anyagminőség kiválasztása kívül esik e szabvány tárgyán és hatályán."

Az MSZ 6280-74 ("Acélok hegesztett szerkezetekhez") kiadása korszerűsítés már nem hozhatott ilyen jelentős változásokat elődjéhez képest.

A legfontosabb módosítások a következők:

- a DVM próbáról az ISO próbára;
- az átmeneti hőmérséklet kijelölésére az 52-es acéloknál megemelt energiaszintet (4mkp) vezet be;
- a finomszemcsésséget biztosító Al, Ti ötvöztetés előírása helyett lehetőséget biztosít más mikroötvözők (V, Nb, Zr, N) meghatározott arányu alkalmazására is;
- bevezeti az 52 E és az 58 C minőséget.

A szabványban előírt acélok mechanikai tulajdonságait a 8., a vegyi összetételét a 9. táblázat tartalmazza.

A szabvány függeléke igen értékes irányelveket tartalmaz az e szabvány szerinti acélok hegesztési munkarendjének megállapításához.

Az MSZ 500-66 ("Általános rendeltetésű ötvöztelen szerkezeti acél") két csoportba sorolja az általa előírt acélokat. Az "A" jelzésű csoportba a mechanikai tulajdonságokkal és vegyi összetétellel jellemzett szerkezeti acélok, a "B" jelzésű csoportba a csak vegyi összetétellel jellemzett melegen hengerelt, vagy kovácsolt féltermékek tartoznak.

A csillapítottság fokát e szabvány is külön betűvel (X, Y, B) jelöli, míg "Ü" betűt kapnak azok az acélok melyek szívósságát $+20^{\circ}\text{C}$ -on, DVM próbával - igazolni kell. A 10. táblázat az "A" csoport acéljainak a mechanikai tulajdonságokra, a 11. táblázat a vegyi összetételre vonatkozó előírásait mutatja be (kivonatosan).

Az MSZ 500-74 ("Általános rendeltetésű ötvöztelen szerkezeti acél") jobb összhangot teremt az MSZ 6280-al, mint elődje. Megszünteti az ütvizsgálatot (ridegtörés szempontjából igényesebb hegesztett szerkezetekhez az MSZ 6280 szerinti acélokat kell alkalmazni), szűkíti a választékot. Az "A" csoportba tartozó acélokra vonatkozó (kivonat) előírásait a 12 és 13. táblázatban mutatjuk be.

A felsorolt acélok közül az egyes szilárdsági kategóriákon belül megfelelő minőség kiválasztásával a 4. fejezetben foglalkozunk.

8. táblázat

Az acél- minőség jele	Szakitó- szilárdság R_m kp/mm ² (N/mm ²)	Folyáshatár R_{eH} legalább kp/mm ² (N/mm ²)	Szakadási nyulás A_5 % legalább	Ütővizsgálat Vizsgál- ti hőmér- séklet hosszirányu próbatesten	180°-os hajli- tás tüske át- mérője mm (a=próbatest vastagsága) hossz- kereszt- irányu próba- testhez
37 B 37 C 37 D	37-47 (363-461)	24 (235)	24 (216)	+20 0 -20	2,8 (27,5) a 1,5a
45 B 45 C 45 D	45-55 (441-539)	30 (294)	26 (255)	+20 0 -20	2,8 (27,5) 2a 3a
16 felett 35 felett 50 fe- 16-ig 35-ig 50-ig lett					
52 C 52 D	50-62 (490-608)	36 (353)	35 (343)	0 -20 -50	4 (39,2) 2a 3a 2,8 (27,5)
52 E					
58 C	55-70 (539-686)	42 (412)	41 (402)	0	4 (39,2) 3a 4a

9. táblázat

Az acél- minőség jele	Vegyl összetétel %-ban						
	Mintavétel	C legfeljebb	Mn	Si	Mikro- ötvözés	P legfeljebb	S
37 B	Öntéskor	0,18	1,00	0,15-0,35		0,045	0,045
	Késztermékből	0,20	1,10	0,13-0,40		0,050	0,050
37 C	Öntéskor	0,16	1,00	0,15-0,35		0,040	0,040
	Késztermékből	0,18	1,10	0,13-0,40		0,045	0,045
37 D	Öntéskor	0,16	1,00	0,15-0,35		0,035	0,035
	Késztermékből	0,18	1,10	0,13-0,40		0,040	0,040
45 B	Öntéskor	0,20	1,30	0,20-0,50		0,045	0,045
	Késztermékből	0,22	1,40	0,18-0,55		0,050	0,050
45 C	Öntéskor	0,18	1,30	0,20-0,50		0,040	0,040
	Késztermékből	0,20	1,40	0,18-0,55		0,045	0,045
45 D	Öntéskor	0,18	1,30	0,20-0,50		0,035	0,035
	Késztermékből	0,20	1,40	0,18-0,55		0,040	0,040
52 C	Öntéskor	0,20	1,50	0,20-0,50		0,040	0,040
	Késztermékből	0,22	1,60	0,18-0,55		0,045	0,045
52 D	Öntéskor	0,18	1,50	0,20-0,50		0,035	0,035
	Késztermékből	0,20	1,60	0,18-0,55		0,040	0,040
52 E	Öntéskor	0,16	1,60	0,20-0,50		0,030	0,030
	Késztermékből	0,18	1,70	0,18-0,55		0,035	0,035
58 C	Öntéskor	0,20	1,60	0,20-0,60		0,040	0,040
	Késztermékből	0,22	1,70	0,18-0,65		0,045	0,045

10. táblázat

Mechanikai tulajdonságok						
Az acélminőség jele	Szakító szilárdság σ_B kp/mm ²	Folyáshatár σ_F kp/mm ² legalább	Teljes nyúlás ha a szakítószil. σ_B kp/mm ²	$\delta_5\%$ leg- alább	Hideghajlítás 180°-ra D-tüskeárm. a-próbatest vast.	
A 0	Legfelj. 50	-	-	Legfelj. 50	22	D = 2a
A 34 X	34 - 42	22	20	19	31	D = 0
A 34 Y						
A 34 B						
A 34 Ü						
A 38	38 - 47	24	23	22	26	D = 0,5
A 38 X						
A 38 Y						
A 38 B						
A 38 Ü						
A 42	42 - 52	26	25	24	24	D = 2a
A 42 Y						
A 42 B						
A 42 Ü						
A 50	50 - 62	28	27	26	20	D = 3a
A 50 B						
A 60	60 - 72	31	30	30	15	-
A 70	70 és felette	-	-	-	11	-

11. táblázat

Az acélminőség jele	Vegyi összetétel %				
	C	Si	Mn	S	P legfeljebb
A 0	-	-	-	-	-
A 34				0,060	0,050
A 34 X	Legfelj. 0,15	Legfelj. 0,07			
A 34 Y		Legfelj. 0,17	0,25-0,50	0,055	0,045
A 34 B					
A 34 Ü		0,12-0,30		0,050	0,045
A 38		-	-	0,060	0,050
A 38 X		Legfelj. 0,07	0,30-0,60		
A 38 Y	Legfelj. 0,22	Legfelj. 0,17	0,35-0,65	0,055	0,045
A 38 B		0,12-0,30	0,40-0,65		
A 38 Ü				0,050	0,045
A 42				0,060	0,050
A 42 Y	Legfelj. 0,27	Legfelj. 0,17			
A 42 B		0,12-0,30	0,40-0,70	0,055	0,045
A 42 Ü				0,050	0,045
A 50				0,060	0,050
A 50 B	Legfelj. 0,37	0,15-0,35	0,50-0,80	0,055	0,045
A 60	-	-	-	0,060	0,050
A 70	-	-	-	0,060	0,050

12. táblázat

Az acélminőség jele	Az acél csillapításának jellege	Szakítószilárdság R_m kp/mm ² (N/mm ²)	Folyáshatár R_{eH} kp/mm ² (N/mm ²) legalább	Szakadási nyúlás A 5%		180°-os hajlítási tüske át-mérője (a=próbatest vastagsága)	
				legalább		(a=próbatest vastagsága)	
				szelvényvastagság ill. átmérő mm-ben		hossz- kereszt- hossz- kereszt- irányu	
				16-ig	40-ig 100-ig	próbatesten	próbatesten
A 0	-	31-50 (304-490)	-	-	22	20	2a 3a
A 34							
A 34 X	Csillapítatlan	34-44	22	21	20	28	0 a
A 34 B	Csillapított	(333-431)	(216)	(206)	(196)		
A 38		38-49	24	23	22		
A 38 X	Csillapítatlan	(373-481)	(235)	(225)	(216)	24	a 2a
A 38 B	Csillapított						
A 44		44-56	28	27	26	22	2a 3a
A 44 B	Csillapított	(431-549)	(275)	(266)	(256)		
A 50	Csillapított	50-64	30	29	28	21	-
		(490-628)	(294)	(284)	(275)	19	-
A 60	Csillapított	60-74	34	33	32	16	-
		(588-726)	(333)	(324)	(314)	14	-
A 70	Csillapított	70	-	-	-	10	-
		(686)				8	-

Az acélminőség jele	Vegyl összetétel, %									
	Öntéskor (adagelemzés)					Késztermékben				
	C max.	Si	P max.	S max.	C max.	Si	P max.	S max.		
A 0	-	-	-	-	-	-	-	-		
A 34	-	-	-	-	-	-	-	-		
A 34 X	0,15	0,07	0,045	0,050	0,18	0,07	0,050	0,055		
A 34 B		0,12				0,10				
A 38	0,22	-	0,045	0,050	0,25	-	0,050	0,055		
A 38 X		0,07			0,23	0,07				
A 38 B	0,20	0,12				0,10				
A 44	0,25	-	0,045	0,050	0,28	-	0,050	0,055		
A 44 B	0,21	0,12			0,24	0,10				
A 50	-	-	0,045	0,050	-	-	0,050	0,055		
A 60	-	-	0,045	0,050	-	-	0,050	0,055		
A 70	-	-	0,045	0,050	-	-	0,050	0,055		

2.6.2 Külföldi szerkezeti acélok

Szerkezetépítés céljaira a fejlett ipari államokban minden igényt kielégítő minőségi skálán, tág határok között mozgó szilárdsági kategóriákban, számtalan acélféleséget gyártanak.

A jelenlegi világszínvonalat jól tükrözik a különféle nemzeti szabványokat átfogni, közös nevezőre hozni igyekvő ISO (Nemzetközi Szabványosítási Intézet) szabványtervezetek, melyek harminc ország (köztük hazánk) részvételével készültek.

A szerkezeti acélokat tartalmazó ISO(R 630-1967/E)-jelű szabvány öt szilárdsági kategóriában ($33-52 \text{ kp/mm}^2$ névleges szakítószilárdságok között) általában négy minőségi fokozatu acélt különböztet meg (lényegében az ütővizsgálatra előírt hőmérséklet szerint). A 14. táblázat a vegyi összetételét, a 15. táblázat a mechanikai értékeket ismerteti.

A növelt folyáshatáru acélokra vonatkozó ISO előírásokat az ISO/TC 17/SC 3-1974 dokumentum tartalmazza. Ez - az előző folytatásaként - további hat szilárdsági kategóriában ($42-70 \text{ kp/mm}^2$ névleges folyáshatárok között) két-két minőségi fokozatot különböztet meg - -20°C -on, ill. -50°C -on ISO V-próbatesttel végzett ütővizsgálat révén. A 16. táblázat a vegyi összetételt a 17. táblázat a mechanikai értékeket tartalmazza.

A KGST országok nemzeti szabványait a vonatkozó RSZ- szabványajánlás fogja össze. Az EURONORM néhány tőkés európai ország közös szabványjavaslatait tartalmazza.

A nemzeti szabványok előírásai - mint már említettük - viszonylag szűkszavúak. A számunkra ezek közül legfontosabb DIN 17100-1966 (NSZK) előírásait - kivonatossan - a 18. és a 19. táblázatban közöljük.

A növelt folyáshatáru hegeszthető acélok keretszabványa az NSZK-ban a STAHL-EISEN-WERKSTOFFBLATT 089-70, mely további nyolc szilárdsági kategóriában (26, 29, 32, 36, 39, 43, 47, 51 kp/mm^2 névleges folyáshatárok) három-három minőségi fokozatba (StE, WStE, TTStE) rangsorolja az acélokat, a legjobbak számára -50°C -os átmeneti hőmérsékletet írva elő (ISO V-próbával mérve).

Az egyes acélművek a nemzeti szabványok adta keretet széles skálával töltik ki, illetve azokon túlmenő szilárdságu és minőségű acélokat is gyártanak. A 16. és 17. táblázatban példaként bemutatjuk az NSZK-beli THYSEN művek - előzőekben említett Werkstoffblatt előírásokra épülő - acélsora három jellegzetes típusának (26, 36 és 51 kp/mm^2 névleges folyáshatáru szilárdsági kategóriák) három minőségi csoportba tartozó acéljaira a vegyi összetételre (20. táblázat) és a mechanikai tulajdonságokra (21. táblázat) vonatkozó kivonatos előírásokat.

14. táblázat

Az acél jele	Minőségi fokozat	C max. %		P max. %		S max. %	
		adag	késztermék	adag	késztermék	adag	késztermék
Fe 33	0						
Fe 37	A	0.20	0.25	0.08	0.100	0.06	0.075
	B	0.20	0.25	0.06	0.075	0.05	0.062
	C	0.17	0.20	0.05	0.055	0.05	0.055
	D	0.17	0.20	0.045	0.050	0.045	0.050
Fe 42	A	0.25	0.31	0.08	0.100	0.06	0.075
	B	0.22	0.27	0.06	0.075	0.05	0.062
	C	0.20	0.23	0.05	0.055	0.05	0.055
	D	0.20	0.23	0.045	0.050	0.045	0.050
Fe 44	A	0.25	0.31	0.08	0.100	0.06	0.075
	B	0.22	0.27	0.06	0.075	0.05	0.062
	C	0.20	0.23	0.05	0.055	0.05	0.055
	D	0.20	0.23	0.045	0.050	0.045	0.050
Fe 52	B	0.22	0.25	0.06	0.065	0.05	0.055
	C	0.20	0.23	0.05	0.055	0.05	0.055
	D	0.20	0.23	0.045	0.050	0.045	0.050

15. táblázat

Az acél	Mechanikai értékek				Ütővizsgálat				Energia min. mkg.
	Minőségi	R _e kgf/mm ² , min.	R _m kgf/mm ²	A % 5, 65 9 min.	Hajlítási 180°	Bemetszés- vizsgálati hőmér- séklet	Hajlítási 180°		
Fe 33	0	0	16 16 40 40 63	40 63	40 e		3a		
52 max.									
Fe 37	A	24	23	22	37 - 45	26	25	2a	-
	B	24	23	22	37 - 45	26	25	2a	V szobahőm. 2,8
	C	24	23	22	37 - 45	26	25	2a	V 0° C 2,8
	D	24	23	22	37 - 45	26	25	2a	V -20° C 2,8
Fe 42	A	26	25	24	42 - 50	23	22	3a	-
	B	26	25	24	42 - 50	23	22	3a	V szobahőm. 2,8
	C	26	25	24	42 - 50	23	22	3a	V 0° C 2,8
	D	26	25	24	42 - 50	23	22	3a	V -20° C 2,8
Fe 44	A	28	26	25	44 - 52	23	22	3a	-
	B	28	26	25	44 - 52	23	22	3a	V szobahőm. 2,8
	C	28	26	25	44 - 52	23	22	3a	V 0° C 2,8
	D	29	27	26	44 - 52	23	22	3a	V -20° C 2,8
30									
Fe 52		16	30	50	30	50	21	3a	V szobahőm. 2,8
	B	36	35	34	50 - 62	22	21	3a	V 0° C 2,8
	C	36	35	34	50 - 62	22	21	3a	V -20° C 2,8
	D	36	35	34	50 - 62	22	21	3a	V -20° C 2,8

16. táblázat

Az acél jele	Minőségi fokozat	C % max.	Mn %	Si %	P % max.	S % max.	Nb %	V %	Al % max.	Ti %	Zr %
E 420	DD	0,18	1 -1,7	0,50	0,035	0,035	0,015-0,06	0,02-0,2	0,015	0,02-0,2	
	E	0,18	1 -1,7	0,50	0,030	0,030	0,015-0,06	0,02-0,2	0,015	0,02-0,2	
E 460	DD	0,18	1 -1,7	0,50	0,035	0,035	0,015-0,06	0,02-0,2	0,015	0,02-0,2	
	E	0,18	1 -1,7	0,50	0,030	0,030	0,015-0,06	0,02-0,2	0,015	0,02-0,2	
E 490	DD	0,18	1 -1,7	0,50	0,035	0,035	0,015-0,06	0,02-0,2	0,015	0,02-0,2	
	E	0,18	1 -1,7	0,50	0,030	0,030	0,015-0,06	0,02-0,2	0,015	0,02-0,2	
E 560	DD	0,20	0,7 -1,7	0,20-0,60	0,035	0,035	0,015-0,06	0,02-0,2	0,015	0,02-0,2	
	E	0,20	0,7 -1,7	0,20-0,60	0,030	0,030	0,015-0,06	0,02-0,2	0,015	0,02-0,2	
E 630	DD	0,20	0,5 -1,5	0,20-0,60	0,035	0,035	0,015-0,06	0,02-0,2	0,015	0,02-0,2	0,10
	E	0,20	0,5 -1,5	0,20-0,60	0,030	0,030	0,015-0,06	0,02-0,2	0,015	0,02-0,2	0,10
E 700	DD	0,20	0,5 -1,5	0,20-0,60	0,035	0,035	0,015-0,06	0,02-0,2	0,015	0,02-0,2	0,15
	E	0,20	0,5 -1,5	0,20-0,60	0,030	0,030	0,015-0,06	0,02-0,2	0,015	0,02-0,2	0,15

16. táblázat folytatása

Cr % max.	Ni % max.	Mo % max.	Cu % max.	B % max.
0,30	0,50	0,30	0,50	
0,30	0,50	0,30	0,50	
0,50	0,70	0,30	0,50	
0,50	0,70	0,30	0,50	
0,70	1	0,50	0,50	0,005
0,70	1	0,50	0,50	0,005
1	1	0,50	0,70	0,005
1	1	0,50	0,70	0,005
1,20	1	0,60	0,70	0,005
1,20	1	0,60	0,70	0,005
1,20	1,20	0,60	0,50	0,005
1,20	1,20	0,60	0,50	0,005

17. táblázat

Az acél jele	Minőségi fokozat	R _{0,002}		N/mm ²		R - N/mm ²	A % 5 d	K V Joule	
		s	50	50	s 70			-20° C	-50° C
E 420	DD		420		400	530-680	18	40	
	E		420		400	530-680	18		27
E 460	DD		460		440	570-720	17	40	
	E		460		440	570-720	17		27
E 490	DD		490		470	600-750	17	40	
	E		490		470	600-750	17		27
E 560	DD		560		540	670-820	16	40	
	E		560		540	670-820	16		27
E 630	DD		630		610	740-890	15	40	
	E		630		610	740-890	15		27
E 700	DD		700		680	790-940	15	40	
	E		700		680	790-940	15		27

18. táblázat

Az acélminő- ség jele	Csilla- pítés	Hőkeze- lés	Szakító szilárd- ság	Folyás határ	Szakadá- si nyulás	Mechanikai tulajdonság				Tüske átmérő hajlítá- sánál
						ISO- próba	Öregített ütő- próbatest vizs- gálat +20° C-on	DVM próba 0° C-on	Egy pró- ba ered- ménye közép- értéke	
1/ 2/			kg/mm ²	kg/mm ²	L ₀ =5d ₀ %	3 próba közép- értéke ² kgm/cm ²	3 pró- ba közép- értéke ² kgm/cm ²	3 pró- ba közép- értéke ² kgm/cm ²	3 pró- ba közép- értéke ² kgm/cm ²	
St 33-1	-	-	33- 50	19	18 (14)	-	-	-	-	3a
St 33-2	-	-				-	-	-	-	
USt 34-1	U	U, N				-	-	-	-	
RSt 34-1	R	U, N	34-	21	28 (20)	-	-	-	-	0,5a
USt 34-2	U	U, N	42			3,5 +20	8	5	-	
RSt 34-2	R	U, N				3,5 +10	10	6	-	
USt 37-1	U	U, N				-	-	-	-	
RSt 37-1	R	U, N				-	-	-	-	
USt 37-2	U	U, N	37-	24	25 (18)	3,5 +20	8	5	-	1a
RSt 37-2	R	U, N	45			3,5 +10	10	6	-	
		U				3,5 +0	-	-	7	3,5
St 37-3	RR	N				3,5 -20	-	-	9	4,5
USt 42-1	U	U, N				-	-	-	-	
RSt 42-1	R	U, N				-	-	-	-	
USt 42-2	U	U, N	42-	26	22 (16)	3,5 +20	8	5	-	2a
RSt 42-2	R	U, N	50			3,5 +20	8	5	-	
		U				3,5 +0	-	-	7	3,5
St 42-3	RR	N				3,5 -20	-	-	9	4,5
RSt 46-2	R	U, N	44-	29	22 (16)	3,5 +20	8	5	-	
		U				3,5 +0	-	-	7	3,5
St 46-3	RR	N	54			3,5 -20	-	-	9	4,5

St 52-3	RR	U	52- 62	36	22 (16)	3,5 3,5	+0 -20	-	7 9	3,5 4,5	2a
St 50-1	R	U,N	50- 60	30	20 (14)	-	-	-	-	-	-
St 50-2	R	U,N	60			-	-	-	-	-	-
St 60-1	R	U,N	60- 72	34	15 (10)	-	-	-	-	-	-
St 60-2	R	U,N	72			-	-	-	-	-	-
St 70-2	R	U,N	70- 85	37	10 (6)	-	-	-	-	-	-

1/

U: csillapítatlan

R: félig csillapított, csillapított

RR: különlegesen csillapított

2/

U: hengerelt állapot

N: normalizált állapot

18. táblázat folytatása

19. táblázat

Az acélminőség jele	Vegyí összetétel % (max.)									
	Adagelemzésnél			Késztermékben						
	C	P	S	N	C	P	S	N		
St 33-1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
St 33-2	-	.060	.050	.007	-	.075	.063	.009		
USt 34-1	.17	.080	.050	-	.21	.10	.063	-		
RSt 34-1					.19	.088	.055	-		
USt 34-2	.15	.050	.050	.007	.19	.063	.063	.009		
RSt 34-2					.17	.055	.055	.008		
USt 37-1	.20	.07	.050	-	.25	.090	.063	-		
RSt 37-1					.22	.080	.055	-		
USt 37-2	.18	.050	.050	.007	.22	.063	.063	.009		
RSt 37-2	.17				.19	.055	.055	.008		
St 37-3	.17	.045	.045	.009	.19	.050	.050	.010		
USt 42-1	.25	.080	.050	-	.31	.10	.063	-		
RSt 42-1					.28	.088	.055	-		
USt 42-2	.25	.050	.050	.007	.31	.063	.063	.009		
RSt 42-2	.23				.25	.055	.055	.008		
St 42-3	.23	.045	.045	.009	.25	.050	.050	.010		
RSt 46-2	.20	.050	.050	.007	.22	.055	.055	.008		
St 46-3	.20	.045	.045	.009	.22	.050	.050	.010		
St 52-3	.20	.045	.045	.009	.22	.050	.050	.010		
St 50-1	.25	.080	.050	-	-	.088	.055	-		
St 50-2	.30	.050	.050	.007	-	.055	.055	.008		
St 60-1	.35	.080	.050	-	-	.088	.055	-		
St 60-2	.40	.050	.050	.007	-	.055	.055	.008		
St 70-2	.50	.050	.050	.007	-	.055	.055	.008		

Acélmínőség jele	C max.	Si	Mn	P max.	S max.	V	Ni
FG 26	0.18		0.40-1.30	0.040	0.040		
FG 26 W		0.40				-	-
FG 26 T	0.16		0.50-1.30	0.030	0.030		
FG 36	0.20			0.040	0.040		
FG 36 W		0.10-0.50	0.90-1.60			-	-
FG 36 T	0.18			0.030	0.030		
FG 51				0.035	0.035		
FG 51 W	0.21	0.10-0.50	1.30-1.70	0.035	0.035	0.1-0.20	0.40-0.70
FG 51 T				0.030	0.030		

Megjegyzés: W hőálló típus: T hidegálló típus

21. táblázat

Acélminőség jele	Szakítószilárdság kp/mm ²	Folyáshatár kp/mm ² vastagságtól függően min.	Szakadási nyulás 5d ₀ hossz- szon %	Hajlító tűske átmérő hossz kereszt- irányu próba- testen
FG 26				
FG 26 W	(37-49)-(33-45)	26 - 20	25	1a 1a
FG 26 T				
FG 36				
FG 36 W	(50-64)-(46-60)	30 - 36	22	2a 3a
FG 36 T				
FG 51				
FG 51 W	(62-79)-(58-75)	42 - 51	16	3a 4a
FG 51 T				

A Werkstoffblatt-sort is tulszárnyaló minőségekre példaként megadjuk a - szintén a THYSSEN művek katalógusa szerinti - különleges nagyszilárdságú, un. N-A-XTRA sorozatot, valamint egy ezen a területen felsőfokot jelentő XABO 90 típust, melyeket hegesztett acélszerkezetekhez gyártanak.

A 22. táblázat ezek kémiai összetételét a 23. és 24. táblázatok pedig a mechanikai értékeket tartalmazzák.

A kiváló tulajdonságokat - a megfelelő ötvöztésen túlmenően - nemesítéssel (edzés vízben-megeresztés) érik el. (Megemlítjük, hogy a N-A-XTRA 70-ből már készült hidszerkezet - nyomott pylon - az NSZK-ban.)

Megjegyzendő, hogy ezek elterjedtsége Európában ezidő szerint még csekély. Japánban azonban már 1970-ben mintegy 300.000 tonna (kb. 2%-a teljes Japán szerkezeti acélfelhasználásának) klf. acélszerkezetet (nyomástartó edényeket, tároló tartályokat, hidakat, hajókat stb.) gyártottak 60, 70 és 80 kp/mm² szakító szilárdságú acélből. A NIPPON STEEL CORPORATION hegesztett szerkezetekhez 60, - 70, - 80, -100 kp/mm² névleges szakító szilárdságú WEL-TEN sorából a WEL-TEN 100 N kémiai összetételét a 25. táblázatban közöljük.

Ugyanez az acélmű folyékony gázok tárolására alacsony átmeneti hőmérsékletű acélsort gyárt 30-60 kp/mm² folyáshatárok között. Az ide tartozó N-TUF 58 típus kémiai összetételét a 26. táblázatban közöljük. Ezen acélok átmeneti hőmérséklete (egyes típusoknál) -200°C körül van.

2.7 Acélöntvények

Hegesztett acélszerkezeteknél - különösen a gépgyártás területéhez kapcsolódóaknál - gyakran alkalmazásra kerülnek acélöntvények, önálló elemként, vagy hengerelt acélanyaggal kombinálva, általában hegesztett kötéssel. Előfordulhat hibás (lunker, repedt) acélöntvények javításának igénye is. Ezért röviden ismertetjük az ötvöztelen acélöntvényeket és a hegesztésükkel kapcsolatos fontosabb tudnivalókat.

Az ötvöztelen acélöntvényekre vonatkozó előírásokat az MSZ 8270-66 tartalmazza. A szabvány öt szilárdsági kategóriában három-három minőségi csoportot különböztet meg.

A 27. táblázatban az öntöttacélok mechanikai tulajdonságaira, a 28. és 29. táblázatokban pedig a vegyi összetételre vonatkozó előírásokat (klvonatosan) ismertetjük. (Szabványos átvételi feltételként nem kötelező minden vizsgálat elvégzése.)

22. táblázat

Acélfajta	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	Zr	Ni	V
N-A-XTRA 55	max. 0.20	0.4-0.8	0.6-1.0	max. 0.035	max. 0.035	0.5-0.9	0.2-0.6	0.04-0.10	-	-
N-A-XTRA 60										
N-A-XTRA 65	max. 0.20	0.5-0.9	0.7-1.1	max. 0.035	max. 0.035	0.6-1.0	0.2-0.6	0.06-0.12	-	-
N-A-XTRA 70										
XABO 90	max. 0.18	max. 0.45	max. 1.0	max. 0.035	max. 0.035	max. 0.8	0.20- 0.60	-	min. max. 1.4 0.1	

23. táblázat

Acélfajta	Folyáshatár kp/mm ²	Szakítószilárdság kp/mm ²	Szakadási nyulás 5d ₀ hosszön %
N-A-XTRA 55	55	65 - 80	18
N-A-XTRA 60	60	70 - 85	18
N-A-XTRA 65	65	75 - 90	17
N-A-XTRA 70	70	80 - 95	16
XABO 90	90	98 -115	16

24. táblázat

Próbafajta	Vizsgálati állapot	Vizsgálati irány	Ütőmunka érték mkp/cm					
			Vizsgálati hőmérséklet °C					
			+20	+0	-20	-40	-60	-75
ISO-V	szállítási	hossz	7	7	6	5	4	3,5
		kereszt	5	5	4	4	3,5	-
DVM		hossz	10	10	8	7	6	6
		kereszt	8	8	7	6	5	3,5
DVM	öregített	hossz	6	6	5	-	-	-
		kereszt	5	4	3,5	-	-	-

Megjegyzés: a táblázat adatai mind a négy N-A-XTRA típusu acélra érvényesek; a XABO 90 típusra csak az ISO-V próbához megadott értékek vonatkoznak.

25. táblázat

Acéltípus	C max.	Si	Mn	P max.	S max.	Cu	Ni	Cr	Mo	V max.
WEL-TEN 100N	0.18	0.15-0.35	0.6-1.2	0.030	0.030	0.15-0.50	0.7-1.5	0.4-0.8	0.3-0.6	0.10

26. táblázat

Acéltípus	C max.	Mn max.	P max.	S max.	Si	Ni	Cr max.	Mo max.
N-TUF 58	0.10	0.70	0.030	0.030	0.15-0.35	2.00-2.75	0.50	0.55

27. táblázat

Minőségi csoport	Az anyagminőség jele	Szakítószilárdság		Folyáshatár		Nyúlás	Keresztmetszetcsökkenés	Fajlagos ütőmunka	Brinell-keménység HB
		B kp/mm ²	F kp/mm ²	5 %					
legalább									
1	Aö. 40	40	-	20	-	-	-	-	110 - 156
	Aö. 45	45	-	18	-	-	-	-	124 - 170
	Aö. 50	50	-	15	-	-	-	-	138 - 192
	Aö. 55	55	-	12	-	-	-	-	153 - 207
	Aö. 60	60	-	10	-	-	-	-	167 - 217
2	Aö. 40F	40	20	25	-	-	-	-	-
	Aö. 45F	45	24	21	-	-	-	-	-
	Aö. 50F	50	28	18	-	-	-	-	-
	Aö. 55F	55	32	15	-	-	-	-	-
	Aö. 60F	60	35	12	-	-	-	-	-
3	Aö. 40FK	40	20	25	35	25	35	5,0	-
	Aö. 45FK	45	24	21	30	21	30	4,0	-
	Aö. 50FK	50	28	18	25	18	25	3,5	-
	Aö. 55FK	55	32	15	20	15	20	3,0	-
	Aö. 60FK	60	35	12	18	12	18	2,5	-

28. táblázat

Az anyagminőség jele.	C %	Mn %	Si %
Aö. 40			
Aö. 40F	0,11 - 0,20	0,30 - 0,75	0,20 - 0,42
Aö. 40FK			
Aö. 45			
Aö. 45F	0,21 - 0,30	0,35 - 0,75	0,20 - 0,42
Aö. 45FK			
Aö. 50			
Aö. 50F	0,31 - 0,40	0,40 - 0,90	0,20 - 0,42
Aö. 50FK			
Aö. 55			
Aö. 55F	0,41 - 0,50	0,40 - 0,90	0,20 - 0,42
Aö. 55FK			
Aö. 60			
Aö. 60F	0,51 - 0,60	0,40 - 0,90	0,20 - 0,42
Aö. 60FK			

29. táblázat

Minőségi csoport	S %		P %	
	Bázisos 1/	legfeljebb Savanyu 1/	Bázisos 1/	legfeljebb Savanyu 1/
1	0,050	0,060	0,050	0,060
2	0,045	0,060	0,040	0,060
3	0,045	0,050	0,040	0,050

1/ Kemence

A táblázati adatok tanulmányozásakor szembevetendő - hegesztés szempontjából - (a 40-es kategória kivételével) a magas C-tartalom. Ez - bár mindegyik minőségi csoportba tartozó acélt csillapítottan kell gyártani (0,20 - 0,42% Si tartalom) - a szilárdság növekedésével arányosan fokozódó edződési hajlamon túl, csekély szívósságra utal. (Egyedül az FK minőségi csoportban kell - külön előírásra - ütőmunkát vizsgálni, de ott is csak U-bemetszésű próbával +20°C-on.)

A felsoroltakból - a korábbiakban elmondottak figyelembevételével - egyértelműen megállapítható, hogy hegesztés szempontjából, a hengerelt szerkezeti acélokhoz képest az öntött acélok igen kedvezőtlenek. Ez a vegyi összetételén túl, az öntött struktúrából fakadó lényegesen gyengébb képlékeny és szívós tulajdonságok következménye. A helyzetet rontja az is, hogy az öntvények általában vastagabbak a hengerelt lemezeknél, tehát a hegesztésnél egyrészt fokozott hőelvezetéssel, másrészt csaknem minden esetben térbeli feszültségállapottal kell számolni.

Az acélöntvények hegesztését tehát lényegesen nagyobb körültekintéssel kell végrehajtani, mint a hengerelt acélokból készült szerkezetekét. Általános szabályként a következők írhatók elő.

Gondoskodni kell az edződés (és ennek eredményeként létrejövő hidegrepedések) elkerüléséről. Ez - a 40-es kategória (C: 0,11 - 0,20%) kivételével - minden esetben hegesztés előtti előmelegítést, ill. - a C tartalom növekedésével növekvő (kb 150-400°C) hőmérsékleten végrehajtott - hegesztést igényel.

Gondoskodni kell arról, hogy a hegesztéskor fellépő feszültségeket minimumon tart-suk. Ezt egyrészt a helyes szerkezeti kialakítással, másrészt szakszerű hegesztés-technológiával kell biztosítani. Ez utóbbinál a megfelelő hőmérsékleten történő hegesztés; a minimális heganyagra való törekvés (varrat-alak !); a helyes hegesztési sorrend (mely a varrat dilatálását - tágulását-zsugorodását - a legjobban szolgálja); a keletkezett feszültségek, az egyes varratrétegek kalapálással történő nyújtása, vagy feszültségmentesítő utóhőkezelés (esetleg mindkettő együttes alkalmazása - a hegesztés közben keletkezett repedéseket már hiába hőkezeljük!) révén való megszüntetése szolgáltatja a fő szempontokat.

Gondoskodni kell a kedvező mechanikai tulajdonságokat biztosító heganyagról. Ez gyakorlatilag csaknem minden esetben a bázikus elektródával végrehajtott kézi lvhegesztés alkalmazását jelenti.

A gyakorlatban sokszor előfordul régi acélöntvények javító hegesztése. Ennek megkezdése előtt - a helyes hegesztéstechnológia meghatározhatósága érdekében - feltétlenül szükséges - legalább a C-tartalomra vonatkozóan - vegyelemzést végrehajtani.

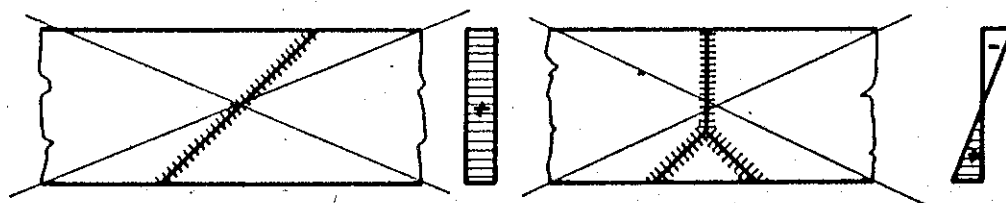
3. ACÉLSZERKEZETEK HEGESZTETT KÖTÉSEI

A töréssel szembeni biztonság a hegeszthetőséggel kapcsolatban már felsorolt tényezők együttesétől függ. Ha ezek láncolatában csak egyetlen láncszem is figyelmen kívül maradt, illetve nem a tervezett funkció szabta követelmények szerint szükséges megoldást választottuk, a - statikus, fáradt vagy rideg - törés következhet, vagy a túlzott biztonság a gazdaságosság rovására megy.

A hegesztett kötés általában a hegesztett szerkezet legnagyobb figyelmet igénylő, legérzékenyebb része. A törések többnyire valamely varratban, vagy környezetében keletkezett repedésből indulnak ki. A kötés biztonságában mindazon tényezők közrejátszanak, melyek az egész szerkezet biztonságát is magukban hordozzák. Fontos tehát a helyes kialakítás, az alapanyag szerepe, továbbá a kivétel minden egyes műveletének szakszerű végrehajtása (lásd a 2.5 pontot).

A hegesztett kapcsolatok bevezetésének idején - az alapanyag, a hegesztőanyagok gyenge minősége, a hegesztéstechnológia kérdéseinek tisztázatlansága, valamint nem utolsósorban a szögecselt kapcsolatokat utánzó helytelen kialakítás folytán - a kötést joggal a szerkezet "gyenge pont"-jának tartották és ezért különböző - gyakran ellentétes hatású - intézkedésekkel igyekeztek biztonságot teremteni. Ilyenek voltak a "varratényező", a - nyomástartó edények szabványában, (elégge el nem ítéltető módon) ma is élő - "hegesztési jósfok" előírásai, a túlzott méretű varratok.

Szabványelőírás volt a huzott elemek tompavarratainak az erő irányával 45° -ot bezáró elrendezése, a hajlított tartók gerincein a huzott szakasz hasonló kialakítása (37. ábra). Mindezekről ma már tudjuk, hogy nem szolgálják a biztonságot, leggyakrabban kifejezetten negatív hatásuk.



37. ábra

A tompaillesztés régi - helytelen - módjai

Ma - számtalan összegyűjtött tapasztalat és kutató munka eredményeként - már sokkal közelebbről ismerjük az anyag és a szerkezet különféle körülmények közötti viselkedését, ill. ezen keresztül a biztonság kielégítésének feltételeit.

Ortást fejlődésen ment keresztül az alapanyaggyártás (gondoljunk csak az MSZ 112-50 és az MSZ 6280-75 szerinti acélok közötti különbségre); a hegesztőanyaggyártás; kiváló hegesztőgépek és berendezések állnak rendelkezésre, és - nem utolsósorban - jelentős a tervező és kivitelező gárda szakmai felkészültségének javulása is. Mindezek eredményeként egy szakszerűen megtervezett és kivitelezett kapcsolat ma már általában nem jelenti a szerkezet gyenge pontját.

Statikusan igénybevett hegesztett kapcsolatok az alapanyaggal minden vonatkozásban egyenértékűek lehetnek. Nem ilyen egyértelműen mondható ez ki a kapcsolat fáradási és ridegtörési szilárdságára, de ott tartunk, hogy minden egyes esetre van olyan megoldás, mellyel a kellő biztonság elérhető. Sohasem szabad azonban megfeledkezni arról, hogy a varrat öntött strukturájú, átmeneti övezete inhomogén, az alapanyagnál kedvezőtlenebb szövetű, tehát a kérdés fokozott gondot és szakszerűséget követel.

3.1 Kötéstípusok, azok szerkezeti viselkedése

A hegesztett kötések geometriai szempontból - a varrat alapanyaghoz viszonyított helyzete szerint - az alábbi két csoportba szoktuk osztani:

- tompavarratos kötések,
- sarok varratos kötések.

Mindkettőn belül - az összekapcsolt elemek egymáshoz viszonyított helyzete szerint - megkülönböztetünk:

- tompa,
- merőleges és
- átlapolt

kötéseket.

Gyakran (az MSZ 4302-73 szabvány szerint is) alkalmazott felosztási mód:

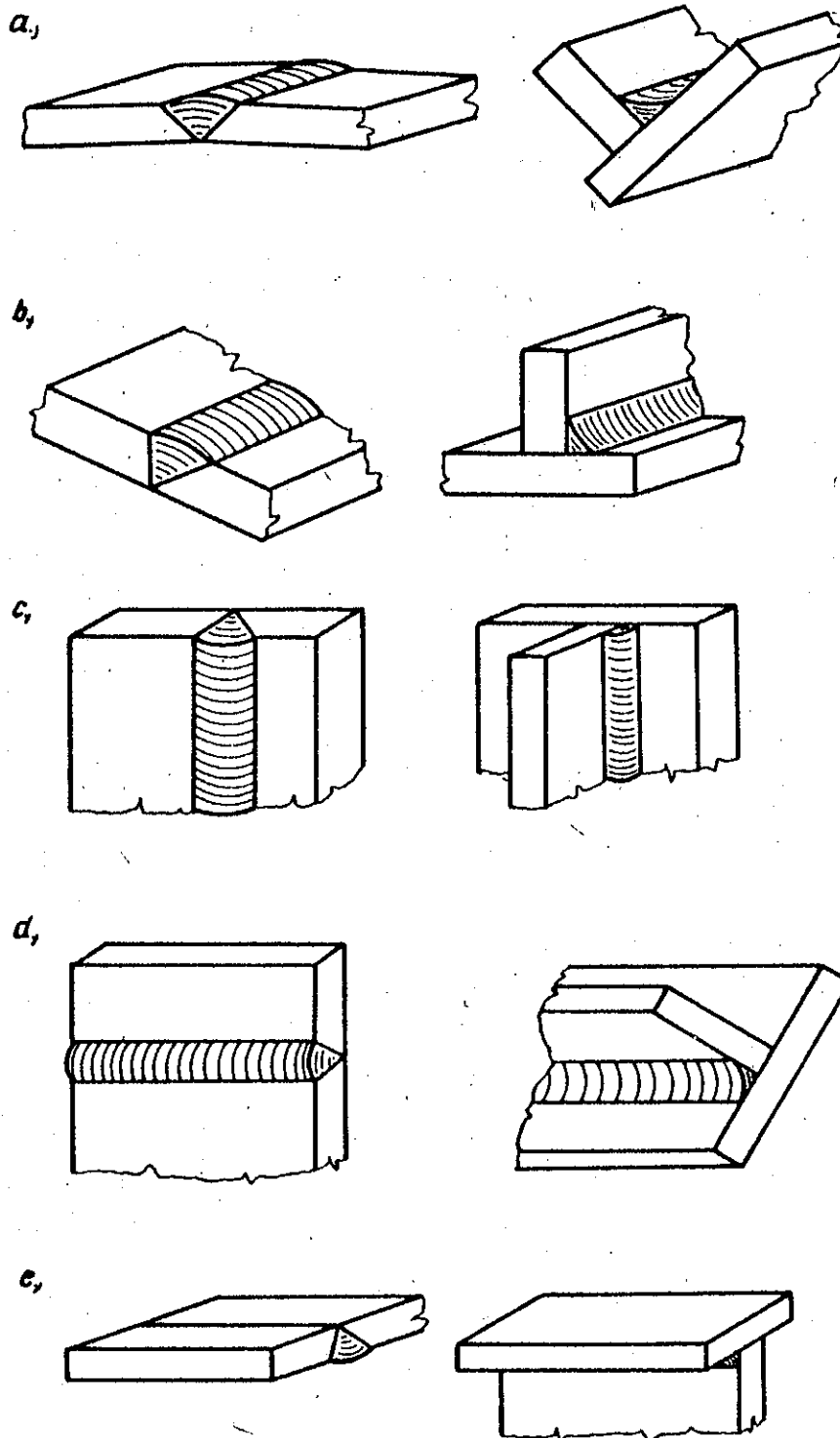
- egyoldalról hegesztett és
- kétoldalról hegesztett

tompá- vagy sarokvarratos-kötés.

A hegesztési helyzet szerint megkülönböztetünk:

- vályu
- vízszintes
- függőleges
- haránt
- fejfeletti

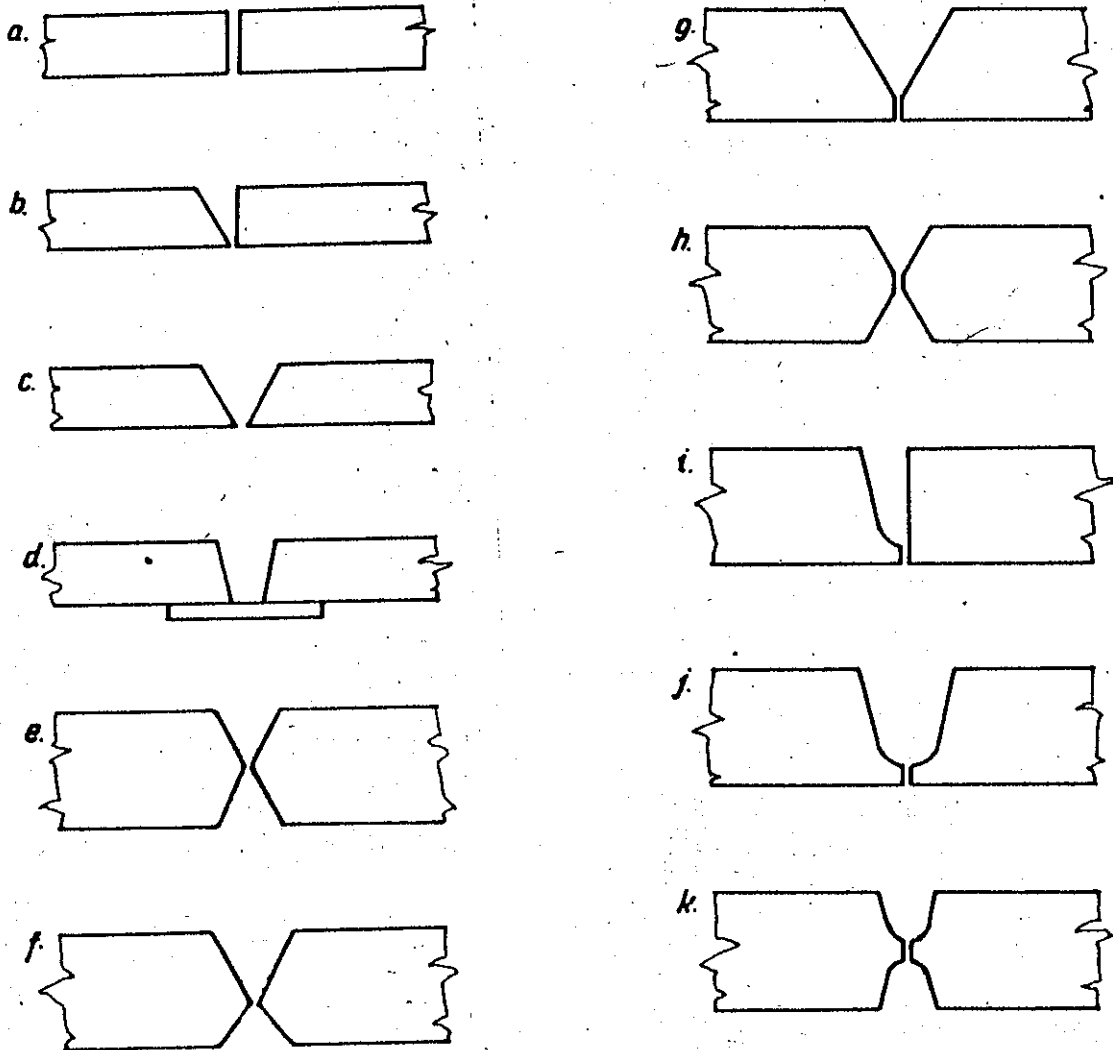
varratokat (38. ábra). A felsorolás az elkészítés nehézségének növekedésével azonos sorrendben történt, tehát fordított arányban a várható minőséggel. (Pontos értelmezést az MSZ 4307-70 "Hegesztési alaphelyzetek" ad.)



38. ábra

Hegesztési helyzetek ("a": vályu; "b": vízszintes; "c": függőleges; "d": haránt; "e": fejfeletti)

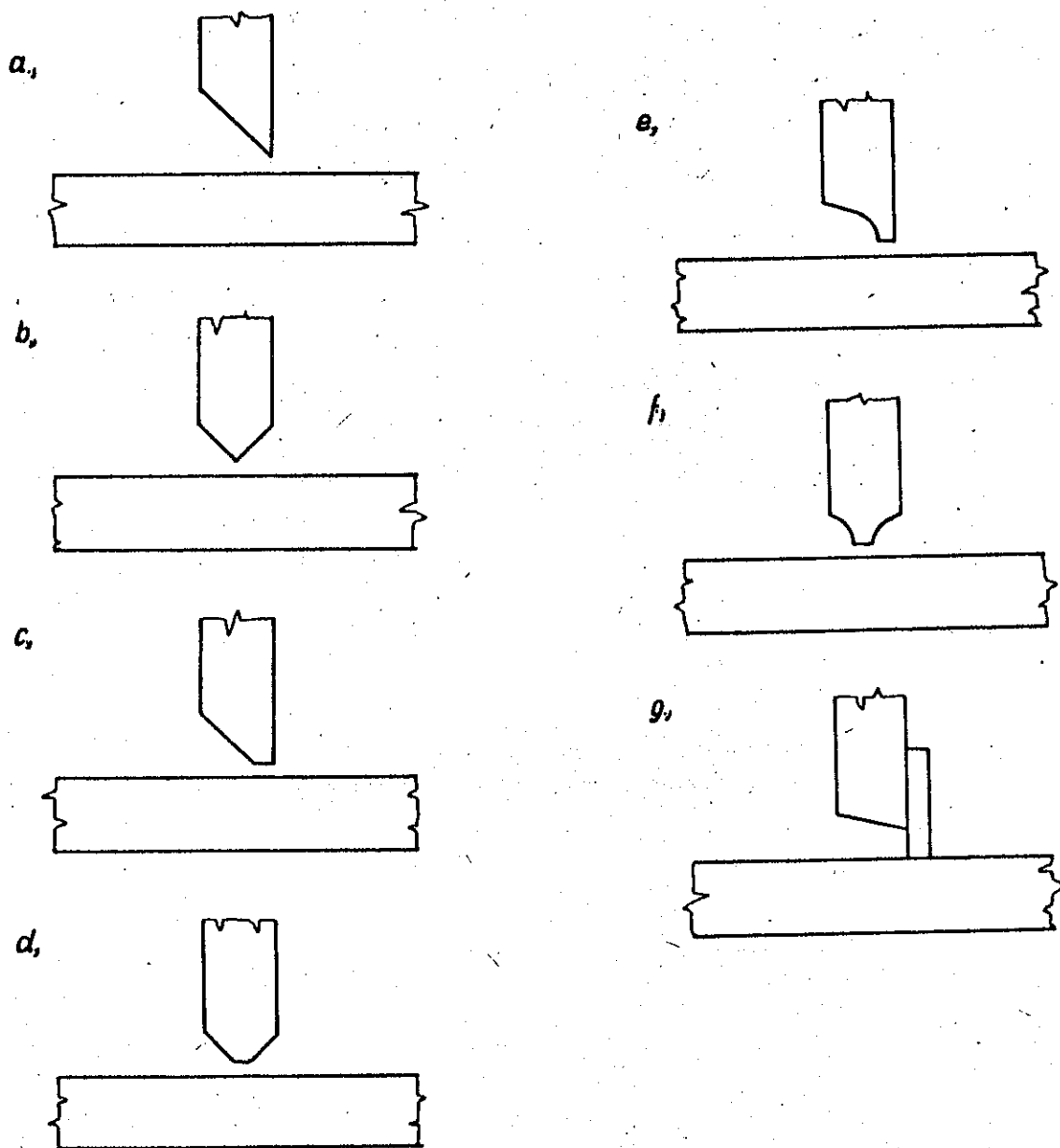
A tompakötések - a lemezvastagság, a hegesztési helyzet, a hegesztési eljárás szerint megválasztandó - leggyakrabban alkalmazott, a lemezéltalakításról elnevezett I; 1/2V; V; alátétlemezes V; X (kettős V); torz X; 1/2 Y; Y; kettős Y; 1/2 U (J); U; kettős U varratokkal készülnek (39. ábra).



39. ábra

Tompakötések ("a": I; "b": 1/2V; "c": V; "d": alátétlemezes V; "e": X; "f": torz X; "g": Y; "h": kettős Y; "i": 1/2U; "j": U; "k": kettős U)

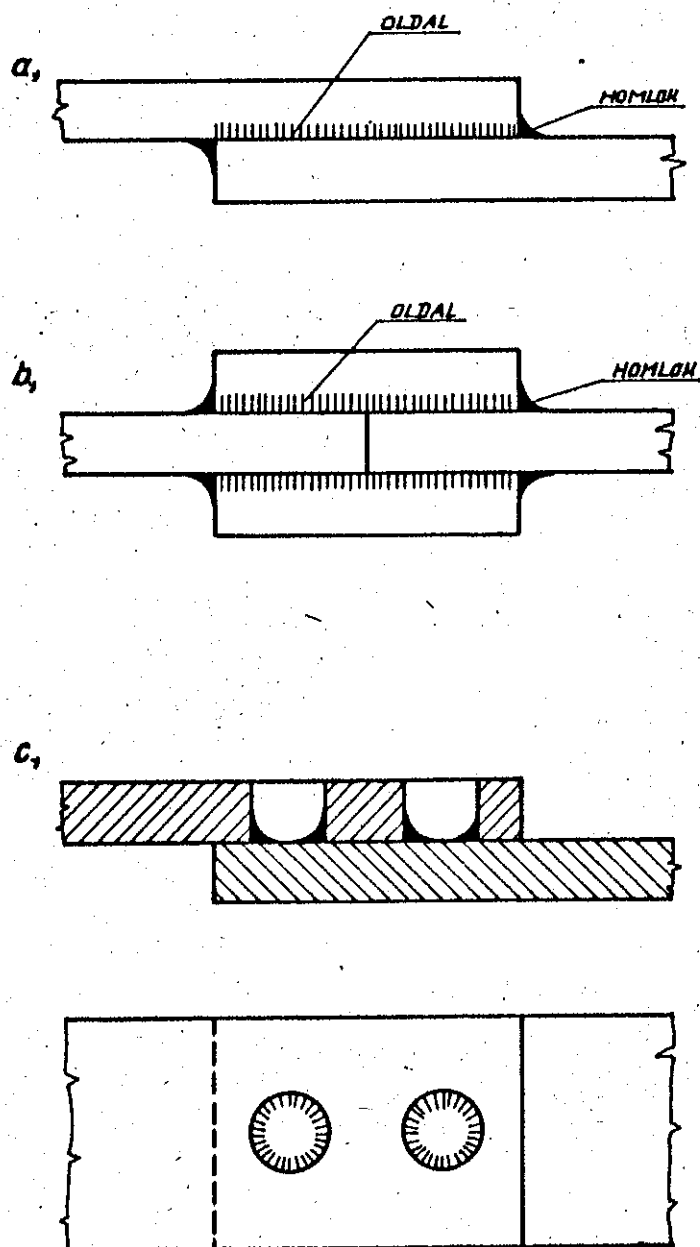
A tompavarratos T-(és sarok-) kötések használatos változatai a $1/2K$ ($1/2V$); K (kettős $1/2V$); $1/2Y$; kettős $1/2Y$; $1/2U$ (J); kettős $1/2U$ (kettős J) és az alátétlemezes $1/2V$ varratos kötések (40. ábra).



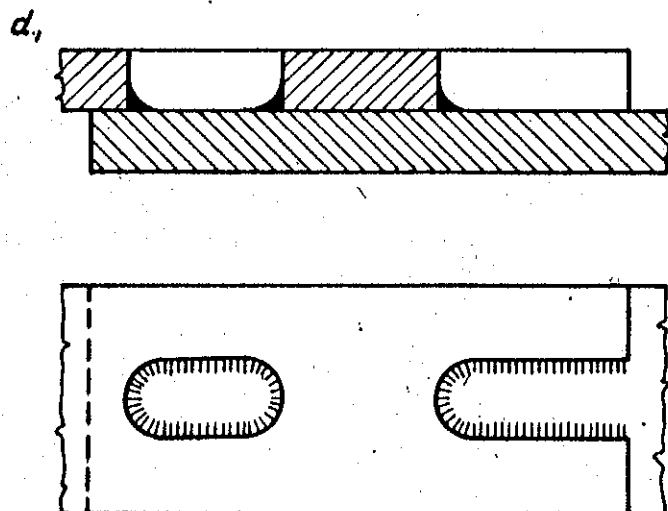
40. ábra

Tompavarratos T-kötések ("a": $1/2K$; "b": K ; "c": $1/2Y$; "d": kettős $1/2Y$; "e": kettős $1/2Y$; "f": kettős $1/2Y$; "g": alátétlemezes $1/2V$)

Az átlapolt kötések közül az egyszerű átlapolt és a hevederes, mindkettő homlok- és oldal-sarokvarratos), továbbá a lyuk- és a horony-varratos kapcsolatok az ismertebbek (41. ábra).

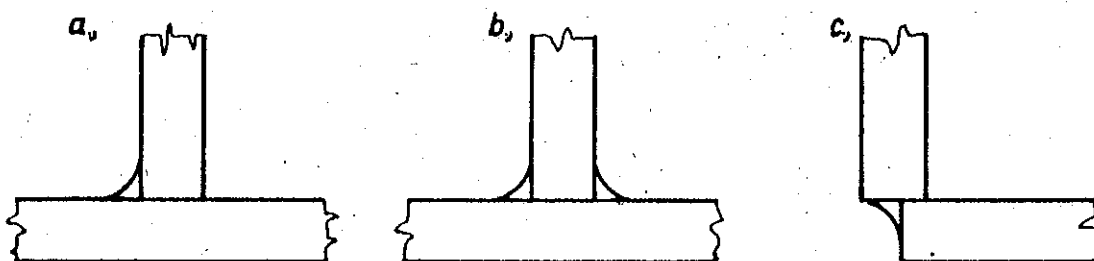


41. ábra (a, b, c)
Sarokvarratos kötések ("a": átlapolt; "b": hevederes; "c": lyukvarratos)



41. ábra(d)
('d': horonyvarratos)

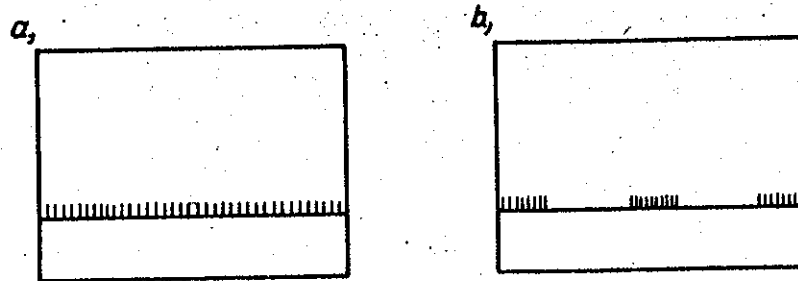
A sarokvarratos merőleges (T- és sarok) kötéseknél az egyoldali-, a kétoldali- és az élsarokvarratok szoktak alkalmazást nyerni (42. ábra).



42. ábra

Sarokvarratos T-kötések ('a': egyoldali; 'b': kétoldali; 'c': élsarokvarrat)

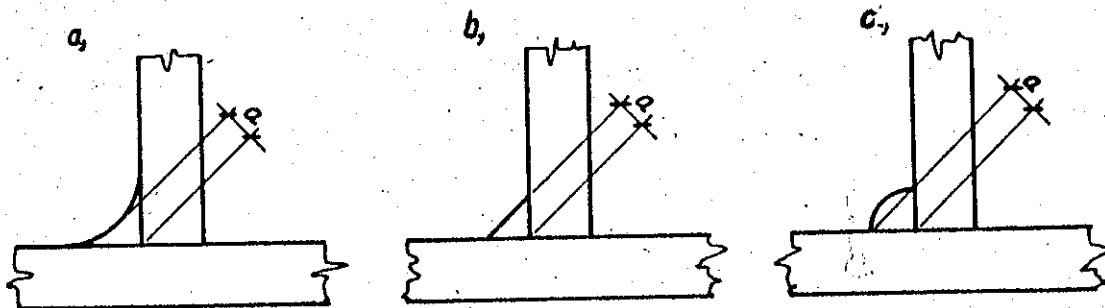
A sarokvarratok lehetnek folyamatosak, vagy szakaszosak (43. ábra).



43. ábra

Folyamatos ("a") és szakaszos ("b") sarokvarrat

A szakma megkülönböztet "homoru", "lapos" és "domboru" sarokvarratokat (44. ábra).



44. ábra

Homoru ("a"), lapos ("b") és domboru ("c") sarokvarratok

Hegesztett tartók öv-gerinc kapcsolatát biztosító T-kötés varratát - akár tompa -, akár sarokvarrat - "nyakvarrat" -nak szokás nevezni.

A részletes adatokat az MSZ 4304/1-63, az MSZ 4304/3-63, az MSZ 4392-66 és az MSZ 4293-66 tartalmazza az érintett - kézi lv, CO₂ védőgáz, fedettív-eljárások - esetekre; a rajzon való ábrázolás módját pedig az MSZ 4302-73 írja elő.

A hegesztett kötések kialakításánál – hasonlóan az egész szerkezethez – alapvetően fontos az igénybevételek szemelőtt tartása. A kötés szilárdságát nagymértékben befolyásolja a feszültségállapot. Csakhogy amíg a statikus szilárdságot a feszültségállapot többtengelyű volta növeli (meggátolja az alakváltozást, ezzel merevíti az anyagot), addig a fáradási és ridegtörési szilárdságra ellenkező khatással bír.

Ezért a fáradásnak (pl. hidak) és ridegtörési veszélynek (pl. alacsony hőmérsékleten üzemelő nyomástartó vezetékek, edények), kitett szerkezetekben, illetőleg azok hegesztett kötéseiben a legmesszebbmenőkig törekedni kell az erővonalak irányváltásának, az ún. "bemetszéseknek" elkerülésére, ezen keresztül az alacsonyabb rendű feszültségállapotra. Ezt egyrészt a varraton belüli homogenitással, a varrat és a hegesztési hőfolyamatban résztvevő alapanyag rész fémteni szerkezetének optimum tartásával, a varratban levő hegesztési hibák folytonossági hiányok kiküszöbölésével, másrészt a varrat ill. a kötés külsőalakjában a hirtelen átmenetek (szegélybeégés, tulzott varratdudor, vastagságbeli ugrás stb.) elkerülésével kell biztosítani. Ez a követelmény – legalábbis az erővonalakra merőleges irányban – a homogén keresztmetszetű tompakötések egyeduralmát követeli. A csatlakozásokat pedig enyhe átmenettel, lemunkálással, lekerekítéssel kell kialakítani.

A ridegtörési veszélynek ki nem tett statikusan igénybevett szerkezetek (pl. szoba-hőmérsékleten üzemelő, nem tulzottan vastagfalu elemekből álló épületszerkezetek) lényegesen igénytelenebbek, tehát sarokvarratos kötések is minden további nélkül alkalmazhatók. A varrathomogenitásnak, a hirtelen átmenetnek jóval kisebb szerep jut. Az ilyen szerkezeteknél szükségtelenül növelik tehát a költségeket a tulzott követelmények (pl. I.a. varratminőség, íves átmenetek stb.). A kizárólag nyomásnak kitett szerkezetek minden esetben kevésbé igényesek, mint azok, amelyekben huzás is fellép. Természetesen arról nem szabad megfeledkezni, hogy a hegesztés okozta zsugorodás következtében mindig fellépnek huzófeszültségek is.

A kötéstípus mellett alapvetően fontos a varratméret helyes megválasztása. Általános szabályként kimondható, hogy a szükséges minimális méretű varratot írjuk elő. A méret szükséges mértékét egyrészt a kapcsolat igénybevételei, másrészt technológiai szempontok, (a szerkezet kialakítása, főként az összehegesztendő lemezek méretei) határozzák meg. Pl. vastag lemezekben még akkor sem alkalmazzunk tulzottan vékony varratokat, ha a statikai számítás szerint azok is megfelelnek – ugyanis a szerkezet merevsége a kisméretű varratokban törési igénybevételt okozó zsugorodási feszültségeket okozhat; azonkívül gondolni kell a beedződésre is. A szükségesnél nagyobb méretű varratok viszont növelik a saját feszültségeket, az alakváltozásokat, a hegesztési és egyengetési munkát; többnyire inkább csökkentőleg mint növelőleg hatnak a törési biztonságra.

A vonatkozó szabványok az elmondott szempontok szerint intézkednek a hegesztett kötések különböző paramétereire.

Az MSZ 6411-72 – a ridegtörési biztonság érdekében – az alapanyag minőségének megválasztásánál a kötéstípust (a feszültségállapotot) is figyelembe veszi. Ugyanitt találunk támpontot a hegesztett kötések – statikus vagy fárasztó igénybevétel szerinti – helyes kialakításának megoldásaira, továbbá az alkalmazott varratméretekre. A kötéstípustól és az igénybevétel módjától függő méretezési feszültségeket szintén e szabvány írja elő.

Az MSZ 6442-71 I A, I, II, III. osztályba sorolja a tompa és sarokvarratokat és előírja, hogy az egyes osztályokba tartozó varratoknak milyen mechanikai követelményeket kell kielégíteni, milyen roncsolásos és roncsolásmentes vizsgálati módszerek alkalmazandók, milyen alakí- és mérettűrések engedhetők meg.

Érdemes kihangsúlyozni, hogy - azonos igénybevételek esetén - egy I A minőségű tompavarratos kötés fáradásbírása két-háromszorosát teszi ki a III. osztályú kötésének, és három-négyszeresét a sarokvarratos kötésének. Ugyanugy egy sima lemezre az erő irányára merőlegesen III. osztályú sarokvarrattal felhegesztett lemez (pl. borda) az eredeti lemez kifáradási határfeszültségét tört részére csökkentti.

A kidolgozás alatt álló MSZ 15024/1 T a magasépítési szerkezetekre ad hasonló előírásokat, míg a "Közüti Hídszabályzat" és a "Vasúti Hídszabályzat" a saját területére intézkedik - mindhárom az MSZ 6441-el összhangban. A nyomástartó edényekre külön szabványok és szabályzatok intézkednek.

Mindezek alapján a tervező és kivitelező megtalálhatja az adott feladathoz a törési biztonságot magában hordozó és egyben gazdaságos megoldást.

3.2 A varrat és a hőhatásövezet

Az ömlesztő hegesztéssel készült kötésen belül megkülönböztetjük a varratot (heganyagot, varratfémét) és a hőhatásövezetet.

3.2.1 A varrat a hegesztési hő hatására megolvadt hozanyag és alapanyag keverékének fémfúrdójából kikristályosodott, a szerkezeti elemek között fémes anyagu összefüggést létesítő, öntött szerkezetű varratfém.

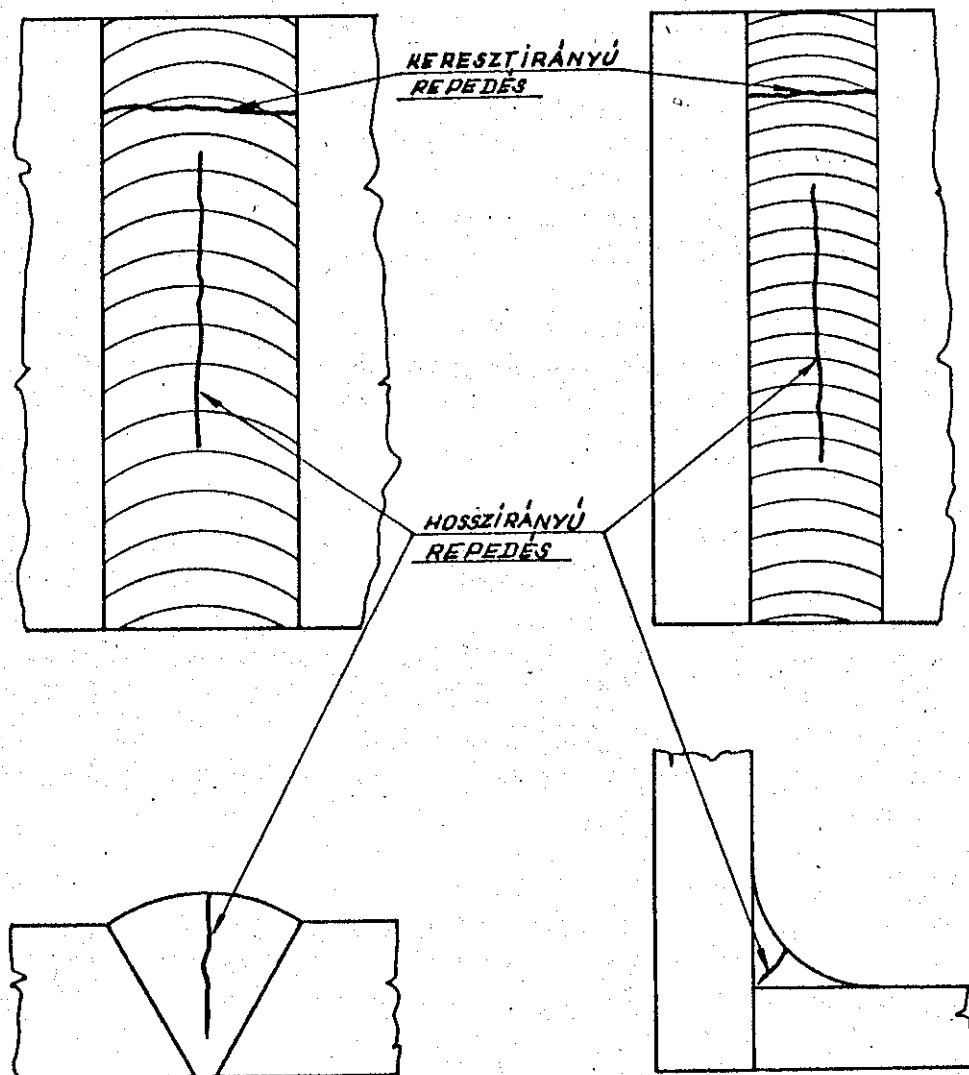
A varrat öntött volta - szemben a hengerelt alapanyaggal - kedvezőtlen hatással van a varrat képlékenységre, szívósságára. Ennek ellensúlyozása céljából ügyelni kell a varratfém fokozott tisztaságára és szövetszerkezetére (finomszemcsesség).

A varratok széntartalma általában jóval az alapanyagé alatt van (0,08-0,15%) hasonlóan kisebb kell legyen a kén és foszfor, az oldott gázok (H_2) mennyisége, fontos a csillapítottság, a szennyezőket lekötő elemek, ill. a finomszemcsességet biztosító csiraképzők - tehát elsősorban a szilícium, a mangán és az alumínium vagy egyéb mikroöttyözők megfelelő mennyiségű és arányu - jelenléte.

A varrat kémiai összetételét elsősorban a hegesztőanyagokkal lehet szabályozni. Az alapanyag jelentős szerepet csak a fedettívű hegesztésnél kap, ahol mintegy 30-70 %-ban vesz részt a varratban. Igényesebb esetekben ezt feltétlenül korlátozni kell (megfelelő élkiképzés és hegesztési paraméterek útján).

A varrat mechanikai tulajdonságaira jelentős hatással bír a szövetszerkezet. Ezt elsősorban a fúrdó nagysága és létideje határozza meg. A viszonylag kicsi, rövid létidejű fúrdóból finomszemcsés szövetszerkezet kristályosodik ki. Nagyobb szívósságra való törekvés esetén egyrészt említt, másrészt az igen előnyös hőkezelő hatás biztosítása céljából a varratot több rétegben kell elkészíteni, még akkor is, ha ez egyébként nem volna szükséges (főként fedettívű hegesztés esetén).

A varrat legveszélyesebb "ellensége" az ún. "kristályosodási", vagy "meleg repedés". Iránya lehet a varrat tengelyére merőleges, vagy azzal párhuzamos, helyzete lehet varraton belüli vagy felületre kifutó (45. ábra).



45. ábra
Melegrepedés

Keletkezése - ahogy nevéből is kitűnik - a varratfém dermedése, kristályosodása közben történik. Magas hőmérsékleten - egy adott hőközből - ugyanis jóval kisebb az anyag képlékenysége mint lehűlt állapotban, ugyanakkor a hőmérséklet csökkenésével járó zsugorodás - általában gátolt lefolyása - jelentékeny húzó feszültségeket ébreszt. Ha az anyag képlékenysége nem tudja követni az alakváltozási igényt, repedés keletkezik. Ez függvénye a feszültségállapotnak, a varrat kémiai összetételének, a varrat alakjának és szövetszerkezetének.

A feszültségállapot főként akkor válhat kritikussá, ha az összekötendő elemek hegesztéskor mereven megfogottak. A tervezés és kivitel során egyaránt ügyelni kell ennek elkerülésére. Ha a zsugorodási feszültségek alacsonyabb hőmérsékleten keletkeznek, amikor a varrat képlékenysége már megnőtt, kedvezőbb a helyzet. A munkadarab előmelegítése pozitív hatású. Itt említjük meg azt a kézi ívhegesztésnél gyakran elkövetett hibát, hogy íveléssel tulzottan széles varrathernyót készítenek (ököl szabály: a varrat szélessége max. a maghuzal átmérőjének négyszerese lehet), vagy azt, hogy sokszor előbb hegesztik meg a tompavarrrattal összehegesztendő lemezeket rögzítő varratot, mint magát a tompavarratot (pl. hegesztett I-tartók illesztésénél előbb végig elkészítik a nyakvarratot és csak azután az övek és a gerinc tompavarratát).

A varrat kémiai összetételének jelentősége e tekintetben is nagy. Legaktívabb repedés szempontjából a kén ("vöröstörékenységi") melyet a mangánnal lehet semlegestteni (lásd a 2.4 pontot). Célszerű a kéntartalmat még kellő mennyiségű Mn jelenlétében is 0,03%-ra redukálni. A C-tartalomra különösen érzékeny a varrat főként a fedettívív hegesztésnél, ahol a viszonylag nagy hegfürdő durva szövetet és dusulásokat eredményez. Itt célszerű a C-tartalmat 0,10%-ra redukálni, de egyéb varratokban se haladja meg a 0,15%-ot. A P tartalom sem kívánatos 0,03% felett. A gázok közül főként a H tartalom jelent veszélyt (bár inkább - diffúzió révén - az átmeneti övezetben). Bizonyos határok felett - a többi alkotó koncentrációjától függően - a szilícium ($> 0,6\%$), de még a mangán is ($> 1,8\%$) növelheti a melegrepedés hajlamot.

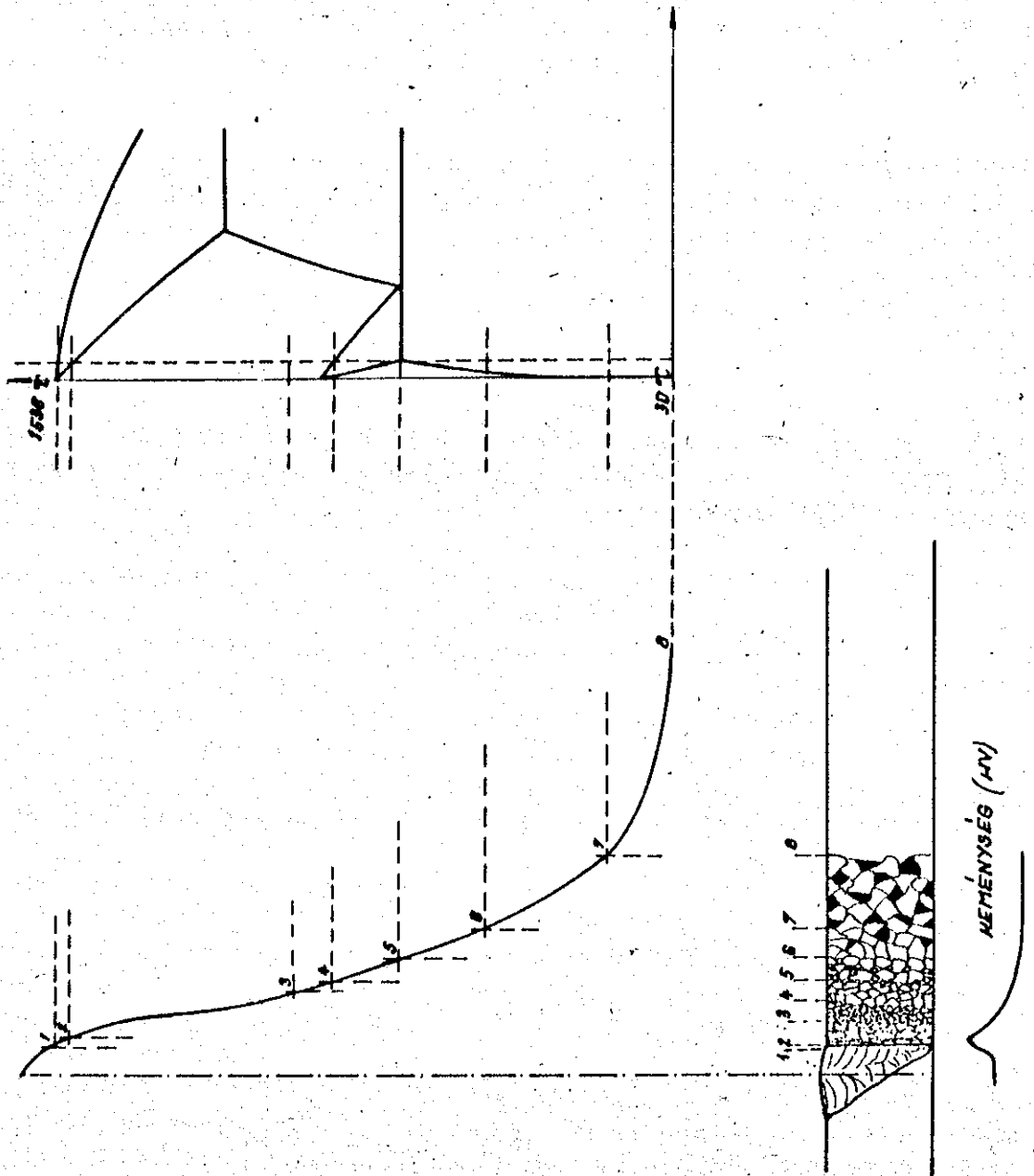
A varrat alakjának a kristallitok képződésén keresztül van befolyása a melegrepedés képződésre. A keskeny, mély varratok ilyen szempontból kedvezőtlenebbek mint a szélesebb, kevésbé mélyek.

A varratfém szövetszerkezete szintén hatással van a melegrepedések keletkezésére. A durva szövetű dendrites varrat (pl. fedettívív hegesztésnél) - szemben a finomszemcsés poligonállissal - hajlamosabb a melegrepedésre. Ez ellen szemcsefinomodást biztosító csiraképzőkkel (Al, Ti, V, Zr, stb.) való védekezés hatásosabb mint a hegfürdő létiidejének csökkentése.

3.2.2 Hőhatásövezet-nek nevezzük az alapanyagban azt a varratmentli zónáját, amelyben a hegesztési hőfolyamat hatására változások mentek végbe.

A hegesztés hőfolyamatában bekövetkező átalakulásokat legszemléletesebben az állapotára segítségével lehet nyomon követni (46. ábra).

Az olvadáspont fölé hevített alapanyag (1) a hozanyaggal együtt a hegfürdő, ill. a varrat részét képezi.



46. ábra

A hóhatásövezet ("1": varrat és megömlött zóna; "2": részben megömlött zóna; "3": teljesen megömlött zóna; "4": normalizációs zóna; "5": részleges átalakulási zóna; "6": újra-kristályosodási zóna; "7": kéktörékenységi zóna; "8": érintetlen alapanyag)

A varrat határán helyezkedik el a részben megolvadt alapanyag övezete (2), mely a varrattól élesen nem választható el, azzal nemcsak kristályos, hanem erőteljes diffúziós kapcsolatban is van.

Az 1100°C -tól a szoliduszig hevült alapanyagban a hőmérséklet növekedésével fokozatosan növekvő austenitszemcsék alakulnak ki. Ez a - "tulhevitési zóna"-nak nevezett - szakasz (8) az átmeneti övezet mechanikai tulajdonságok szempontjából legkedvezőtlenebb, legkeményebb, legkevésbé képlékeny és szívós szakasza, mely éppen ezért a legnagyobb figyelmet érdemli (lásd a 48. ábrát is).

Az A_3 feletti, de 1100°C fölé nem került szakaszt "normalizálási zóna"-nak hívjuk, mivel az alapanyagban ez a része a normalizáláshoz hasonló hőkezelésen ment keresztül. Finomszemcsés, kedvező mechanikai tulajdonságokkal bíró övezeti rész.

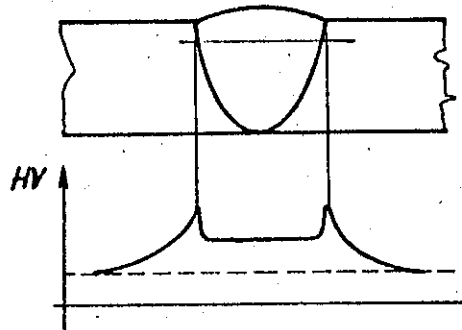
Az A_1 és A_3 közötti hőmérsékletre hevített zóna a "részben átkristályosodott zóna" nevet viseli, mivel ebben a szakaszban az $\alpha - \gamma$ átalakulás csak részlegesen megtörtént végbe. A mechanikai tulajdonságok itt - a körülményektől függően - változók lehetnek.

Az $500^{\circ}\text{C} - A_1$ -ig terjedő hőmérsékletre hevült szakasz neve "ujrakristályosodási zóna". Ujrakristályosodás itt azonban csak a hegesztés előtti jelentősebb hidegalakítást követően jön létre. Ezen esetben szemcsedurvulással (5-15% közötti hidegalakítás után), vagy esetleg szemcsefinomítással (15% feletti hidegalakítás után) kell számolni. Ezek a tényezők természetesen a mechanikai tulajdonságokra is - több-kevesebb - kihatással vannak.

A $100-500^{\circ}\text{C}$ közé hevített részt a hőmérsékletre jellemző futtatási szín miatt "kéktörékenységi zóna"-nak hívják. E hőmérsékletközben az acél képlékenysége, szívóssága csökken, kiválások, N hatására öregedés, kedvezőtlen feszültségállapotban P hatására törés következhet be.

Az előzőekben ismertetett átmeneti övezet egysoros varrat hőfolyamatának eredménye. A több rétegben készített varrat minden egyes sora hőkezeléssel az előzőekben elkészített varratot és hőhatásövezetét. A többszörös hőkezelés eredményeként és annak módjától függően, másképpen alakul az átmeneti övezet szövetszerkezete. Ezek az átalakulások többnyire kedvező hatással vannak a mechanikai tulajdonságokra. Legkényesebb ilyenkor minden esetben az utolsó sor menti övezet, mely hőkezelést már nem kapott. Éppen ezért több sorral készült varrat hőhatásövezetének legkeményebb pontja rendszerint a varrat szélén, a lemezfelület közelében található (47. ábra).

Egyrétegű varrat hőhatásövezete is sokféleképpen alakulhat. Jelentős különbségek lehetnek a hőhatásövezet szélességében, az átalakulási termékek fajtájában, ill. azok mechanikai tulajdonságaiban, elsősorban a hegesztési munkarendtől függően. Meghatározó szerep jut itt a hűlés sebességének, azon belül is az austenitbomlás hőmérsékletének. A hűtés sebességének növekedésével egyre alacsonyabb hőmérsékleteken és egyre keményebb, szélső esetben martensites szövetszerkezet keletkezik (lásd a 2.3 pontot). A szobaforgó acéljainknál a gyakorlatban a $850-500^{\circ}\text{C}$ közötti hűlés idejét célszerű mérni, és ennek függvényében megadni a hőhatásövezetben keletkező legmagasabb keménységet (mely a tulhevitési övezetben lesz megtalálható).



47. ábra

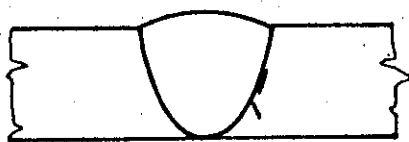
A keménység alakulása a varratban és a hőhatásövezetben

Adott hűlési sebesség esetén az anyag vegyi összetétele – a szénegyenérték nagysága, valamint az esetleg jelenlevő mikroötvözők – továbbá az anyag kikészítése – a hő és mechanikai kezelés – határozzák meg az átmeneti övezetben kialakuló szövetszerkezetet, ill. annak felkeményedését, mechanikai tulajdonságait – amint ezt a 2.3 és 2.4 pontokban már tárgyaltuk. Megjegyezzük itt, hogy – mivel az edződésre sok tényező befolyással bír – a szénegyenérték önmagában csak tájékoztatásul szolgálhat, azonos szénegyenértékű acélok között, jelentős az edződési szórás.

Az edződéssel kapcsolatban az alábbiak általánosságban megállapíthatók:

- az acélok edződési hajlama nemcsak típus, hanem egyedi tulajdonság is (nem helyes tehát pl. az 52-es acélok edződési hajlamáról beszélni);
- a 37-es acélok esetében – szokványos technológia (fajlagos hőbevitel), szobahőmérsékleten végrehajtott hegesztés esetén feledződéssel nem kell számolni;
- az 52-es acéloknál (és már a 45-ösöknél is!) próbahegesztésekkel, vagy nomogramok segítségével (lásd a 3.3 pontot) meg kell győződni a feledződés mértékéről, mely nem haladhatja meg az előírtas értéket (300–350 HV).

Az átmeneti övezetben részben a zsugorodás, részben pedig a varratból az átmeneti övezetbe (környezeti hőmérsékleten is) diffundáló hidrogén feszültségcsucsokat ébreszt. Amennyiben az anyag képlékenysége az adott feszültségcsucsnál nem elegendő annak helyi megfolyás útján való leépítésére, az átmeneti övezetben repedések, ún. "hideg repedések" keletkeznek. Ezek létrejöhetnek már hűlés közben 2–300° C-on is (általában zsugorodási feszültség hatására), vagy később (percek, órák, napok múlva, általában a hidrogén hatására). A repedések – melyek lehetnek a varrattal párhuzamosak, vagy arra merőlegesek, felületre kiterjedőek, vagy kötésen belüliek (48. ábra) – a rideg és fáradásos törés kiinduló pontjai lehetnek, tehát mindenképpen elkerülendők. Ennek módja egyrészt az, hogy csökkentjük a varrat hidrogéntartalmát (pl. ki-szártított bázikus elektródat alkalmazunk), másrészt az, hogy javítjuk az átmeneti övezet szövetszerkezetét, ezzel növeljük képlékenységet, csökkentjük ridegségét, keménységét.



48. ábra

Varratalatti (hideg) repedések

A hegesztőanyagok fejlesztésével, tisztaságuk növelésével egészen 0,5 ml/100 gr fém-re is csökkenthető a varrat hidrogéntartalma (rutilos elektróda esetére 20-60, bázikusra 4-6 ml/100 gr fém H_2 -vel lehet számolni), és így növelhető az átmeneti övezetben megengedett max. keménység. A hazai előírás (MSZ 6442-71) C, D minőségi fokozatu acélokon bázikus elektródával és rövidítvü, CO_2 eljárással készített varratoknál max. 350 HV-t, egyéb esetekre max. 300 HV-t enged meg.

Az elmondottakból kitűnik, hogy az átmeneti övezet képlékenysége, szilvóssága alatta marad az alapanyagénak és a varraténak. Feltehető tehát a kérdés, hogy az alapanyagra korrelációs rendszerekkel megadott és a varratra ennek alapján megkövetelt mérőszámoknak az átmeneti övezetben való gyengébb teljesítése nem megy-e a ridegtörési biztonság rovására. A választ olyan formán lehet megfogalmazni, hogy repedésmentesség esetében nem, mert az alapanyagénál és a varraténál lényegesen magasabb folyáshatára ezekbe koncentrálja a zsugorodási feszültség csucskok leéptítéséhez szükséges képlékeny alakváltozási igényt.

A kötés biztonsága érdekében mindenképpen fontos követelmény - a repedésmenteségen túl - az, hogy a varrat folyáshatára az alapanyagénál magasabb legyen (az imént említett okok miatt), továbbá az, hogy a varrat átmeneti hőmérséklete legalább elérje az alapanyagét.

3.3 A hegesztéstechnológia elemeinek hatása a kötés mechanikai tulajdonságaira

A tervező a maga feladatát jól teljesítette, ha az igénybevételeknek megfelelő alapanyagot és kötéstípust kiválasztotta, továbbá ha a varrat minőségi osztályát, az ellenőrzés módját, mértékét helyesen írta elő.

A kivitelező feladata a megfelelő minőség leggazdaságosabb biztosítása. A technológia egyes elemeinek helyes, avagy helytelen megválasztásával, igen tág határok között lehet befolyást gyakorolni a hegesztett kötés mechanikai tulajdonságaira. Szakszerű kivittel minden esetben elérhető a töréssel szembeni kellő biztonság. Ez egyrészt magától a varrattól, másrészt a hegesztési hőfolyamat által érintett alapanyagtól függ.

A kötés tulajdonságait befolyásoló főbb technológiai tényezők:

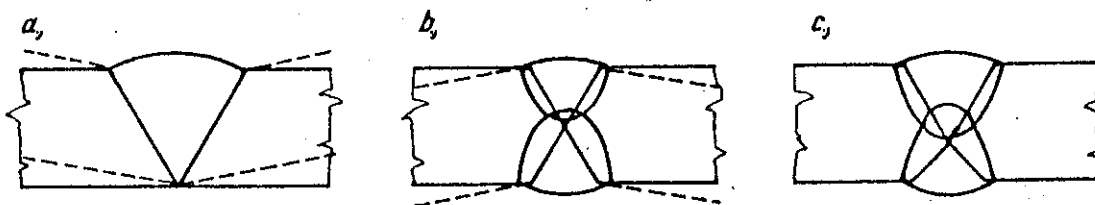
- a varratéltésképzés módja és minősége
- a hegesztőeljárás

- a hegesztőanyagok
- a hegesztési munkarend.

3.3.1 Az élkiképzés szerepe nagyobb, mint ezt általában gondolják. (Sajnos emiatt sok esetben a hanyag előkészítés már eleve kizárja a megfelelő minőség biztosításának lehetőségét.)

Igen fontos, hogy egy kötéstípuson belül (pl. tompakötés) az adott esetnek megfelelő legkedvezőbb élettörési és illesztési formát (pl. I, V, X, torz X, stb.) válasszuk ki. (Ez általában nem a tervező feladata!) Figyelembe veendő itt a megkívánt minőség, a lemezvastagság, a hegesztési eljárás, a hegesztési helyzet, valamint az az örökérvényű szempont, hogy a kötést a lehető legkevesebb heganyaggal hozzuk létre és a minimális alakváltozások keletkezzenek.

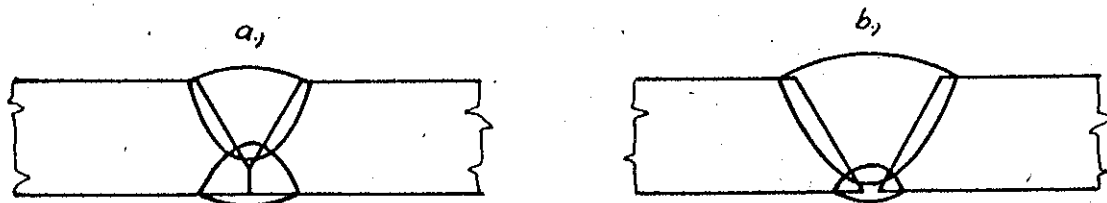
A 49. ábrán pl. egy 14 mm vastag lemez kézi ívhegesztéssel készített tompakötésének élkiképzésére mutatnak be három változatot. A "V"-varrat sok heganyagot és nagy szögelfordulást eredményez. Az "X"-varrat kedvezőbb, de a gyökoldali varrat (gyökfaragás után) nagyobb, így szintén szögelfordulás keletkezik. A legkedvezőbb a "torz X"-varrat, mert (gyökfaragással) a két oldali varratkeresztmetszet itt kb. azonos, így alakváltozás alig van.



49. ábra

A varratalak hatása az alakváltozásra ("a": V-varrat, a legnagyobb szögelfordulás; "b": X-varrat, kisebb szögelfordulás; "c": torz X-varrat, nincs szögelfordulás)

Az 50. ábrán a gyökhézag szerepét mutatjuk be. A helyesen megválasztott gyökhézag jelentősen csökkenti az utánfaragási igényt, ezzel a gyökoldali varratkeresztmetszet és vele az alakváltozást.

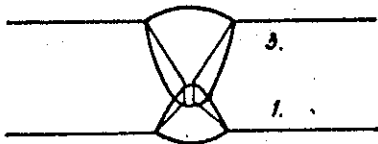


50. ábra

A gyökhézag szerepe ("a": nincs gyökhézag, jelentős az utánfaragási igény; "b": van gyökhézag, kevés a gyökhegesztés)

Nagyon fontos, hogy az élettörés szögét - az eljárás függvényében - a jó hozzáférhetőség biztosításának minimumán tartsuk (azaz tartsuk be a szabványok vonatkozó előírásait). Nagyobb varratvályu növeli a varratvolument, ezzel a hegesztési munkát, nagyobb alakváltozások keletkeznek, több az egyengetési munka. Hasonló okok miatt lényeges, hogy a gyök-utánfaragás is - a tisztaság és az alkalmazandó eljárás szabta igények szerint - minimumon maradjon.

Az előbbiekben tárgyalt szimmetrikus varratkeresztmetszetre való törekvés szempontjával szemben esetenként más szempontok dominálnak. Ha pl. a munkadarabot nem lehet forgatni (pl. szerelési illesztés), egy vízszintes helyzetű tompavarrathoz a legkedvezőbb az alátétlemezes varrat, melyet csak felülről kell hegeszteni. Amennyiben ez nem alkalmazható (pl. fáradásra való erős igénybevétel), olyan torz X; esetleg U varratot célszerű választani, melynél alulról (fej feletti) csak minimális hegesztési munka végzendő. Ilyenkor célszerű először ezt elkészíteni, majd felülről gyököt faragni és hegeszteni (51. ábra).



1. ELŐSZÖR ELKÉSZÍTENDŐ VARRAT (FEJFELETTI)
2. GYÖK FARAGÁS (FELÜLRŐL)
3. GYÖKHESZTÉS (FELÜLRŐL)

51. ábra

Élklépezés és elkészítési sorrend nem forgatható munkadarabok esetében

Az élklépezés megválasztásánál alapvető szempont az alkalmazni kívánt eljárás is. Pl. míg kézi ívhegesztésnél már 3-4 mm lemezvastagság felett leélezés szükséges a gyökhiba elkerülése érdekében, fedettívű hegesztésnél 10-12 mm (elméletileg 18-20 mm) mellett is lehet I-varratos előkészítést alkalmazni. Egy másik szempont - a minőség - miatt azonban mégis sokszor már 8 mm vastagság felett is leélezést (kettős Y-varratalakra) kell választani fedettívű hegesztésnél is, ugyanis az I varrat nagy alapanyag hányada a varrat vegyi összetételét kedvezőtlen irányba tolja, annak mechanikai tulajdonságait rontja, esetleg repedéshez vezet (lásd a 3.2 pontot).

3.3.2 A hegesztőeljárás - tárgyalásaink körébe tartozó acélszerkezeteknél a kézi ív, a CO₂ védőgáz és a fedettívű - szerepe meghatározó lehet a kötés mechanikai tulajdonságainak formálásában. Mindhárom eljárásnak megvannak az előnyei és hátrányai. Ezekkel bővebben a 6. fejezetben foglalkozunk. E helyen előljáróban csak annyit említünk, hogy a varratalak, varrat-felület, a varrat szövetszerkezete, vegyi összetétele, a hőhatásövezet alakulása, továbbá a varratban előforduló különféle hibák - tehát a kötés mechanikai tulajdonságait meghatározó csaknem minden tényező - jelentős mértékben eljárásfüggőek.

3.3.3 A hegesztőanyagok szabják meg elsősorban a varratfém vegyi összetételét (az alapanyagot is itt még - főként a fedettívű hegesztésnél - több-kevesebb szerep); a hegesztő ív stabilitását (ezzel befolyást gyakorolunk a varrat keresztmetszetére és

a varrat felületére); hatással vannak a varrat szövetszerkezetére; védik az ívet, a fémfüldőt és a dermedő varratot a levegőtől; befolyásolják a varrat H tartalmát stb. Mindezekből egyértelműen adódik, hogy a hegesztőanyagok alapvetően befolyásolják a kötés mechanikai tulajdonságait. Mindhárom eljárásnál a hegesztéstechnológia elemel közül csak a hegesztőanyagok változtatásával a kötés minőségét (külső alakját, mechanikai tulajdonságait) igen tág határok között lehet változtatni.

3.3.4 A hegesztési munkarend minden egyes eleme jelentős hatással van a varrat minőségére. Ezek szakszerű megválasztása és összhangban tartása alapvető feladat.

A hegesztési paraméterek (áramerősség, ívfeszültség, hegesztési sebesség) megszabják a varrat alakot, a fajlagos leolvasztott hegesztőanyag mennyiségét, a varrat alapanyag hányadát, ezáltal a varrat vegyi összetételét. A paraméterek együttese szabja meg a fajlagos hőbevitelt, ezzel egyrészt a lehülés sebességére, ezen keresztül a varrat és főként az átmeneti övezet szövetszerkezetére, keménységére, másrészt az alakváltozásokra van döntő hatásuk.

Részben a hegesztési paraméterek döntik el a varrat-sorok, -rétegek számát (egy-egy eljárásán belül az élképzésnek és az elektródaátmérőnek van még szerepe). Minél több rétegben készül a varrat, annál kedvezőbbek lesznek a mechanikai tulajdonságok, mivel egyrészt a kisebb és így rövidebb létidejű fürdő finomabb szemcsézetet eredményez, másrészt a vékonyabb rétegeket a rájuk kerülő sor jobban át tudja hőkezelné. A másik oldalról viszont számolni kell azzal, hogy a kis sorokkal járó csekélyebb fajlagos hőbevitel edződést okozhat, továbbá kevésbé gazdaságos.

A fajlagos hőbevitel az alábbi képlettel számítható:

$$q/v = 0,24 \cdot \eta \cdot \frac{U \cdot J}{v} \quad (\text{cal/cm})$$

a képletben:

η : hatásfok, értéke a kézi és CO₂ védőgázos ívhegesztésnél 0,8-ra, fedettívű hegesztésnél 0,9-re vehető

U (V) : ívfeszültség

J (A) : áramerősség

v (cm/sec): hegesztési sebesség

Az áramerősség és ívfeszültség növelése tehát növeli, a hegesztési sebesség pedig csökkentli a fajlagos hőbevitelt.

A hegesztési sebesség hatása igen jelentős lehet mindhárom eljárásnál. Külön felhívjuk a figyelmet a kézi ívhegesztésre, ahol adott áramerősség és elektródaátmérő mellett viszonylag tág határok között változtatható a hegesztési sebesség. Az 52. a, b, c ábrákon feltüntetett görbék $\varnothing 3,25$, $\varnothing 4$ és $\varnothing 5$ mm elektródákkal - szabványos áramerősség és ívfeszültség mellett - 52-es acéllemezen ($C_e = 0,42$ mellett) megengedhető hegesztési sebességet a lemezvastagság függvényében adják meg (a görbe fölé eső koordináták 350 HV feletti felkeményedést okoznak). Az ábrákba berajzoltuk az ívelés nélküli legkisebb és legnagyobb hegesztési sebességet és az ezekhez tartozó

olyan maximális lemezvastagságot, mely még előmelegítés nélkül hegeszthető. Figyelemre méltó, hogy - pl. Ø 3,25 elektróda esetén - a leglassabb hegesztéssel (8cm/perc) 24 mm vastag lemezre, míg a leggyorsabbal (24cm/perc) csak 8 mm vastag lemezre készíthető varrathernyó meg nem engedhető edződés veszélye nélkül!

A Vasipari Kutató Intézet munkatársai kidolgoztak egy olyan nomogramot, melynek segítségével - különböző fajlagos hőbevitel, varrat elrendezés, lemezvastagság mellett - meghatározható a varrat 850-500°C közötti lehülési sebessége - szobahőmérsékleten, ill. 100, 200 és 300°C hőmérsékletre történő előmelegítés esetén (53. ábra).

Egy további diagramból (54. ábra) a

$$C_e = C + \frac{Mn}{6} + \frac{Cr + Mo + V}{5} + \frac{Ni + Cu}{15} \%$$

képlet alapján számított szénegyenérték függvényében leolvasható az a lehülési sebesség, mely mellett az átmeneti övezet edződése még nem haladja meg az előírt mértéket (300 HV, ill. 350 HV). Gyorsabb lehülés esetén vagy a fajlagos hőbevitelt kell növelni (pl. az elektródaátmérő, a hegesztési sebesség változtatásával), vagy előmelegítést kell alkalmazni.

(A közölt nomogramot és diagramot az MSZ 6280-74 függeléke is tartalmazza.)

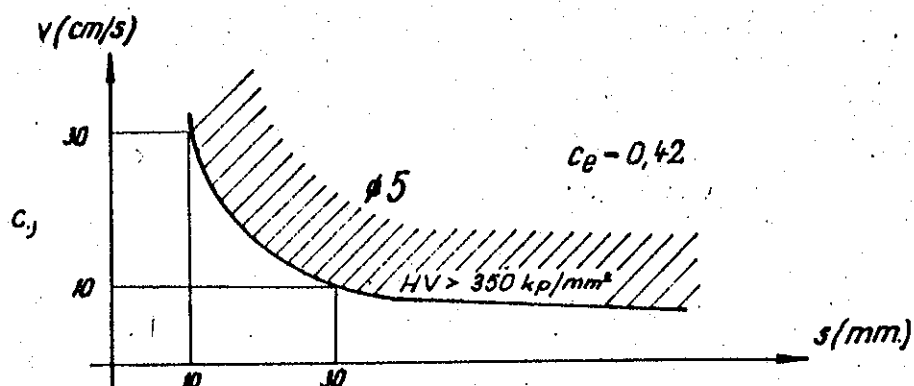
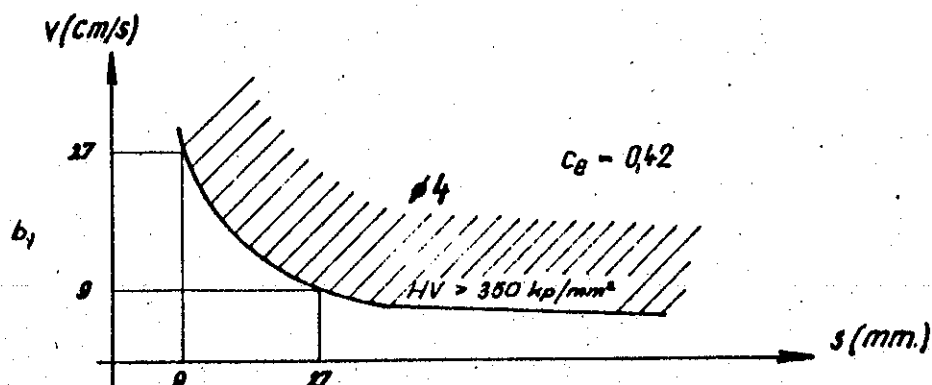
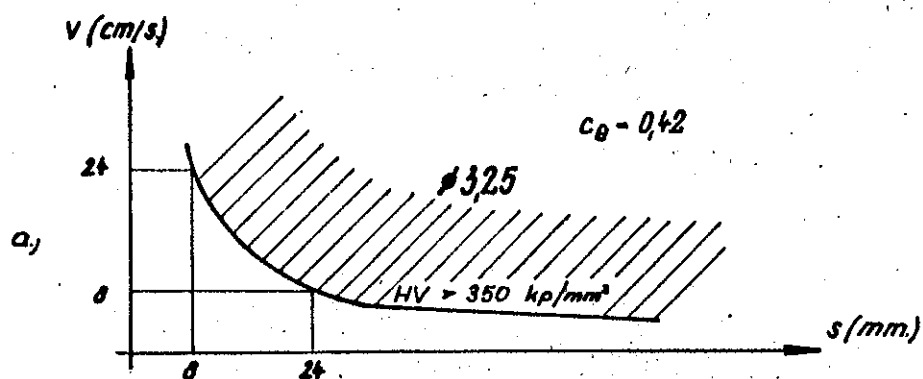
A hegesztési helyzet egyrészt az alkalmazható fűrdőmérettel és ezen keresztül a sorok és rétegek számával, másrészt a helyzettől függő varratokkal és felülettel gyakorol hatást a kötés mechanikai tulajdonságaira.

A hegesztési sorrend nem annyira a kötés mechanikai tulajdonságaira, mint inkább a szerkezet feszültségállapotára, az alakváltozások mértékére van hatással.

Az előmelegítéssel a lehülési sebességet, ezen keresztül az átmeneti övezet edződését tudjuk szabályozni, ill. a hideg- (esetleg a meleg-) -repedésképződést elhárítani.

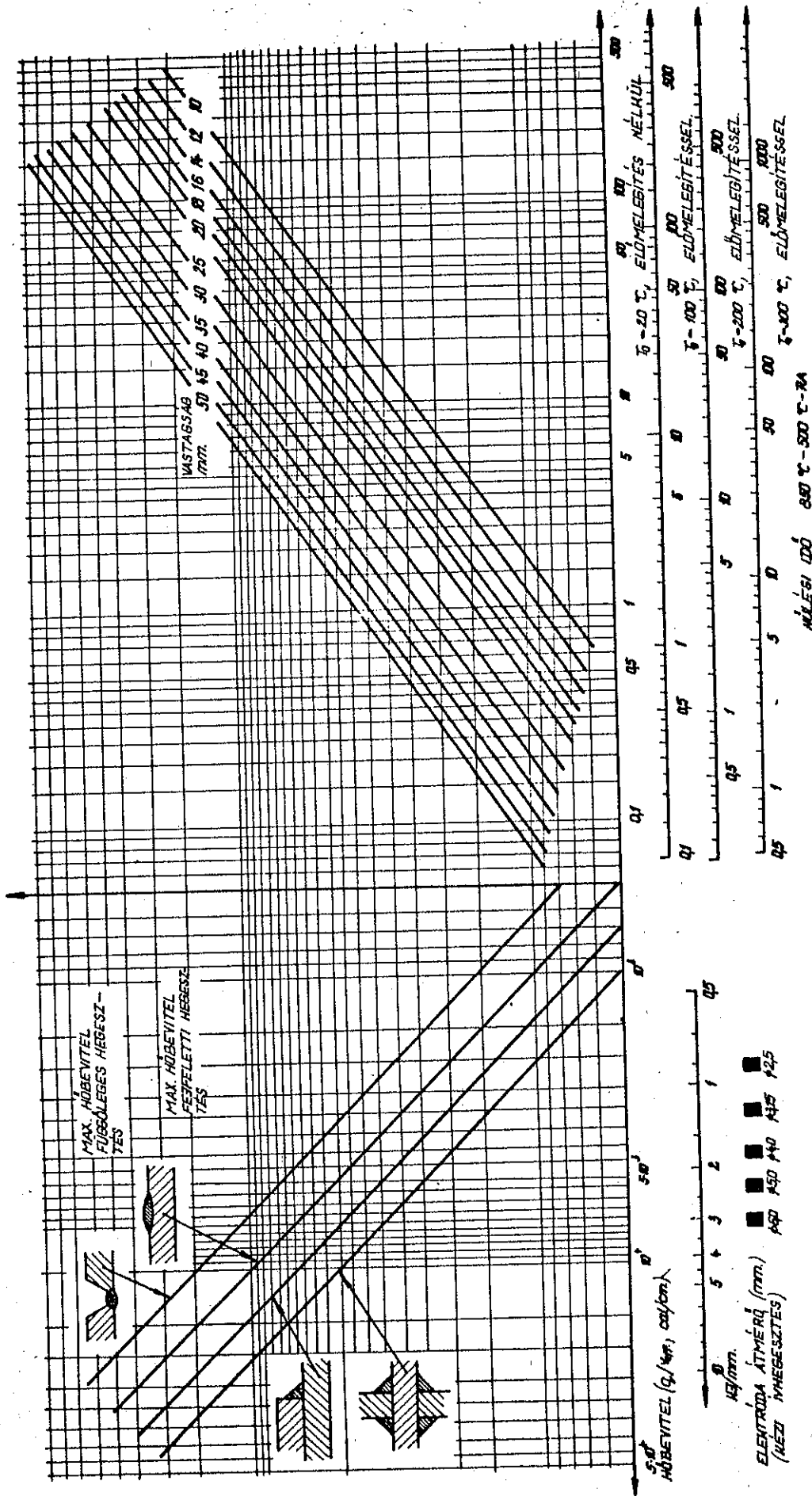
A feszültségmentesítő hőkezelés segítségével a hegesztési belső feszültségek csökkenthetők. Ez vagy a szerkezet ridegtörési biztonságának növelése, vagy a mikroméretű utólagos alakváltozások csökkentése érdekében lehet szükséges (pl. gépszerkezetek megmunkálásánál stb.).

Felhívjuk a figyelmet az újabb kutatási eredményekre (lásd a GÉP XXVII. évfolyam 1975. 9. számában Dr. Rittinger - Kern "A₁-nél kisebb hőmérsékleten végzett hőkezelés hatása hegesztett szerkezetek törési feltételeire" c. cikkét), hogy a feszültségmentesítő hőkezelés nemcsak az acél (lásd a 2.3.2.5.3 pontot), hanem a varrat és a hőhatásövezet mechanikai tulajdonságait is megváltoztatja - főként az Mn tartalom és a mikroötvözők függvényében. Ez a folyáshatár csökkenésében (mely különösen akkor veszélyes, ha az átmeneti zóna folyáshatára a varrat vagy az alapanyag folyáshatára alá esik - lásd a 3.2 pontot) és az átmeneti hőmérséklet növekedésében jelentkezhet. A korábban uralkodó nézetekkel szemben, nem egyértelműen pozitív tehát a feszültségmentesítő hőkezelés hatása, azt mindenképpen kellő megfontolás tárgyává kell tenni.

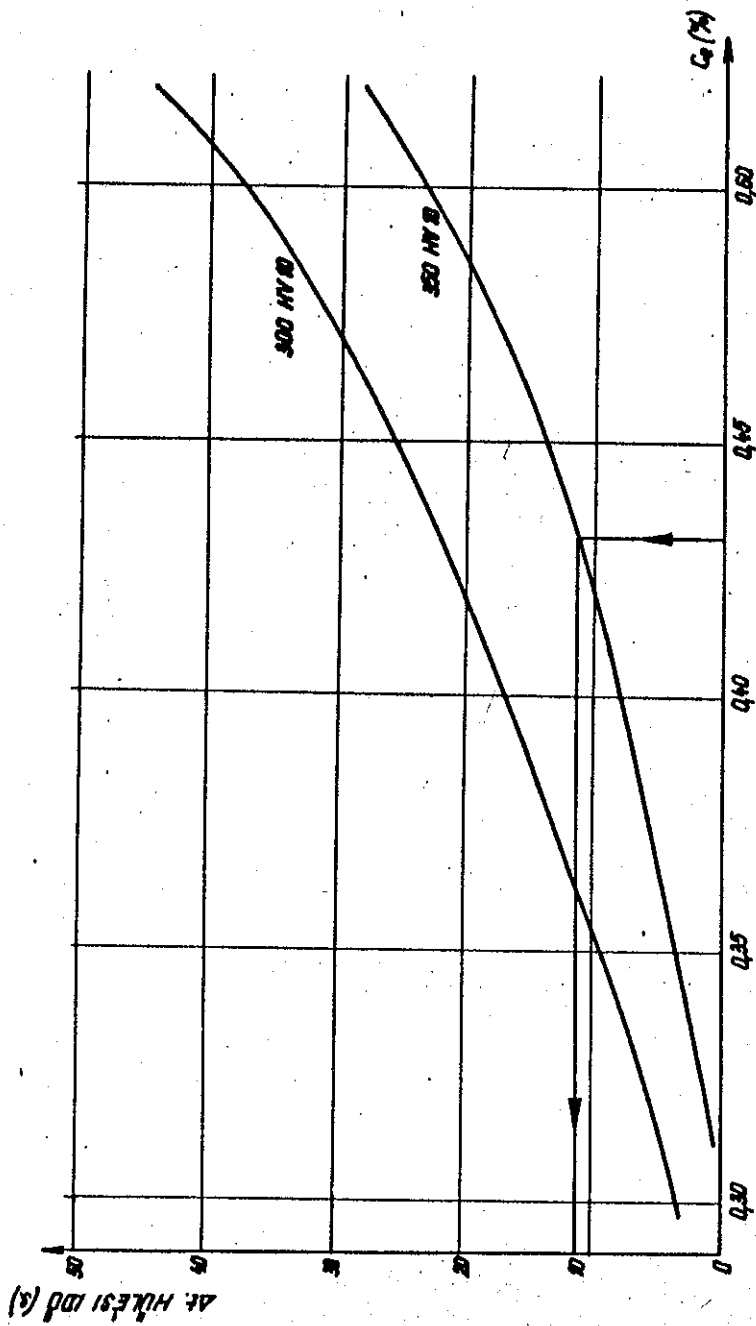


52. ábra

$C_e = 0,42\%$ szénegyenértékű acélon a lemezvastagság függvényében alkalmazható
 - $HV = 350 \text{ kp/mm}^2$ alatti keménységet okozó - hegesztési sebesség
 ("a": $\phi 3,25 \text{ mm}$; "b": $\phi 4 \text{ mm}$; "c": $\phi 5 \text{ mm}$ elektródával készített hernyóvarrat esetén)



53. ábra A hegesztési munkarend meghatározására szolgáló nomogram



54. ábra A minimális lehűlési idő meghatározására szolgáló diagram

A normalizálás átalakítja és homogenizálja a varrat és az átmeneti övezet szövet-szerkezetét, ezzel javítja a kötés mechanikai tulajdonságait (a szakítószilárdságot viszont csökkentheti).

Az elmondottak mindegyike egy-egy független változója a varrat mechanikai tulajdonságait meghatározó függvénynek. Helyes megválasztásuk kitűnő eredményhez vezet, és fordítva: szakszerűtlen kezelésük jó alapfeltételek (jó konstrukció, alapanyag stb.) mellett is törést eredményezhet.

3.4 Hegesztett kötések hibái

A hegesztett szerkezetek elterjedésének kezdeti éveiben a hegesztett kötések hibái alatt általában a varratokban lévő kiviteli hiányosságokat, makroszkópikus zárványokat, felületi hibákat értettek. Sokan még ma is úgy egyszerűsítik a kérdést, hogy a problémát elintézettnak tekintik, ha valamilyen - pl. radiográfiai - vizsgálattal a varrat hibátlanul minősül.

Korszerű szemlélet szerint a hegesztett kötéssel szemben támasztott komplex követelmény az, hogy egyrészt maga a kötés, másrészt annak a szerkezeten kifejtett hatása együttesen feleljen meg a kívánt követelményeknek (lásd a 2.5 pontot).

A kötés akkor tud a kívánt követelményeknek megfelelni, másszóval a töréssel szembeni biztonsága akkor kielégítő, ha mechanikai tulajdonságai (szilárdsága, képlékenysége, szívóssága) a szerkezet üzemi körülményei szabta igényeknek megfelelőek.

A mechanikai tulajdonságok egyrészt a kötés (varrat és hőhatásövezet):

- fémtani szerkezetétől,
- repedés mentességétől,
- zárványosságának mértékétől,

másrészt:

- a választott kötéstípustól és
- a varrat külalakjától

függenek.

Az előző fejezetekben mindezek hatásáról több szempont szerint, többször esett szó. E helyen csak azt akarjuk kihangsúlyozni, hogy alapvetően fontos - a mindenkor alkalmazási körülményeknek megfelelően

tervezéskor:

- a kötéstípus kiválasztása (pl. fárasztott szerkezeten ne alkalmazzunk hevederes kötést);
- a varrathibák megengedhető mértékének helyes megszabása (pl. statikusan igénybevett szerkezetekhez ne írjunk elő I. o. varratot);

kivitelezéskor:

- a hegesztéstechnológia elemelnek, és
- a vizsgálat módszereinek

szakszerű megválasztása.

Hibásnak tekinthetjük azt a kötést, melyben a felsoroltak közül valamelyik tényező nem a követelményeknek megfelelő.

A kötésen belül külön kell foglalkozni a varratban előforduló hegesztési hibákkal, illetőleg azok megengedhető mértékével.

A hegesztési hibákat többféle módon szokás csoportosítani

Technológiai okok, ill. megjelenési forma szerinti csoportosítást az MSZ 4310/4-73 (55. ábra):

1. 200 - (A) különféle (gömb, tömlő, alakú- soros; halmaz, vonalszerű)
 2. 300 - gázzárványok;
 3. 400 - (B) különféle (szabálytalan-, csik formájú) salak és fémes zárványok;
 4. 500 - (C) kötéshibák (összeolvadási hiányosságok);
 5. 600 - (D) különféle (varraton belül és lemezfelületen levő)
 6. 700 - gyökhibák;
 7. 800 - (E) különféle (hossz-, kereszt-, több-irányú) repedések;
 8. 900 - (F) különféle (szabálytalan-gyök, -felület, szélbeégés) felületi hibák.

A felsorolt hibák többsége lehet varraton belüli (belső), de megjelenhet a varrat fel-színén (külső) is. Az előbbieket csak valamilyen bonyolultabb - roncsolásmentes vagy roncsolásos - vizsgálattal, az utóbbiakat többnyire egyszerű szemrevételezéssel (esetleg nagyítóval) is fel lehet tárni.

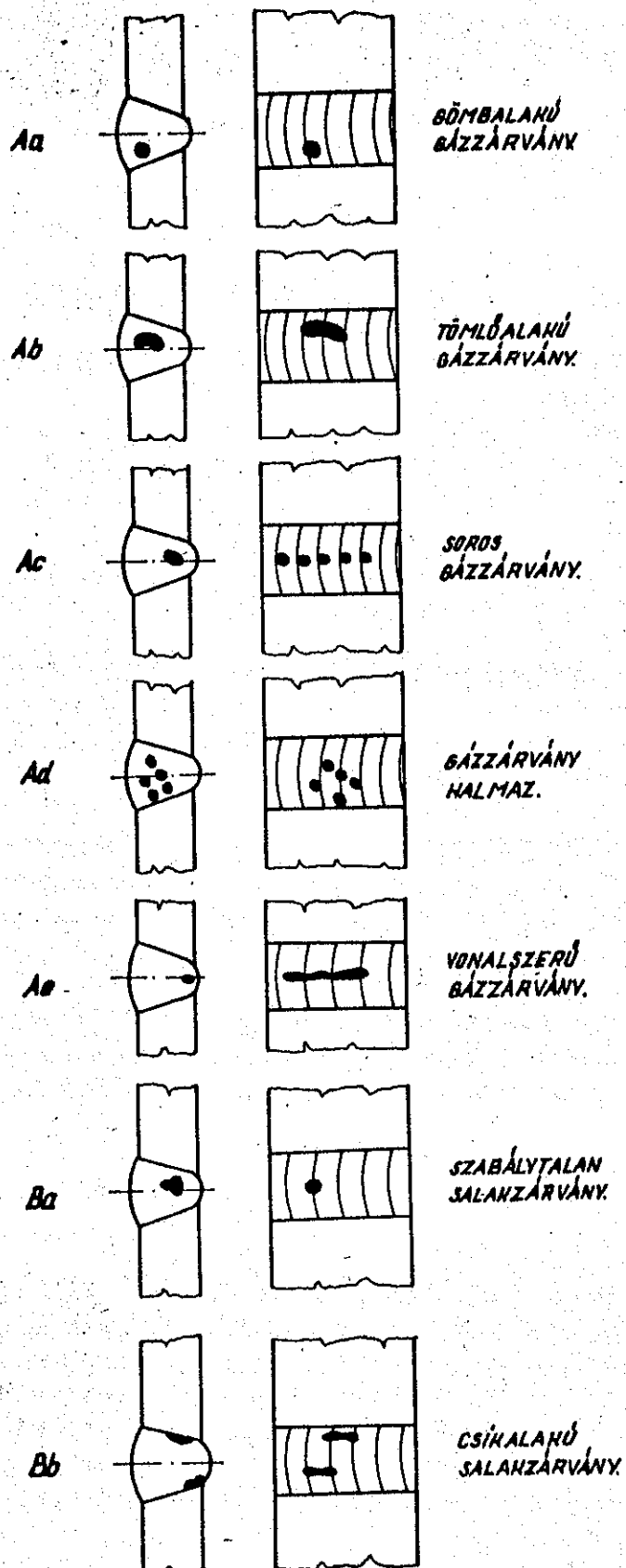
Az előző felsorolásból hiányzik, de az MSZ 6442-71 meghatároz tompa és sarokvarratoknál egyaránt alaki és méret túréseket, továbbá illesztési hibákat (a varrat minőségi osztályának függvényében). Ezekről való eltérés esetén szintén varrathibáról kell beszélnünk.

Meg kell említeni a varraton kívüli lyhuzást is, mely különösen az edződésre hajlamos acélok esetében jelent repedések kiindulási pontjául szolgáló veszélyes hegesztési hibát, ezért mindenkor elkerülendő; ha mégis előfordul, köszörrüléssel eltávolítandó.

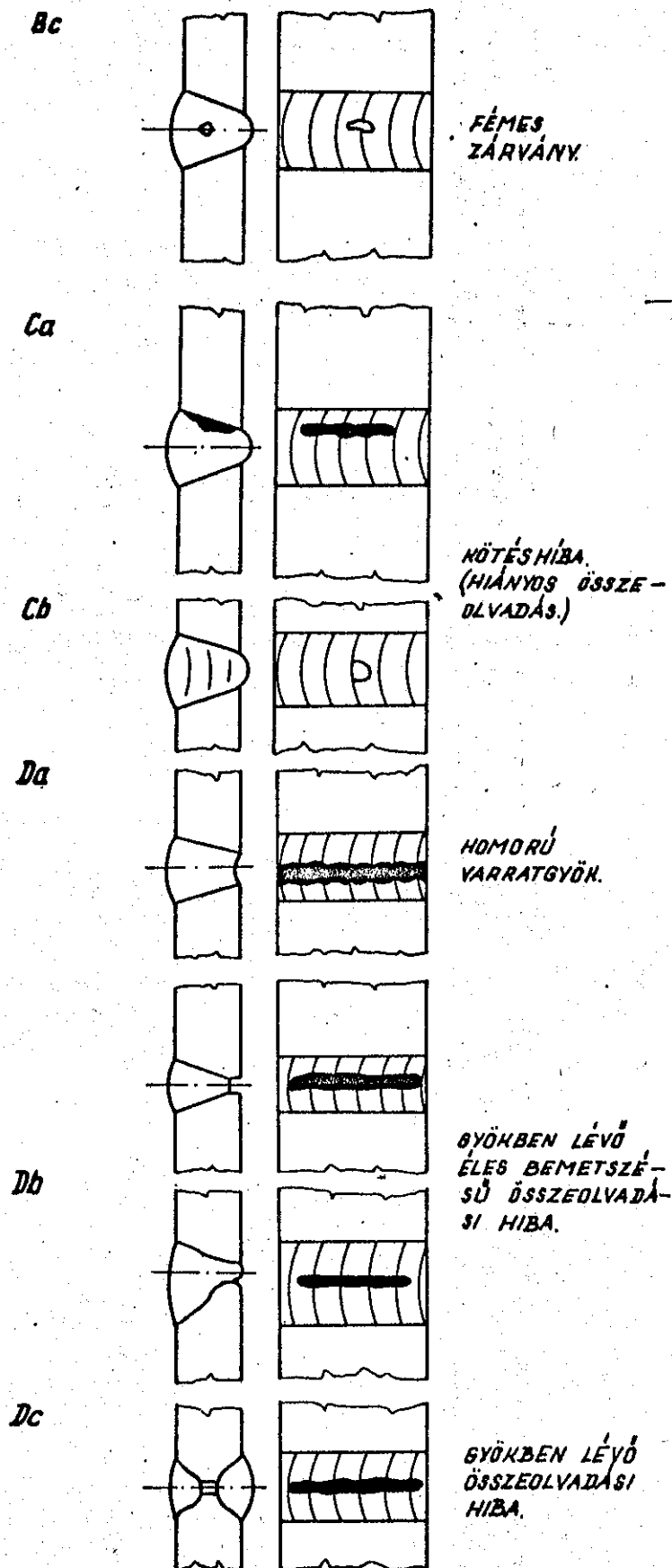
A hiba geometriai szempontból való csoportosítása szerint

- síkbeli
- térbeli

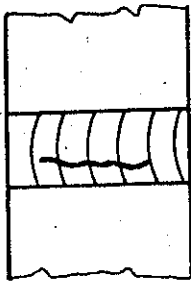
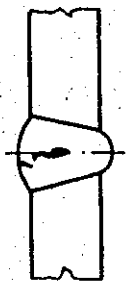
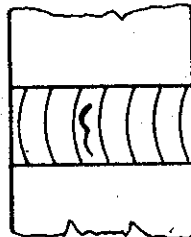
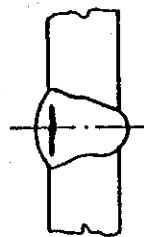
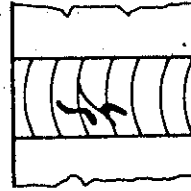
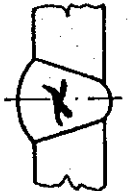
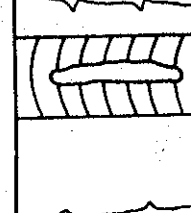
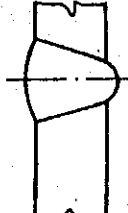
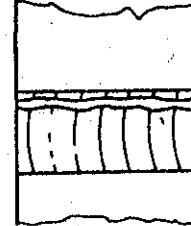
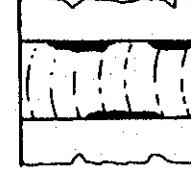
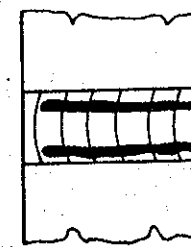
hibákat különböztetünk meg. Ennek a felosztásnak az újabb kutatások főleg a rideg törés veszélyének kitett, vagy fáradásra igénybevett szerkezetek esetében adnak - az előbbi csoportosításnál nagyobb - jelentőséget. A síkbeli hibák ugyanis vagy repedések, vagy viszonylag kisfeszültségek jelenlétében repedéskiindulást, helyként szolgálnak, ezáltal a rideg-, vagy a fáradt-törés kiinduló pontjai, veszélyesebbek a térbeli hibáknál. Ma ezért általában repedést nem engednek meg, bár egyes kutatók foglalkoznak a megengedhető repedések mértékének a meghatározásával még nyomástartó szerkezetek esetére is!



55./a ábra Hegesztési hibák



55./b ábra. Hegesztési hibák

Ea*HOSSZIRÁNYÚ
REPEDES.**Eb**MERESZTIRÁNYÚ
REPEDES.**Ec**TÖBBIRÁNYÚ
REPEDES.**Fa**SZABÁLYTALAN
VARRATFELÜLET.**Fb**SZABÁLYTALAN
VARRATFELÜLET.**Fc**SZÉLKIOLVADÁS.
(SZÉLBEEGÉS.)*

55. c ábra. Hegesztési hibák

Alapvetően fontos kérdés a szerkezetekben előforduló varrathibák megtűrhető mértékének - szerkezet alkalmazási körülményektől függő - helyes megállapítása. Az erre vonatkozó előírások ma már többnyire elavultak, nem szolgálják a célt: a törés elleni biztonság leggazdaságosabb módon való megteremtését. A követelmények általában nem eléggé differenciáltak, gyakran túlzottan szigorúak. Ezt tetézheti az, hogy a tervezők sem a megfelelő minőségi fokozatot írják elő. Végeredményképpen a feleslegesen végrehajtott vizsgálatok, nyomukban járó javítások, egyrészt gyártás költségelt növelik, másrészt sokszor a minőséget rontják. Pl. egy tompavarratban levő, megtűrhető mértékű hiba esetleges többszöri javíttatásával járó helyi képlékeny alakváltozások felemésztik az anyag plasztikus tartalékát, ugyanakkor a (belső) feszültségek növekednek; a helyzet tovább romlik a szerkezetben keletkezett túlzott mértékű deformációk egyengetése során - végeredményképpen jelentős költségeket igénylő műveletsor végén a szerkezet töréssel szembeni biztonsága csekélyebb, mint javítás előtt volt. Angol kutatók nyomástartó edények gyártását követő vizsgálatok kimutatták, hogy a hegesztési hibák 80%-ának javítása elhagyható lett volna! Alapszabály az, hogy ne követeljünk meg többet a varratnál mint amennyit a szerkezet leggyengébb pontja kibír. (Pl. feleslegesen egy fárasztott kötés tompavarratát I. o. kivitelben megkövetelni, ha melléje az erő irányára merőleges bordát hegesztetünk; vagy egy gömbtartály palástjának tompavarratait hibátlan minőségűre készíttetni, ha a csomkbekötések K-varratait nem ellenőriztetjük megfelelő módon.)

Hazai vonatkozásban a tompavarratok hibáinak MSZ 4310/5-63 szerinti öt (gyakorlatilag négy) osztályba történő sorolása, illetve az egyes osztályok számára túlzottan szűk határok között megállapított hibaelőfordulások (hibafajtánként nagyság és gyakoriság) egyszerűen kizárják annak a lehetőségét, hogy egy kevésbé kényes, pl. statikusan igénybevett szerkezet varratára gazdaságos előírást lehessen tenni. Például az előírható legrosszabb, IV. osztályban sem tűrhető meg szélbeégés; általában csak a vastagság 20%-át nem meghaladó méretű, max 10% gyakorisággal előforduló kötés-hibát enged meg; minimálisak az előfordulható gáz, salak és gyökhibák is. Ugyanakkor kísérletekkel kimutathatók, hogy a tompavarrat statikus szilárdságát lényegesen nagyobb hibák (a hossz 25%-áig terjedő gyökhiba; a keresztmetszet - a varratköztartalom és nem a varrat vetülete! - 5%-át kitevő salakosság és 7%-nyi gázzárvány) sem csökkentik.

Megemlítjük, hogy két kérdés nincs a jelenlegi előírásokban rendezve. Az egyik az, hogy a tompavarratok minősítése főként az elsősorban csak radiográfiával uton meghatározható belső hibák alapján történik, ugyanakkor minden tompavarratot nem kell így vizsgálni. Ez esetben a gyakorlat az, hogy a kivitelező - megfelelő technológiával és szurópróbaszerű saját ellenőrzéssel - törekszik a megkívánt minőség elérésére, és szavatolja is azt. A másik kérdés a szakaszos (nem 100%-ban végzett) radiográfiai ellenőrzés során feltárt és el nem fogadható hibákkal függ össze: nevezetesen mi történjék a nem vizsgált, de feltehetően azonos hibákat tartalmazó varratszakaszokkal? A gondos gyártómi ez esetben a vizsgálatot kiterjeszti előbb két- vagy többszörös hosszra, és ha azt is nem megfelelőnek találta, a teljes varratszakaszra, ill. szerkezetre.

Az említett szabvány átdolgozása folyamatban van. A szabványtervezet hibafokozatókat ad meg - a hibaméret és a gyakoriság függvényében -, az előzőekhez képest bizonyos enyhítésekkel. A tervezet függeléke igen értékes tájékoztatást ad a kötések

osztályozására és minősítésére a belső hibák alapján. Több oldalról megvilágítja annak jelentőségét, hogy egy hiba hatása számos tényezőtől függ (az igénybevétel fajtáján túlmenően, a bemetszés élességétől, a hiba helyzetétől, irányától, környezetének feszültségállapotától, a varrat és a hőhatásövezet mechanikai tulajdonságaitól, hidrogéntartalmától stb.). A megengedhető hibák mértékének szakszerű, gazdaságos meghatározása csak adott kialakításu, adott körülmények között üzemelő szerkezetre a hiba hatását befolyásoló összes tényező együttes értékelésével lehetséges.

A bonyolult és sokrétű, nagyjelentőségű problémakör feldolgozása - nemzetközi együttműködéssel - folyamatban van. Egyrészt a tényleges káresetek tapasztalatai leszűréseinek, másrészt a törésmechanika alapján álló analitikus módszereknek a segítségével töreksenek olyan - a jelenlegieknél lényegesen több szempontot felölelő, tágabb határokat megszabó - előírások létrehozására, melyek a biztonságának még nem rovására menő maximális mennyiségű hibát engedik meg. Sajnos ezidő szerint ez a munka még szabványosításig sehol sem jutott el.

Az előrehaladásnak két tényezője már kikristályosodóban van. Az egyik: a tervező és kivitelező együttesen, a hiba hatását befolyásoló összes körülmény mérlegelése alapján szerkezetenként határozzák meg a megengedhető hibák fajtáját és előfordulási jellemzőit. A másik: a varratnak különböző minőségi szintjelt kell megszabni - legszigorubbát a technológia készítésére, kevésbé szigorút az ellenőrzés kritériumaként (javítani még nem kell, csak intézkedni a hibák elkerülésére) és még enyhébbet a javításra ítélt hibák kijelölésénél.

Természetesen a vázolt módszerek bevezetésének elengedhetetlen feltétele, hogy a kérdéssel foglalkozó, az abban döntő szakemberek megfelelő szintű képzettséggel rendelkezzenek.

3.5 Hegesztett kötések vizsgálatának módszerrel

A hegesztett kötések vizsgálatának módszerrel két csoportra szokás bontani:

- roncsolásmentes
- roncsolásos vizsgálatok

A roncsolásmentes vizsgálatokkal a hegesztés makroszkópikus hibáit lehet feltárni, anélkül, hogy a szerkezetben, ill. a kötésben kárt tennénk.

A roncsolásos vizsgálatok a kötésből - esetleg annak folytatásaként e célra készített próbadarabból - kivágott próbapálcák vizsgálatával a kötésben előforduló makroszkópi, mikroszkópi méretű hibák feltárásán túl, a kötés mechanikai tulajdonságaira is felvilágosítást kapunk.

Csakis a két eljárás - megfelelő módszereinek - együttes alkalmazása adhat olyan teljes képet a varrat tulajdonságaira, melyből a töréssel szembeni biztonságra következtetni lehet! Igényesebb szerkezeteknél ezért kell előzetes roncsolásos próba útján az alkalmazandó technológiával készült varrat megfelelő mechanikai tulajdonságairól meggyőződni; majd a tényleges szerkezet - azonos módon hegesztett - varratait roncsolásmentes vizsgálatokkal folyamatosan ellenőrizni. A mechanikai tulajdonságok szűrőpróbaszerű ellenőrzésére szolgálnak a gyártásellenőrző próbák. (Lásd az MSZ 6442-71 előírást)

3.5.1 Roncsolásmentes vizsgálatok

A roncsolásmentes vizsgálatok gyakorlatban alkalmazott módszerei:

- szemrevételezés,
- indikátor folyadékos vizsgálat,
- mágneses repedésvizsgálat,
- radiográfiával (röntgen, izotóp) vizsgálat,
- ultrahangvizsgálat.

Az első négyet az MSZ 4310-63 tartalmazza, az ultrahangvizsgálat ezidélgi nincs szabványosítva.

Szemrevételezéssel - esetleg nagyító segítségével - a varrat számos hibája feltárható. Ilyenek elsősorban a varrat felületének (egyoldalról hegesztett tompavarrat esetén a varrat gyökének) minősége, egyenletessége, a kezdések és végkráterek, a varrat mérete, alakja, a szélkiolvadás, továbbá a felületre kifutó belső hibák: gázzárványok, salakzáródmányok, repedések.

A szemrevételezés elengedhetetlen vizsgálat. Ily módon minden varratot, teljes hosszban, ellenőrizni kell. Más vizsgálatokat is csak szemrevételezés, ill. az ekkor észlelt hibák kijavítása után célszerű végrehajtani.

Meg kell követelni, hogy a hegesztő (minden eljárás esetén) az elkészítést követően azonnal és folyamatosan ellenőrizze saját varratát és az esetleges hibákat azonnal korrigálja. (Nagy kárt okozhat pl. az a módszer, hogy a salakeltávolítást csak később, nagymennyiségű varratnál egyszerre végzik el, mert az esetleges hegesztési hibák így a teljes varratszakaszra kiterjedhetnek.)

Az indikátor folyadékos vizsgálat végrehajtásának módja, hogy a varratot (szükség esetén az alapanyagot) letisztítás után kis felületi feszültségű (többnyire vörös színű) folyadékkal befestik. A folyadék a résekbe diffundál. A felületen maradt felesleget lemossák, majd a felületet előhívó folyadékkal (pl. krétapor alkoholban oldva) vonják be. Ez abszorbeálja a repedésben levő festéket és ezzel kimutatja az esetleges hibákat. A munka egyszerűsítésére az eszközöket (tisztító-, festék-, előhívó-folyadék) szóródobozban is forgalomba hozzák.

Az eljárással a felületre kifutó hibákat elsősorban a gázzárványokat és hajszálrepedéseket lehet viszonylag egyszerűen kimutatni. Fokozottan kényes munkáknál minden egyes varratsort, a kimunkált varratgyököt is e módszerrel ellenőrizve, nagy valószínűséggel biztosítható a hibátlan kötés, ill. elkerülhető az utólagos javítás. Nem mágnesezhető anyagok esetén is alkalmazható.

A mágneses repedésvizsgálathoz a mágnesezhető anyagban (árambevezetéssel, elektromágnessel, permanens mágnessel) mágneses teret létesítünk. Az acélban levő esetleges folytonossági hiány (zárvány, repedés) helyén az erővonalak a felületre kilépnek és az oda felhordott jelzőfolyadékot (olajba, fluoreszkáló folyadékba kevert vaspor) összesűrítve a hiba helyét megjelölik. Az eljárással a felületre kifutó, vagy az alatta 3-4 mm-nél nem mélyebben levő hibák, hajszálrepedések, zárványok, az elégtelenül kimunkált varratgyök hibái mutathatók ki. Egyszerű, praktikus vizsgálat. Az áram-

bevezetéssel dolgozó módszert az edződésre hajlamos acéloknál nem célszerű alkalmazni, mert az elektródok eltávolításánál a többszáz A erősségű áram ívet húzhat.

A radiográfiai (röntgen, izotóp) vizsgálat során a sugárforrás röntgensugarakat kibocsátó elektroncső, vagy gamma sugarakat kibocsátó izotóp (trídium, cézium, kobalt) kis hullámhosszúságú sugarai az anyagon áthatolnak. A homogén anyag azonban fokozatosan elnyeli azokat. Ahol az anyagban (varratban) folytonossági hiány (zárvány stb.) van; az elnyelés mértéke csökken, tehát a környezethez képest nagyobb intenzitású sugárzás lép ki, és az anyag másik oldalára helyezett röntgenfilm feketedést idéz elő, a hibát így láthatóvá téve.

A radiográfiai vizsgálat számos előnnyel rendelkezik: segítségével kimutatható a hiba fajtája, helyzete (de nem a mélysége); fő előnye a többi eljárással szemben, hogy a film objektív bizonylatot szolgáltat (az egyéb eljárások pedig csak a vizsgáló szakember szubjektívítésére épülnek, közvetlen bizonylat nem marad).

A radiográfiai vizsgálat számos és sok esetben utólérhetetlen előnye mellett sok hátránya is van. Ilyenek, hogy lassú és költséges, a hiba mélységét nem adja meg és sok esetben nem mutatja ki éppen a legkényesebb, a síkbeli hibákat: a hajszálrepedéseket, vagy a sugárzás irányára merőleges síku repedéseket, továbbá az olyan gyökhibákat, ahol a lemezek között gyakorlatilag nincs hézag (fedettívű hegesztéshez gyalulással élezett lemezek összeérő "élgyökei"). Emiatt - különösen ridegtöréssel veszélynek kitett szerkezeteknél - ultrahangvizsgálattal való kiegészítésre szorul. Az átsugározható vastagság is korlátozott: röntgensugár kb. 50 mm-ig, a γ -sugár (kobalt) 160 mm-ig alkalmazható.

A röntgenvizsgálat általában csak tompakötések varratainak ellenőrzésére szolgál; a T-kötések tompa és sarokvarratainak vizsgálata elméletileg megoldott ugyan, a gyakorlatban - a kivétel nehézségei, a vizsgálat megbízhatóságának kétes értéke miatt - nem szokásos.

Az említett hátrányok miatt a radiográfiai vizsgálat egyeduralkodója szűnőben van. Ez a folyamat külföldön már régóta megkezdődött, Magyarországon azonban még csaknem egyeduralkodó.

Az ultrahangvizsgálat során a felületre helyezett gerjesztett ultrahang-adó a lemez belsejébe ultrahang impulzusokat továbbít. Ezek a lemez felső és alsó felületéről egyaránt visszaverődve újra villamos impulzussá alakíthatók. Az anyag belsejében levő inhomogenitás (zárvány, repedés) szintén visszhangot kelt, mely a készülék képernyőjén azt jelzi.

Az ultrahangvizsgálat előnye, hogy könnyen kezelhető igen gyors és olcsó, kimutatja a legkisebb hajszálrepedéseket, továbbá a hiba mélységét is. Korlátlan vastagság esetén is alkalmazható.

Az ultrahangvizsgálat a lemezzrétegeesség megállapításának általánosan használt módszere.

Hátránya, hogy a hiba fajtája, mérete nem, vagy csak nagy gyakorlattal határozható meg (ezért szokás a kérdéses helyeket röntgennel is megvizsgálni). Mindenképpen nagy gyakorlatu szakembert igényel, akinek pillanatnyi szubjektív ítélete dönt, a vizsgálatról közvetlen bizonyíték nem marad. (Ujabban kifejlesztettek hiba regisztráló, sőt jelző-berendezéseket is, melyek folyamatos ellenőrzés mellett - pl. spirálcső-hegesztésnél - a hibás szakaszokat a varrat mellett megjelöli.)

A felsorolt előnyök olyan jelentősek, hogy ez a legfiatalabb vizsgálati eljárás - a készülőcek folyamatos tökéletesítésével, vizsgálatot végző szakemberek számának növekedésével, továbbképzésükkel - felvette a versenyt elődeivel, alkalmazási területe napról-napra nő.

Az ultrahang vizsgálat kiváló eszköz arra, hogy vele az igényesebb szerkezetek varratait teljes hosszban ellenőrizzük. A kétséges, vagy igen kényes helyekről kiegészítésképpen és kellő dokumentálás céljából radiográfiai felvétel is készíthető, - és fordítva: a repedésérzékeny (pl. a nagyszilárdságú acélból készült nyomástartó) szerkezetek varratait a radiográfiai vizsgálatok kiegészítésére, ill. az esetleges repedések feltárása céljából ultrahang vizsgálattal is ellenőrzik. Ma ez a korszerű irányzat, mely - ha igen lassan is - hazánkban is terjed.

3.5.2 Roncsolásos vizsgálatok

Az acélok hegesztett tompakötésének legegyszerűbb roncsolásos vizsgálati módszere az MSZ 4309-64/75 tartalmazza.

Megkülönböztet:

- szakító-,
- hajlító-,
- ütő-,
- keménység-,
- fárasztó-,
- szövetszerkezeti

vizsgálatot.

A szabvány intézkedik a próbapálcák kivételének és a vizsgálat végrehajtásának módjára. A vizsgálati követelményeket más szabványok (pl. az MSZ 6442) előírások, vagy esetleges külön megállapodások rögzítik. Ma már általános követelmény, hogy a hegesztett kötés mechanikai tulajdonságai általában teljesítsék az alapanyagra előírtakat, és a keménység ne lépje túl (a hőhatásövezetben se) a 300 HV, ill. hidrogén-szegény eljárás esetén a 350 HV értéket.

A roncsolásos vizsgálatok közé sorolható még a varrat vegyelemzése is, mely sokszor igen fontos információt adhat egyes varrathibák (pl. melegrepedés) okainak kiderítéséhez.

A felsorolt, MSZ 4309 szerinti próbákhoz az alábbi megjegyzéseket fűzzük.

A szakító próba nem szerencsés kialakításu, mert a viszonylag rövid bemetszés nem nyújt lehetőséget kontrakció kialakulásához, ennek következtében általában magas (az alapanyagra előírt felső határt meghaladó) szakítószilárdsági értékek adódnak.

Jobban értékelhetőnek találjuk ezért a tisztán heganyagból készített, a varrat hossz-tengelyének irányába eső, hengeres próbatestet, mely a vizsgálatot bemetszésmentes; tehát az alapanyag vizsgálatával azonos próbapálcával oldja meg.

Az útóvizsgálatnál a bemetszés - melyet célszerű (az MSZ 6280-74 nyomán) V alakúra kimunkálni - feltétlenül a lemez felületére merőleges legyen, mert így a törési felület jobban képviseli a varrat rétegződését, szövetszerkezetét. Vastagabb lemezekből történő útópróbatet kivételénél - különösen fedettvízi hegesztés esetén - előzetes maratással kell eldönteni, hogy a próbatest milyen mélységből munkáljuk ki. Ha ugyanis az útó hajlításnál húzásnak kitett (bemetszés közelébe eső) szakasz olyan övezetbe esik, amelyiket egy másik réteg normalizált, 20-40° C-al alacsonyabb átmeneti hőmérsékletet is kaphatunk, mintha pl. a felület közelébe, hőkezeletlen helyre, a dendritek találkozási pontjába esik a bemetszés.

Amint azt a bevezetőben már kitértünk, a varratok mechanikai tulajdonságaira egyedül a roncsolásos vizsgálatok alapján következtethetünk, azok tehát semmilyen roncsolásmentes vizsgálattal nem helyettesíthetők, igényesebb szerkezetek esetén feltétlenül elvégzendők - előre és gyártásközben egyaránt.

Többször hangsúlyoztuk, hogy a roncsolásos vizsgálatok feltételei nem egyeznek a tényleges szerkezet üzemi feltételeivel, ezért a vizsgálatokból nyert adatok - korrelációs összefüggések segítségével - csak alapot szolgáltatnak a varrat szerkezetbeni viselkedésének becslésére.

Az elméleti kutatások során még számos más, itt fel nem sorolt vizsgálatot alkalmaznak, melyek a tényleges üzemi körülményekhez jobban hasonlóak között vizsgálják az anyag és a kötés viselkedését. E kétségtelenül hasznos vizsgálatok elterjedését gátolja azonban körülményes és költséges voltak.

Nem indokolt, hogy értük a mindennapi gyakorlat - nagyszámu vizsgálati eredményre és tapasztalati adatra támaszkodó - egyszerű módszereire (pl. útóvizsgálat, keménységmérés) épült korrelációs rendszereit átértékeljük.

4. Acélszerkezetek rideg törése

4.1 A törés módjai

Az acélszerkezetek tönkremenetele háromféle módon történhet:

- képlékeny
- fáradt
- rideg

törés útján.

A képlékeny törés egyszerű, statikus igénybevételre, a szakítódíagram szerint, rugalmas, majd képlékeny alakváltozás után, kontrakció mellett megy végbe. A töréshez szükséges energia legnagyobb része a képlékeny alakváltozásra fordítódik.

Az anyag képlékeny törés melletti ún. "statikus szilárdsága" az anyag minőségétől (egy szilárdsági kategórián belül) csak jelentéktelen mértékben függ. A szerkezetben bekövetkező törés feltételeire a (szakító) próbapálcá tulajdonságai alapján egyszerűen következtethetünk. Ezért a gyakorlatban a szerkezetek tönkremenetele statikus törés útján ritkán - a megengedettnél nagyobb, ún. "tulterheléskor"-kor esetleg méretezési hibából - történt.

A fáradt törés ismétlődő igénybevételre megy végbe oly módon, hogy a feszültségcsúcsok (külső, vagy belső "bemetszések") helyén - általában képlékeny alakváltozás, azaz maradó nyulás és kontrakció nélkül - repedés keletkezik, ez szakaszosan terjed, majd hirtelen törik. Ennek megfelelően a törési felület két egymástól élesen elhatárolódó részre oszlik: a síma, homályos fáradt és a fényes szemcséjű, rideg törési felületre. A töréshez szükséges energia legnagyobb része a repedés terjesztésére fordítódik.

Az anyag ún. "fáradási szilárdsága" az anyag minőségétől (egy szilárdsági kategórián belül) csak csekély mértékben függ. A szerkezetben bekövetkező törés feltételeire egyszerű próbapálcák fárasztása révén meglehetősen gyengén, teljes szerkezetek, vagy szerkezeti részek próbatermi fárasztásával jobban, de mindenképpen bonyolultan lehet csak következtetni. Ez az oka annak, hogy fáradt törések a szerkezetek tönkremenetelét gyakrabban okozzák.

A rideg törés, az anyag bizonyos (rideg törésre hajlamos) állapotában, egyszerű igénybevételre, rugalmas alakváltozás után, maradó nyulás és kontrakció nélkül, egy - általában már korábban meglevő, helyi feszültségcsúcs hatására keletkezett - repedésből igen gyors repedésterjedéssel - rideg, fényes szemcséjű töretfelülettel - megy végbe. A repedés okozhatja a szerkezet teljes tönkremenetelét, de korlátozódhat annak csak egy helyi szakaszára is. A töréshez szükséges energia nagyrészt a rugalmas alakváltozás emészt fel.

Az anyag rideg töréssel szembeni, ún. "ridegtörési szilárdsága" nagymértékben függ az anyag minőségétől. A szerkezetben bekövetkező rideg törés feltételeit laboratóriumi (elsősorban ütő-hajlító) vizsgálatok alapján csak körülményesen lehet meghatározni. Ez az oka annak, hogy ridegtörési esetek előfordulnak. Mindhárom eset közül a legveszélyesebbek, mert bekövetkezésükre látható jelenség (alakváltozás, repedés) előre nem figyelmeztet.

4.2 Ridegtörési esetek

Ridegtörési eseteket már a múlt század végén, szögecselt szerkezetekkel (viztorony, hajó) kapcsolatban is feljegyezték. Nagyobb gyakorisággal – és egyben nagy katasztrófákat okozva – csak a hegesztett, majd főként a nagyszállárdságu acélokából készült hegesztett szerkezeteken, a 30-as évek végét követően fordultak elő. A hídkaarosodások legismertebbje a belgiumi Albert csatorna feletti, 37-es szállárdságu acélból készült hidak leszakadással járó esete; az 52-es acélból készültek közül pedig ugyanabban az időben a rüdersdorfi közúti híd főtartóján keletkezett törés. Az azóta eltelt időszakban, a legutóbbi időkhig sok hídyszerkezet szenvedett teljes vagy részleges ridegtörést. Ezek többnyire 52-es csillapítatlan és viszonylag magas szénttartalmu (C:0,25% felett) acélból készültek; a törés általában a hegesztési hőhatásövezetbéli felkeményedésben meglevő repedésből indult ki.

A hajók ridegtöréseit közül a legjelentősebbek a negyvenes években az amerikai tartály és teherszállító hajókon ezres nagyságrendben előforduló, és több esetben teljes tönkremenetelt okozó ridegtörési esetek.

A nyomástartó edények és nyomásalatti vezetékek rideg töréseinek előfordulása is ebben az időszakban kezdődött és azóta is számtalan katasztrófát okozott. (Pl. 1944-ben Clevelandban 128-an, 1968-ban Répcelakon 13-an estek áldozatul tartályok ridegtörésének.)

4.3 A ridegtörés feltételei, vizsgálati módszerei

Az emberéleteket követelő és hatalmas károkat okozó esetek nyomán természetesen széleskörű kutatómunka indult meg a ridegtörés okainak, körülményeinek és a megelőzés lehetőségeinek kiderítésére.

A vizsgálatok és az azok nyomán levont következtetések számtalan esetben zsákutcába vagy tévútra vezettek. A probléma ma sincs megoldva, de sok lényeges kérdést időközben sikerült tisztázni.

Rideg törés keletkezik: ha a szerkezet egy pontján a feszültségek magasabbak, mint amit azon a helyen az anyag képlékeny alakváltozás útján le tud vezetni és ezért ott repedés jön létre (pl. a hegesztett kötés feledződött hőhatásövezetében hegesztési belső feszültségből, hidrogéndiffúzió révén, vagy fárasztó igénybevétel hatására), és ha a szerkezet rendelkezik a repedés terjesztéséhez szükséges elegendő mennyiségű energiatartalommal (pl. hegesztési feszültségek, belső nyomás), illetőleg ha a repedés terjedésekor energia szabadul fel (pl. -tartályban sűrített állapotban tárolt közeg esetén); továbbá ha az anyag nem eléggé szívós ahhoz, hogy a repedés hirtelen terjedését meggátolja vagy megállítsa. Ha tehát, vagy további energia nem szabadul fel, vagy az anyag szívóssága elegendően nagy, a repedés terjedése megáll – a törés részleges. A repedés terjedése, a törés a feltételek teljesülése esetén bármikor, sokévi üzem után is bekövetkezhet.

A ridegtörés elkerülésének három útja lehetséges:

- hibátlan (bemetszésmentes), homogén szerkezet;
- megfelelő módon a hibás helyeken való repedések keletkezését elkerülni;
- megfelelő anyaggal a repedések terjedését meggátolni.

Az első lehetőség gyakorlatilag nem biztosítható, ezért általában a másodikra helyezik a fő súlyt, de egyidejűleg a harmadikkal is élnék.

A rídeg törés folyamata az előzőek szerint két szakaszra bontható:

- a repedésképződés
- a repedésterjedés

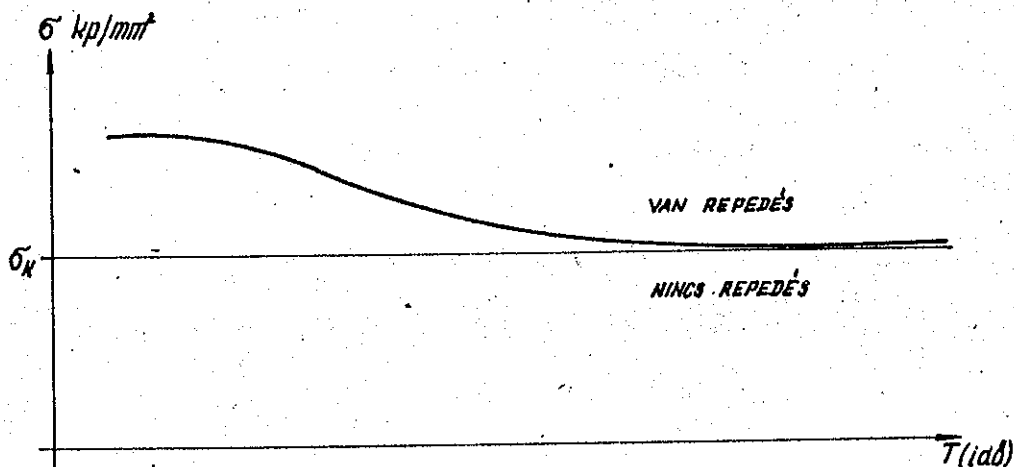
folyamataira. Ennek megfelelően a korszerű vizsgálati módszerek elkülönítve határozzák meg az acél tulajdonságainak a repedésképződésre jellemző:

- repedési érzékenységgel,
- valamint a repedés terjedésére jellemző:
- rídeg-törési érzékenységgel
- kapcsolatos mérőszámait.

A megfelelő mérőszámok birtokában meghatározható olyan hegesztési munkarend, melynek alkalmazásával - egy ismert acélon - elkerülhető a repedés; továbbá kiválasztható olyan acél, mely kellő biztonságot nyújt a törés terjedésével szemben.

4.3.1 Az acélban keletkező repedéseket meleg- és hidegrepedésekre oszthatjuk. A hegesztett kötés esetében meleg repedésekkel a varratban, hideg repedésekkel a hőhatásövezetben találkozunk. Mindkettő előfordulásának okával és elkerülésének módjával részletesen foglalkoztunk a 3.2 pontban. Ezért e helyen a kérdést csak a repedésérzékenységi mérőszámok szempontjából tárgyaljuk.

A hegesztett kötés repedésérzékenysége jellemző mérőszám egy olyan feszültség-érték (σ_K), melynél nagyobb feszültség az átmeneti övezetben - adott viszonyok (fémtenál szerkezet, hidrogéntartalom, diffúziós viszonyok) mellett - repedést kelt. Értéke az időben - hidrogéndiffúzió következtében - csökken, ezért "késleltetett törési szilárdság"-nak is nevezik (56. ábra).



A repedést keltő feszültség időben változása

56. ábra

A repedésérzékenység mérőszámának meghatározására számos módszert dolgoztak ki. Ezek részben belső (hegesztési) feszültségek, részben külső terhelés hatására

keletkezett repedésekhez tartozó σ_K érték megállapítására törekszenek.

A repedésérzékenységi mérőszám gyakorlati alkalmazása oly módon történik, hogy a hőhatás övezetben fellépő feszültségeket, a körülmények (az ott keletkezett fémtani szerkezet és a hidrogén diffúziós feltételeinek) figyelembevételével analitikus úton meghatározzák és összehasonlítják a kísérletekkel – azonos körülményekre – meghatározott σ_K értékkel, melyet meghaladnia nem szabad. A számtalan paramétertől függő eljárás gyakorlati alkalmazása túlzottan bonyolult feladat elé állítja a kivitelezőket.

Egyszerűbb módszer kínálkozik annak révén, hogy – adott határok közötti acélösszetétel mellett (gyakorlatilag a tárgyalt acéljaink esetén) – a hegesztési hőfolyamatban kialakult szövetszerkezetre – és ezen keresztül a repedésérzékenységre – meglehetősen biztonsággal lehet következtetni a hőhatásövezet edződést hajlama révén. Ezt a lehetőséget használták fel a Vasipari Kutató Intézet munkatársai, amikor a repedés elkerülésére javasolt technológia tervezési módszerüket a hőhatásövezetben megengedhető max. keménység túllépésének kiküszöbölésére alapozták (lásd a 3.3 pontot).

4.3.2 A repedések terjedésének kérdésével a törésmechanika foglalkozik. Különböző módszerekkel, különböző körülményekre érvényes ridegtörési szilárdságot határoznak meg kísérleti úton. Ez egy olyan feszültség, melynél nagyobb a repedést növeli. Értéke függ a repedés hosszától, a feszültségállapottól, a hőmérséklettől és a terhelésváltozás sebességétől. A külső terhelésből és saját feszültségekből számított feszültségnek nem szabad meghaladnia a ridegtörési szilárdság kísérletekkel meghatározott értékét.

A ridegtöréssel szembeni biztonságnak az acélok ridegtörési szilárdságán alapuló megteremtése (hasonlóan a repedés keletkezésének esetében a késleltetett törési szilárdsággal dolgozó módszerhez) meglehetősen nehézkesen járható út. Ezért a gyakorlat általában – legalábbis egyelőre – azt a másik módszert választja, mely az acélok ridegtörési érzékenységből indul ki.

Tárgyalásaink körébe tartozó acéloknak a ridegség nem tulajdonsága. Rideg állapotba csak bizonyos körülmények között jutnak. Ezek a tényezők, melyek – egyenként, vagy együttesen – az acél rideg viselkedését kiváltják:

- a hőmérséklet;
- a feszültségállapot;
- a feszültségváltozás sebessége (dinamikus hatás).

E három tényező szerepét már a ridegtöréssel kapcsolatos kutatások korai időszakában látták; a ridegtörési biztonság feltételeinek ezeken alapuló meghatározása azonban – sok nézet hibáinak feltárása után is – mindmáig nem egyértelműen megoldott kérdés.

A probléma onnan adódik, hogy a szerkezet tényleges feszültségállapotát, e feszültségek időbeli változását nem ismerhetjük. Az azokat többé-kevésbé utánzó, nagyméretű próbatesteken, ill. próbaserkezeteken végzett kísérletek igen bonyolultak és költségesek, ezért nem terjedhettek el. Létjogosultsága csak az olyan módszereknek lehet, melyek egyrészt gyorsan és olcsón adnak összehasonlítási lehetőséget a szerkezet viselkedésével, másrészt nagymultuak, azaz sok korábbi hasonló vizsgálat tapasztalataira épülnek.

Számos módszert vezettek be és javasolnak napjainkban is. Az előzőekben leírt követelményeknek mindezekig a bemetszett próbatesten végzett dinamikus ütve-hajlító vizsgálat (és azon belül is az ISO V próbapálcá), tesz a legjobban eleget.

Az ISO V próbapálcán végrehajtott vizsgálat egyesíti ugyan magában mindhárom tényezőt (lásd a 2.2 pontot), ezek közül azonban csak a hőmérséklet az, amelyik a szerkezetben is hasonlóan alakulhat, a feszültségállapot és annak változása más. Ezért az ütőmunkavizsgálat a szerkezetre, vagy annak anyagára közvetlen mérőszámot nem ad, kizárólag arra alkalmas, hogy segítségével az acél szívós-rideg átmenetének hőmérsékletét (esetleg - kevésbé praktikus módon - feszültségállapotát, vagy a terhelés sebességének mértékét) kijelöljük. Az így kijelölt átmenet azonban csak a másik két tényező azonossága esetén azonos az acél szerkezetbeni rideg állapotba való átmenetének hőmérsékletével (ill. feszültségállapotával, vagy a terhelésváltozás sebességével). Mivel ez a gyakorlatban nem áll fenn, az így kijelölt átmeneti hőmérséklettel (vagy átmeneti feszültségállapottal, terhelési sebességgel) csak az acél ridegtörési érzékenységének egy olyan mérőszámát kapjuk, melyet korrelációs rendszerek segítségével felhasználhatunk a ridegtöréssel szembeni biztonság egy tényezőjeként.

A leírtakból egyértelműen következik, hogy helytelen az a nézet, mely szerint a szerkezet üzemi hőmérsékletén kell végrehajtani az ütő-hajlító vizsgálatot és az acéltól ezen a hőmérsékleten követelünk adott ütőmunka értéket. (Sajnos a NYEBSZ ma is ezen az alapon áll.) Bizonyítja ezt az is, hogy az ISO V próbatesszel végzett vizsgálatok magasabb hőmérsékleten, szívós állapotban éles bemetszés mellett nagyobb értékeket adnak, ugyanakkor az acél (azonos energiaszinthez tartozó) szívós-rideg átmenetét magasabb hőmérsékleten jelölik ki mint DVM próbatesszel történő vizsgálat esetén (lásd a 2.2.3 pontban a 7. ábrát).

Az ütő-hajlító vizsgálatok útján kijelölt átmeneti hőmérséklet meghatározható a próbatest alakváltozásának mértéke (keresztirányú expanzió), vagy a rideg töretfelület százaléka alapján is, de a gyakorlat az ütőmunka értékét választotta. Mivel ez folyáshatárfüggő, a folyáshatár szerint differenciált energiaszinteket kell megállapítani az acél ridegtörési érzékenységének meghatározása esetén. Az MSz 6280-65 még nem ezt az utat választotta (egységesen 3,5 mkp/cm² értéket írt elő), az MSz 6280-74 azonban már helyesen jár el, az MSz 4308-69 még pontosabban követi a folyáshatárt:

Névleges folyáshatár kp/mm ²	24	30	36
KV mkp/MSz 6280-74/	2,8	2,8	4,0
KV mkp/MSz 4308-69/	2,8	3,5	4,2

A fenti értékek a 10 x 10 mm keresztmetszetű próbatestekre érvényesek. Ha az átmeneti hőmérséklet meghatározásához csak vékonyabb anyag áll rendelkezésre az alábbi hőmérsékleti korrekcióval (Δ °C) kell élnünk:

Próbatest vastagság mm	10	7	5
TTKV 2,8 mkp °C	0	-13	-20

A korszerű acélszabványok - egy szilárdsági kategórián belül - az acélok minősítésének alapjául a szavatolt átmeneti hőmérsékletet választják. Az egyes minőségeket betűjellel (A, B, C, D, E) is ellátják. A hazai MSz 6280-74 ezen az alapon készült, B, C, D - és az 52-es kategóriában E-minőségű acélokat különböztet meg. Korszerűségét az is jelzi, hogy - szemben az MSz 6280-65-ös kiadásával - a minősítés alapjául Charpy V próbapálcát választ, és a folyáshatár függvényében különböző energiaszinteket szab meg (lásd a 2.6 pontot is).

4.3.3 Az acélkiválasztás korrelációs módszerrel

A szigorúan azonos vizsgálati feltételekkel meghatározott ridegtörési érzékenységi mérőszám, az átmeneti hőmérséklet alapján szerkezettípusonként olyan korrelációs rendszerek építhetők fel, melyek segítségével már következtethetünk az adott acél szerkezetbeni viselkedésére, ill. a rideg törés elkerülése érdekében e rendszerek segítségével kiválaszthatunk olyan - megfelelő átmeneti hőmérséklettel jellemzett - acéltípust, mely kellő alapot nyújt a ridegtörési biztonság eléréséhez. (A biztonság-hoz még a szerkezeti kialakítás, a hegesztéstechnológia elemének helyes megválasztása is szükséges! - lásd a 2.5 pontot is.)

A mérnöki szerkezetekre a ridegtöréssel szembeni biztonság elérésére többféle rendszert dolgoztak ki. Ezek közül a legelterjedtebb módszert - Blerett nyomán - alkalmazta az MSz 6441-72.

A hazai rendszer az alábbi tényezők alapján jelöli ki a megválasztandó acélminőséget (ill. írja elő az átmeneti hőmérsékletet):

- a feszültségállapot (a szerkezeti kialakítástól függően egy - 1,0; 1,4; 2,0 értékű - "K" "szerkezeti tényező"-vel);
- a szerkezeti elem tönkremenetelével járó kár jelentősége (- 0,5; 0,7; 1,0 értékű "S" jelentőségi tényező"-vel);
- az üzemi hőmérséklet;
- az anyagvastagság;
- az előzetes hidegalakítás (2,5-5%; és nagyobb mint 5%);
- a hegesztett, de külső terhelésből csak nyomott;
- hegesztés (belső feszültségek) nélküli szerkezet.

Megjegyezzük, hogy - mivel a mérnöki szerkezetek gyakorlatában a hőkezelés nem-igen fordul elő - a táblázatok csak hegesztett állapotra adnak acélminőségi előírást, feszültségmentesítettre nem. Amennyiben mégis feszültségmentesítésre kerülne sor, a hegesztés nélküli esetre előírt, jóval szerényebb követelményeket lehet alapul venni.

Külön rendszer van a 37, a 45 és az 52 kp/mm² névleges szilárdságu acélokra. A 45-ös és az 52-es acélok esetében alacsonyabb lemezvastagsághoz rendel adott acélminőséget, mint a 37-es acéloknál. Ennek oka abban rejlik, hogy e szabvány az MSz 6280-65-on alapul, ahol - mint már említettük - az azonos acélminőségekre a különféle szilárdsági kategóriákban azonos ütőmunkát szabtak meg - helytelenül. Az új MSz 6280-74 megjelenésével ezek a táblázatok is átdolgozásra szorulnak.

Kifogásoljuk azt is, hogy az MSz 6441-72 szabvány szigorított az eredeti rendszer üzemi hőmérsékletre vonatkozó előírásain: nevezetesen ugyanolyan anyagminőségeket írt elő - a hazai éghajlati viszonyokat alapulvéve - +20°C, 0°C és -20°C hőmérséklettartományokra, mint az eredeti a +15°C, -10°C, -30°C, -30°C alatti tartományokra - az egyéb feltételek változatlanul hagyása mellett. Ezért - lehetőség esetén - -20°C alatti üzemi hőmérsékletre történő tervezésnél célszerűbb az eredeti DIN korrelációs rendszert alapul venni.

Az 57. ábra az MSz 6441-72 37-es, a 58. ábra az 52-es, míg a 59 ábra az NSZK előírásait mutatja be.

K-S HEGESZTETT HÚZOTT			ANYAGVASTAGSÁG, s, mm										
-20°C	0°C	20°C	8	12	16	20	25	30	35	40	45	50	
20													37D
14	20							37C					
10	14	20				37B							
07	10	14	A 38				A 38B						
05	07	10	A 38X				A 38U						
HEGESZTETT NYOMOTT			37X										
NEM HEGESZTETT -20°C													
HIDEG ALAKÍTÁS	2,5 ~ 5%		s.	4	8	12	16	20	25	30	35	40	
	5% ~		mm.	4	6	8	10	12	16	20	25		

57. ábra

Táblázat a 37-es szilárdságu acélok kiválasztásához (MSz 6441-72 szerint)

H-S HEGESZTETT HÚZOTT			ANYAGVASTAGSÁG, s , mm						
-20 °C	0 °C	20 °C	8	12	16	20	25	30	35
2,0									
1,4	2,0							52 D	
1,0	1,4	4,0							
0,7	1,0	1,4			52 C				
0,5	0,7	1,0							
HEGESZTETT NYOMOTT									
NEM HEGESZTETT -20 °C									
HIDES ALAKÍTÁS	2,5~5 %		8	4	8	12	16	20	25
	5% <		mm		4	6	8	10	12

58. ábra

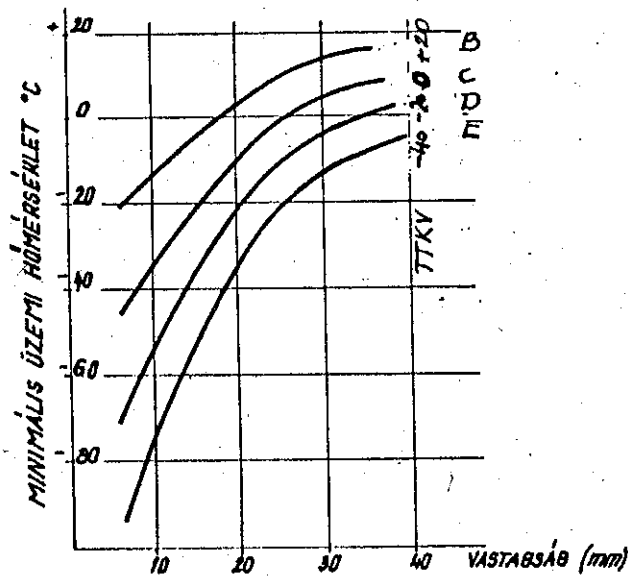
Táblázat az 52-es szilárdságú acélok kiválasztásához (MSz 6441-72 szerint)

HÚZÓIGÉNYBEVÉTEL	HŐMÉRSÉKLETI TARTOMÁNY				LEMEZVASTAGSÁG											FOKOZAT		
	1	2	3	4														
	LEBALACSONYABB ÜZEMI HŐMÉRSÉKLETEN																	
	$\geq 15^{\circ}\text{C}$	-10°C	-30°C	$\leq -30^{\circ}\text{C}$														
H-S-(A)				2,0											I.			
				2,0	1,4	1 R								3 RR	II.			
		2,0	1,4	1,0											III.			
	4,0	1,4	1,0	0,7				2 R							IV.			
	1,4	1,0	0,7	0,5	1 U		2 U								V.			
	0,5	0,7	0,5												VI.			
HÚZÓIGÉNYBEVÉTEL ÉS HIDEG-ALAKÍTÁS		MÉRSEKELT HIDEG-ALAKÍTÁS																
		ERŐSEBB HIDEG-ALAKÍTÁS																
		$R_{\perp} \geq 19$; $\sigma \leq 2,5\%$																
		$R_{\perp} \geq 10$; $\sigma \leq 5\%$																
NYOMÓIGÉNYBEVÉTEL					15	20	30	40	50	60 mm								
					1 U		1 vagy 2 U		2 R		3 RR							

59. ábra

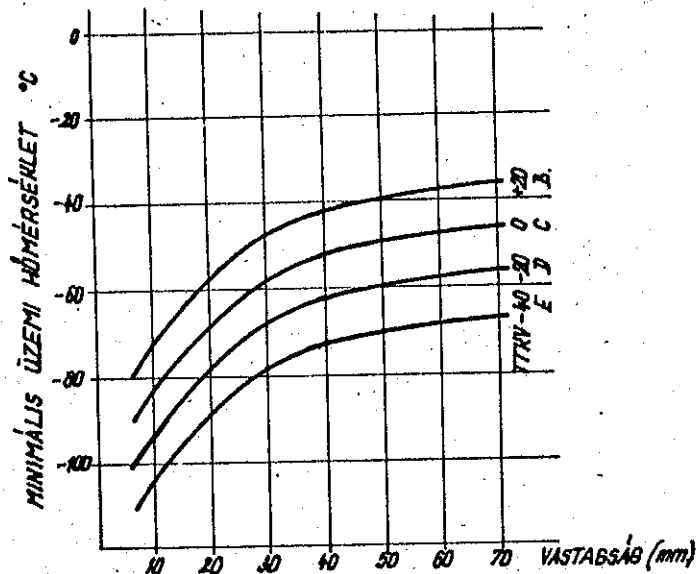
Acélkiválasztás táblázata az NSZK előírásai (Blerett professzor) szerint

A nyomástartó szerkezetek korszerű acélmegválasztására, ezidáig nem készült szabvány. A Vasipari Kutató Intézet munkatársai – a külföldi irodalom és gyakorlati tapasztalatok feldolgozása, valamint saját kutatási eredmények alapján – korszerű korrelációs rendszert dolgoztak ki. Ez a falvastagság és az üzemi hőmérséklet függvényében írja elő az átmeneti hőmérséklet szerinti acélmínőségi fokozatot – külön a hegesztett (60. ábra) és külön a hőkezelt (61. ábra) állapotra. Figyelemre méltó, hogy – egybehangzóan a külföldi adatokkal – hegesztett állapotra kb. 50°C -al alacsonyabb átmeneti hőmérsékletű acélt ír elő (adott üzemi hőmérséklet és falvastagság esetén) mint feszültségmentesített állapotra.



60. ábra

Acélmegválasztás nyomástartó edényekhez az üzemi hőmérséklet és a falvastagság függvényében hegesztett állapot esetére



61. ábra

Acélmegválasztás nyomástartó edényekhez az üzemi hőmérséklet és a falvastagság függvényében hőkezelt állapot esetére

További (pl. jármű-) acélszerkezetekre ridegtörési érzékenységen alapuló korrelációs rendszereket, ill. acélkiválasztási előírásokat ezidáig nem dolgoztak ki. Ennek oka elsősorban az, hogy ridegtörés előfordulásának két fő területe a nyomástartó berendezések és a mérnöki szerkezetek, főként hidak, azaz a nagyméretű, nagy energiatartalommal (belső feszültségek + külső terhelés) rendelkező szerkezetek.

4.4 A ridegtörés elkerülésével kapcsolatos tervezői és kivitelezői feladatok

Az eddigiekben - e fejezeten kívül is - több helyen részletesen tárgyaltuk már a ridegtörés elkerülésének módjait. Szó lesz erről még a következőkben is. Ezért e helyen csak röviden foglaljuk össze a tervezői és kivitelezői tennivalókat.

Tervezés során betartandó főbb szempontok a következők.

Szakszerűen kell kialakítani a szerkezetet. Ezen egyrészt azt értjük, hogy kerülni kell a bonyolult, feszültséggyűjtő helyeket tartalmazó megoldásokat, valamint a vastag lemezek alkalmazását; a minimális varratméretekre kell törekedni és a megfelelő kötéstípusokat kell kiválasztani, biztosítani kell a megkívánt minőség kivitelezhetőségét. A választott szerkezeti megoldás és az üzemi körülmények alapján megfelelő acéltípust kell kiválasztani és szükség esetén feszültségmentesítő hőkezelést kell előírni.

Körülméköntően kell a hegesztett kötések előírt minőségét meghatározni.

A kivitelezés főbb feladatai a következők.

A hegesztéstechnológia minden tényezőjének előírása szakszerű legyen. Ezen elsősorban a hegesztőeljárás és a hegesztőanyag - az alapanyagokhoz illő (magasabb folyáshatár, elegendő képlékenység, szívósság a varratban) - megválasztása és a hegesztési munkarend egyes elemeinek (előmelegítés !) gondos meghatározása és végrehajtása. Mindenképpen törekedni kell a meg nem engedett edződés ill. a repedések teljes kizárására (nemcsak a varratok hőhatásövezetében, hanem egyéb helyeken - pl. ideiglenes emelő-húzó fűlek felhegesztése, varraton kívüli lvhúzás, stb. - is).

Gondosan és szakszerűen kell végrehajtani a hegesztett kötések ellenőrzését és a hibák kijavítását.

Mindezek természetesen, egyaránt vonatkoznak gyári és helyszíni munkára.

5./ Hegesztési zsugorodások, feszültségek és alakváltozások

A szegecselt szerkezetekről a hegesztettekre történő áttérés okozta problémák közül kiemelkednek a hegesztési hőfolyamattal járók. Ezek közül az egyiket: a hőhatásövezet szövetszerkezeti változásait az előzőekben tárgyaltuk. A másik a hő okozta alakváltozásokból fakad.

A hegesztési hő zsugorodásokat, alakváltozásokat és ezek - csaknem minden esetben fennálló - gátolt volta esetén, ún. "belső" ("saját", "hegesztési") feszültségeket hív létre. Ezeknek a szerkezet funkcióképességére, állékonyságára gyakorolt negatív hatását a tervező és kivitelező szakemberek együttes, szakszerű munkával kell kikü-

szöböljék. A következőkben röviden áttekintjük az idevágó legfontosabb tudnivalókat.

5.1 Hő hatására az acélban keletkező térfogatváltozások és feszültségek

Az acél térfogata a hőmérséklet változásával arányosan változik. Növekedésével tágul, csökkenésével zsugorodik. A lineáris változás mértéke a

$$\Delta l = l_0 \cdot \alpha \cdot \Delta t \text{ (mm)}$$

képlettel számítható. Ebben

Δl - a hosszváltozás (mm)

l - az eredeti hossz (mm)

α - az acélra érvényes hőtágulási együttható (0,012 mm/m °C)

Az acél térfogatváltozása csak akkor megy végbe a fenti képlet szerint, ha szabadon lejátszódhat. A hegesztett szerkezeteknél azonban ez a legritkább esetben fordul elő. Az itt szóba jöhető változatokat - az egyszerű rud példáján - a következő három alapesetre lehet visszavezetni.

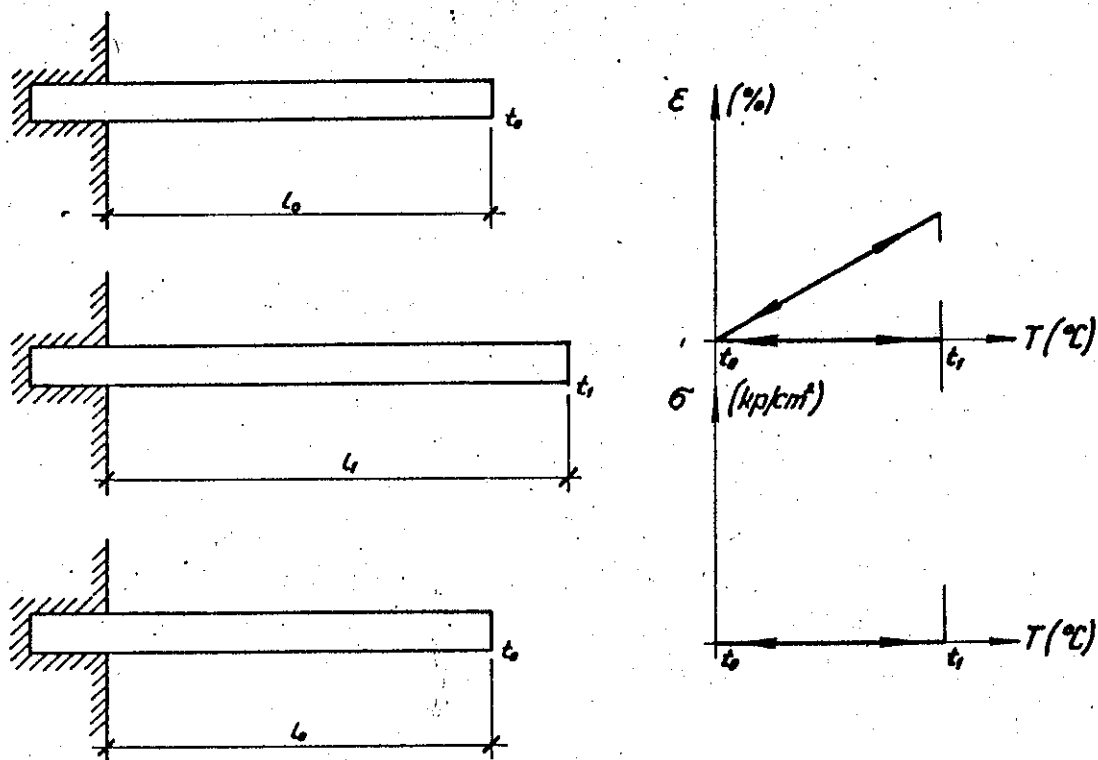
A szabad tágulás és zsugorodás esete forog fenn, ha a rud csak az egyik végén befogott (62. ábra). Itt a t_0 hőmérsékletéről t_1 hőmérsékletre történő hevítéskor a rud megnövekedett hossza:

$$l_1 = l_0 [1 + \alpha(t_1 - t_0)]$$

lesz. Ha a rud hőmérséklete az eredeti t_0 hőmérsékletre csökken, hossza is vissza-
zsugorodik az l_0 méretre. Miután az alakváltozási folyamatok szabadon lejátszódhat-
nak, végeredményként a rud nem szenved maradó alakváltozást és a folyamat feszült-
ségmentesen zajlik le (ahogyan ezt a 62. ábra grafikonjai is szemléltetik). Ilyen fel-
tételek mellett tehát a rudban sem alakváltozás, sem feszültség nem marad:

$$\varepsilon_m = 0$$

$$\sigma_m = 0$$



62. ábra

A hevített acélrud alakváltozása és belső feszültsége a szabad tágulás és zsugorodás esetében

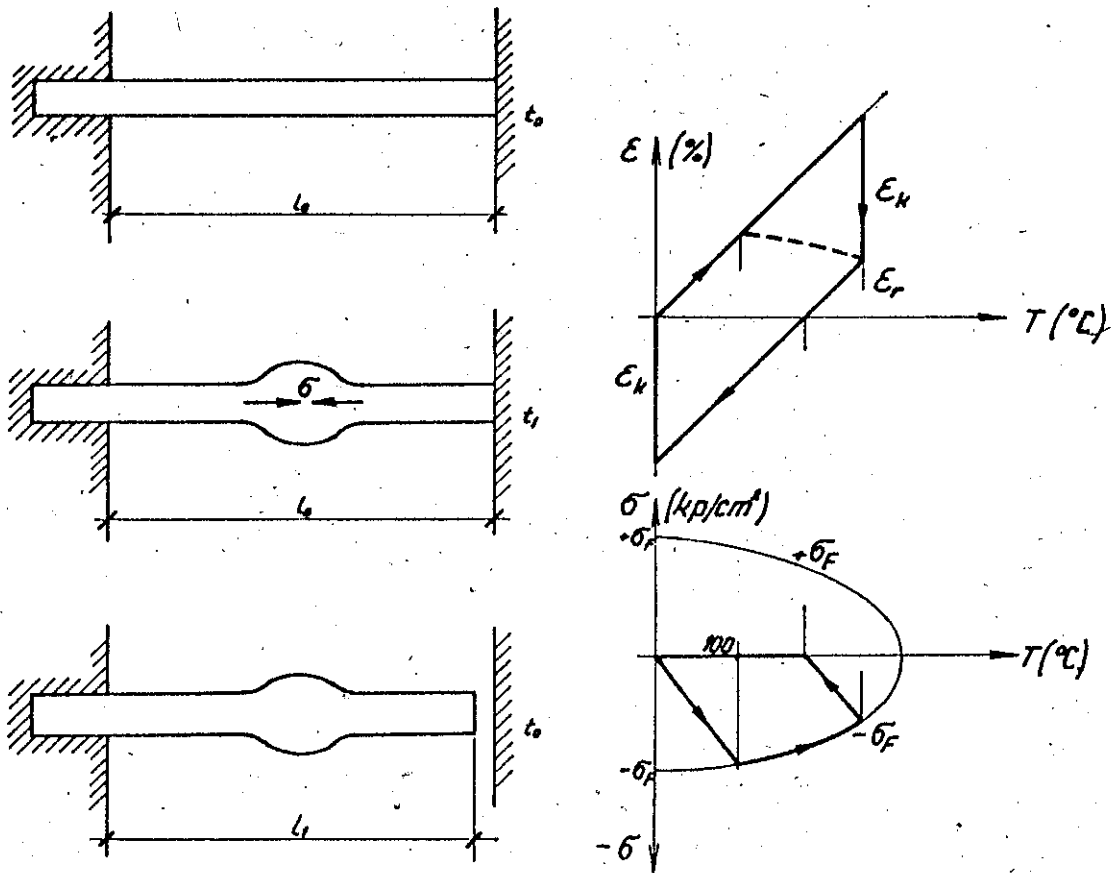
Gátolt tágulás, szabad zsugorodás játszódik le az egyik végén befogott, másik végén megtámasztott rud esetében. Ekkor a hőmérséklet növekedésével a rud először rugalmasan tágul, míg a benne levő feszültség a folyáshatárt eléri (63. ábra). Ennek hőmérsékletét a következőképpen számíthatjuk:

$$\Delta l = l_0 \cdot \alpha (t_1 - t_0)$$

$$\varepsilon = \frac{\sigma}{E} \quad (\text{A Hooke törvény alapján})$$

$$\varepsilon = \frac{\Delta l}{l_0} = \frac{l_0 \cdot \alpha (t_1 - t_0)}{l_0} = \alpha (t_1 - t_0)$$

$$t_1 - t_0 = \frac{\sigma}{E} = \frac{24}{21 \cdot 10^3 \cdot 1,2 \cdot 10^{-5}} \sim 100^\circ \text{C}$$



63. ábra

A hevített acélrud alakváltozásai és belső feszültségei gátolt tágulás és szabad zsugorodás esetében

Tehát a 24 kp/mm^2 folyáshatáru acélok kb. 100°C hőmérsékletig (a 36 kp/mm^2 folyáshatáruak kb. 150°C -ig) rugalmasan, felette képlékenyen alakváltoznak. Azaz, jelen esetben a rud a hőmérséklet növekedésével arányosan zömül, mindaddig, amíg a t_1 hőmérsékletet elérte. Hűtésekor a képlékeny alakváltozás (zömülés) már nem változik, a rud a rugalmas alakváltozásnak megfelelő mértékben rövidül meg.

Hevítéskor a feszültség lineárisan nő, kb. 100°C -nál eléri a folyáshatárt. Ez - és vele együtt a rudban levő feszültség - a hőmérséklet növekedésével (a folyáshatár hőmérséklet görbe mentén) folyamatosan csökken. Hűtésekor a zsugorodás növekedésével arányosan csökken a feszültség. Értéke abban a pillanatban éri el a zérust, amikor a rugalmas alakváltozás megszűnt (az alakváltozást jelző egyenes is metszi a hőmérséklet tengelyét). A 63. ábra alakváltozás és feszültség diagramjai grafikusán ábrázolják az elmondottakat. Ebben az esetben tehát a rudban megmarad a képlékeny alakváltozás (zömülés), de nem marad feszültség:

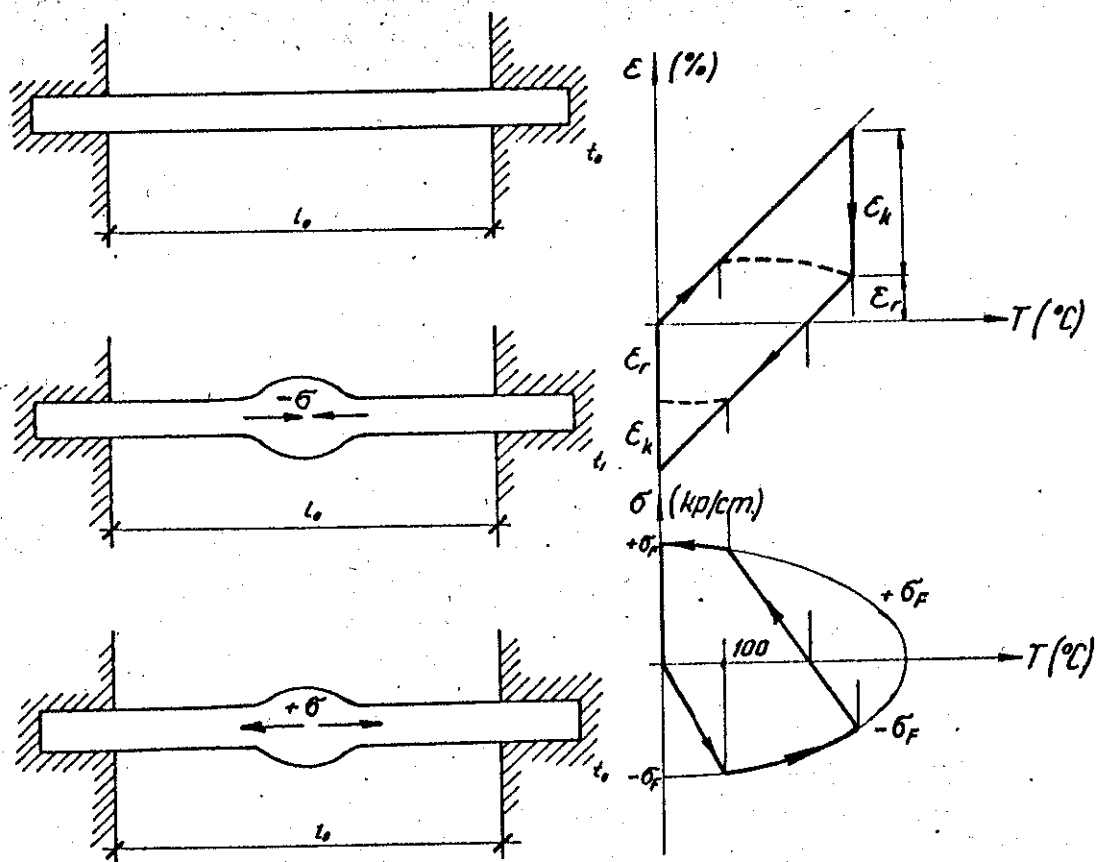
$$\varepsilon_m = \varepsilon_k$$

$$\zeta_m = 0$$

A mindkét végén befogott ruddal a gátolt tágulás és gátolt zsugorodás esetét szemléljük (64. ábra). A hőmérséklet növelésével járó jelenségek az egyik végén megtámasztott rudnál leirtakkal azonosan mennek végbe. A hőmérséklet csökkentésekor azonban rövidülés nem jöhet létre, ezért a rud előbb (rugalmasan, majd képlékenyen) megnyúlik. Így benne - a hevítéskor keletkezett - zömölésen kívül - a hűtéskor - rugalmas és képlékeny nyulás is marad. A hevítéskor keletkezett nyomófeszültség hűtéskor pedig - amikor a rugalmas összenyomódás megszűnt - húzófeszültségbe megy át. Nagysága eléri a folyáshatárt és a hőmérséklet folyáshatár görbe mentén növekszik a 64. ábrán szemléltetett módon. Ez esetben tehát a rudban rugalmas és képlékeny alakváltozás, továbbá (folyáshatár nagyságú) húzófeszültség marad:

$$\varepsilon_m = \varepsilon_r + \varepsilon_k$$

$$\zeta_m = \zeta_F$$



64. ábra

A hevített acélrud alakváltozása és belső feszültségei gátolt tágulás és gátolt zsugorodás esetében

A hegesztéskor bevitt hő általában csak a varratmentli keskeny zónára korlátozódik. A szerkezet többi részei tehát többnyire hidegek maradnak, így a 100°C fölé hevített övezet gátoltan tágul, gátoltan zsugorodik, benne rugalmas és képlékeny alakváltozások és feszültségek maradnak.

5.2 Hegesztési zsugorodások és alakváltozások

A hegesztési hőfolyamat során - az előzőekben leírtak alapján - bekövetkező zsugorodások, az ún. "hegesztési zsugorodások", két részből tevődnek össze. A zsugorodások egyik fele abból adódik, hogy a varratvályut folyékony állapotú hozaganyaggal töltjük ki, melynek hűlés során csökken a térfogata.

A zsugorodások másik és általában nagyobbik felét az okozza, hogy a hegesztési hő hatására az alapanyag kitér és ezzel csökken a kitértendő varratvályu keresztmetszete, illetve - ha az illesztési hézag nem elég nagy - az alapanyag zömítődik. Az ebből eredő zsugorodások, különösen nagyobb varrathézagok (pl. alátétlemezes varrat) és nagyobb fajlagos hőbevitel (pl. gázhegesztés) esetén dominálnak.

A hegesztéskor lejátszódó zsugorodások és ezek folytán a szerkezetben keletkező alakváltozások mértéke több tényezőtől függ. Jelentős befolyást gyakorolnak:

- a varrat és az összehegesztendő szelvények alapanyagterületének viszonya

$$\left(\frac{F_V}{F_A} \right)$$

- a varratok elrendezése, az egész szelvény kialakítása (két tengelyre szimmetrikus a legkedvezőbb)

- a varrat-alak (pl. az X-varratalak kedvezőbb, mint a V; a sarokvarrat kedvezőbb, mint a K)

- a hegesztéstechnológia elemei (eljárás, paraméterek, sorrend, előmelegítés stb.)

A gyakorlatban annál nagyobbak a zsugorodások és alakváltozások, minél szélesebb zóna hevült fel, azaz minél nagyobb szerkezeti rész zömült és zsugorodik hűléskor. Ezért itt jelentős szerep jut a fajlagos hőbevételnek és ezen belül is a hegesztési sebességnek (pl. ilyen szempontból a CO₂ eljárás, vagy a szakaszokban történő, ún. "hideg-hegesztés" kedvező).

A hegesztési zsugorodások és alakváltozások mértékének meghatározására különböző számítási módszereket dolgoztak ki. Ezek általános jellemzője azonban az, hogy igen sok feltételt kell figyelembe venni. Így egyrészt ezek bármelyikének megváltozása jelentősen befolyásolja a végeredményt, másrészt a számítási művelet igen bonyolult.

A gyakorlatban általában tapasztalati adatok, bonyolultabb esetben előzetes kísérletek, mérések alapján határozzák meg a várható zsugorodások, alakváltozások mértékét, melyet aztán a technológia készítésekor zsugorodási ráhagyások, előtörések, előfeszítések stb. formájában - vesznek figyelembe.

Az üzemi technológus háromféle zsugorodást különböztet meg:

- hossz-zsugorodást,

- keresztzsugorodást és
- szögzsugorodást.

A következőkben ezeket, illetőleg a velük kapcsolatos alakváltozásokat tekintjük át.

5.2.1 Hossz-zsugorodás

Hossz-zsugorodáson a varrat tengelyében, hosszirányban létrejövő méretcsökkenést értjük. Mértéke - az előzőekben felsorolt tényezőktől függően - $0,2 \dots 2,0$ mm/m, leggyakrabban $0,5 \dots 1,0$ mm/m.

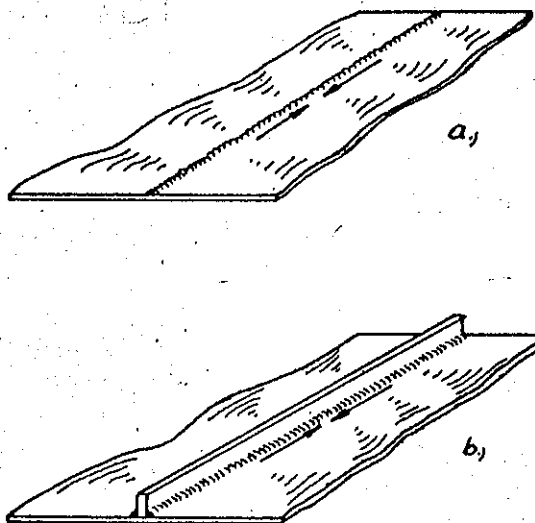
A hossz-zsugorodások - a tompa- és a sarokvarratok esetében közel azonos módon - kétféle alakváltozást hoznak létre:

a nagyobb lemezfelületeken hullámosodást, illetve horpadást okoznak;

a kisebb szélességű lemezeken görbültséget ("kardosodást"), illetve vetemedést hoznak létre.

Hullámosodik a lemez, ha a varratok mind egyirányban futnak, pl. ha két szélesebb lemezt tompán összehegesztünk (65/a. ábra). Ez azonban csak akkor válik egyengetésre szoruló mértékűre, ha a varrat hosszú ($0,5 \dots 2,0$ m varrathossz felett) és a lemezvastagság $20 \dots 30$ mm alatt van.

Hasonlóan hullámosodást okozhatnak a sarokvarratok is a kellően ki nem merevített széles lemezfelületen (pl. a 65/b. ábra esetében).

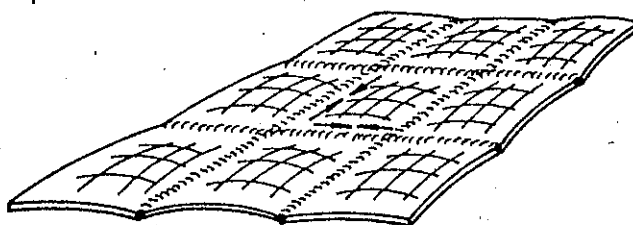


65/ ábra

Hullámosodás hosszzsugorodás hatására ("a": tompavarrat; "b": sarokvarrat esetén)

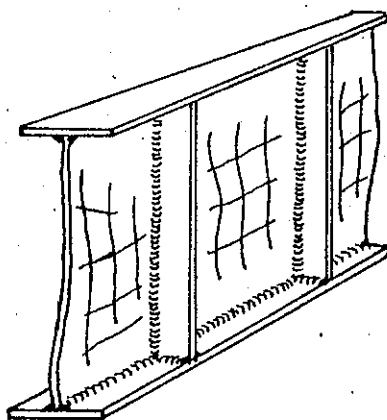
A hullámosodás mértékének megállapítására általánosan alkalmazható szabályok nincsenek. A hullámosodás néhány mm-től több dm-ig terjedő ívmagasságu lehet a lemez- és a varratméretekől, valamint a hegesztő eljárástól függően. Az így okozott egyengetési munka csak akkor kerülhető el, ha a lemezeket kétirányu bordázással megfelelő sűrűségben merevítjük.

A horpadás a lemez kétirányu hegesztésekor kialakuló hossz-zsugorodások következménye, tompavarratokkal pl. a 66. ábrán, sarokvarratokkal pl. a 67. ábrán látható módon. Ha a bordázás megfelelő sűrűségű és a varratméretek sem túlzottak (a bordákat lehetőleg szakaszos varrattal kössük a lemezhez!) a horpadás mértéke nem szokta meghaladni az általában elfogadott 3‰-et (1 m hosszú vonalzó alatt max. 3 mm hégzag lehet). Ellenkező esetben az igen hosszadalmas és költséges autogénes pontmelegítés segít.



66. ábra

Lemezek hullámosodása kétirányu tompavarratok hatására

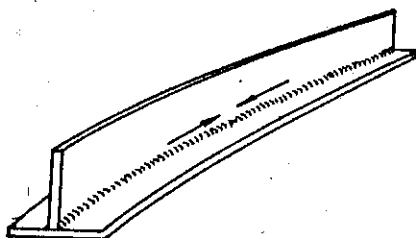


67. ábra

Gerinclemez horpadása kétirányban futó varratok keltette hossz-zsugorodás hatására

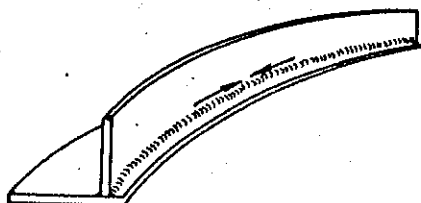
Görbültség keletkezik a hossz-zsugorodás hatásaként, ha a varrat és a szelvény elrendezése nem kéttengelyre szimmetrikus (pl. a hegesztett I- és szekrényes szelvényeken), vagy ha a tartónak a szükséges irányban nem elegendően nagy az inerciája (pl. a T-szelvényeké kb. 1 m gerínmagasság felett).

Ha a szelvény csak egy tengelyre szimmetrikus (pl. az alacsonygerincű T-tartók), akkor egy irányban (68. ábra), ha egy szimmetriatengelye sincs (pl. az L-szelvény), akkor két irányban görbül (69. ábra).



68. ábra

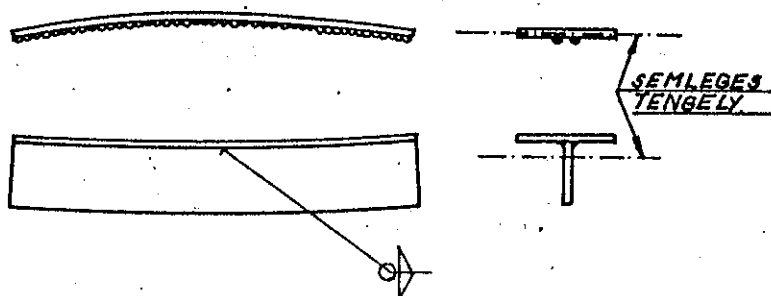
T-szelvény kardosodása a hossz-zsugorodás hatására (függőleges síkban).



69. ábra

L-szelvény görbülése a hossz-zsugorodás hatására (a függőleges és a vízszintes síkban)

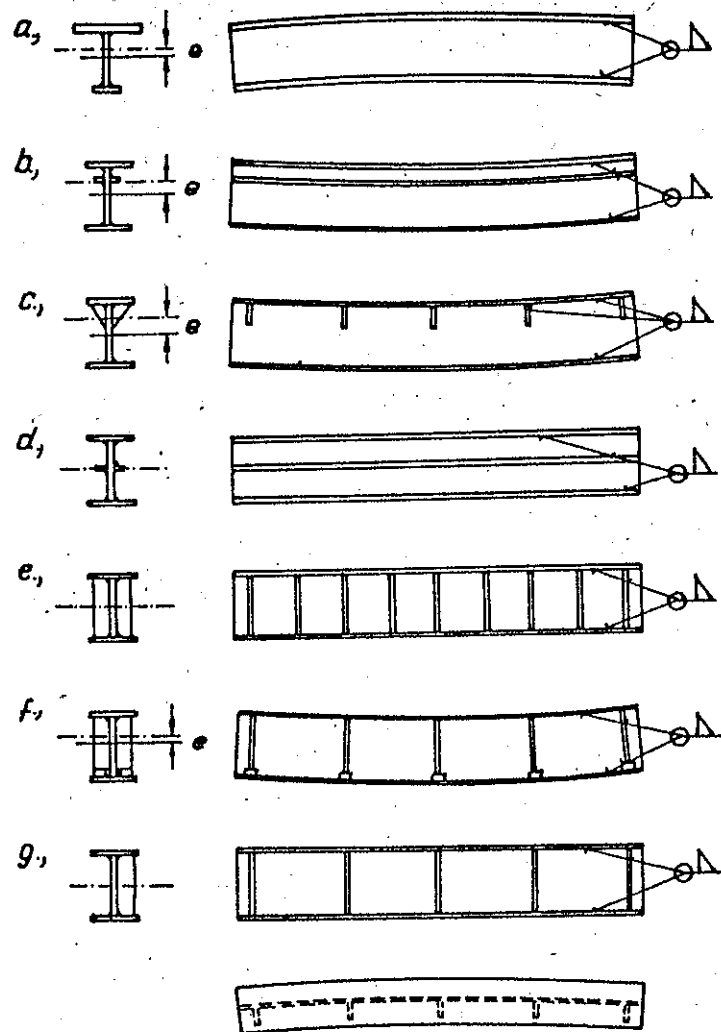
A görbültség mindig úgy keletkezik, hogy a varrat felől a semleges tengely felé nézve lesz homorú a tartó. Ha több elem kerül összehegesztésre, akkor a közös semleges tengely helyzete a mérvadó. Ha pl. egy övlemezre két varrathernyót húzunk, ellenkező irányban görbül, mint amikor a varrathernyókkal a nagyobb inerciájú gerincet kötjük be (70. ábra).



70. ábra

A kardosodás iránya a varrat és a semleges tengely kölcsönös helyzetétől függ

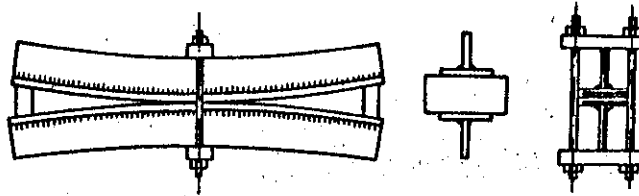
A görbültség annál nagyobb, minél távolabb van a varrat a semleges tengelytől; ha tehát olyan I-szelvényt hegesztünk, amelynek egyik övlemeze jelentősen erősebb a másikonál, a nyakvarratok kardosodást okoznak (71/a. ábra). Hasonló a helyzet, ha a merevítőbordákat hegesztünk fel az egyik oldalra: a vízszintes, illetve a függőleges bordák csak az elhúzóerő mértékében adnak különbséget, a varratmennyiségtől függően (71/b. és 71/c. ábra). Ha a varratok a semleges tengelyhez szimmetrikusan helyezkednek el, a szelvény nem görbül el (71/d. és 71/e. ábra). Szimmetrikus szelvényen az aszimmetrikus varratelrendezés természetesen szintén kardosodást okoz (71/f. ábra). Hasonlóan meggörbül a tartó (és a borda is), ha csak az egyik oldalon bordázott (71/g. ábra).



71. ábra

Görbültség keletkezése különféle szelvényeken

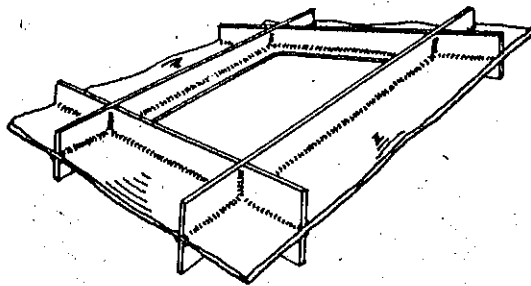
A kardosodás megelőzésére jól bevált gyakorlati módszer a rugalmas előfeszítés (pl. T-szelvényeken a 72. ábra szerint).



72. ábra

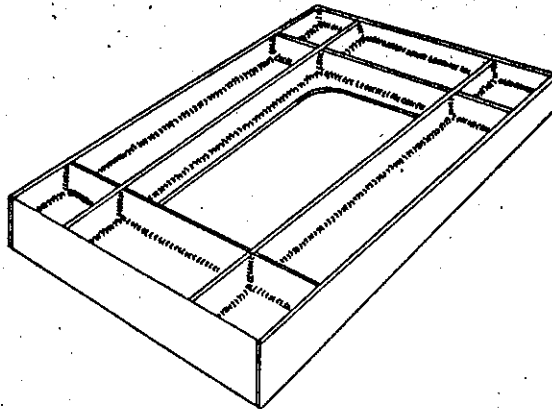
Rugalmas előfeszítés a kardosodás megelőzésére

A vetemedés szintén a hossz-zsugorodás következményeként létrejövő alakváltozás. Hasonló a hullámosodás jelenségéhez: a hőhatást nem kapott, tehát nem rövidült lemezeknek hosszabb utat kell elfoglalniuk, mint a varrat mentén zsugorítottaknak. Példaként bemutatunk egy gyakran előforduló esetet a bordákkal merevített un. diafragmát (73. ábra). Egyengetését a lemezszélek lángmelegítésével (tehát a varrattal ellentétes oldal zsugorításával) végezzük. A vetemedés mértékét csökkenthetjük, ha a hegesztés alatt a lemezt merev szerkezethez lefoglaljuk. Nem keletkezik ilyen vetemedés, ha a lemezek külső szélén is készítünk varratokat, azaz az egyes lemezsíkokon is szimmetrikusan zsugorítunk (74. ábra).



73. ábra

Bordázott lemez vetemedése a hossz-zsugorodás hatására



74. ábra

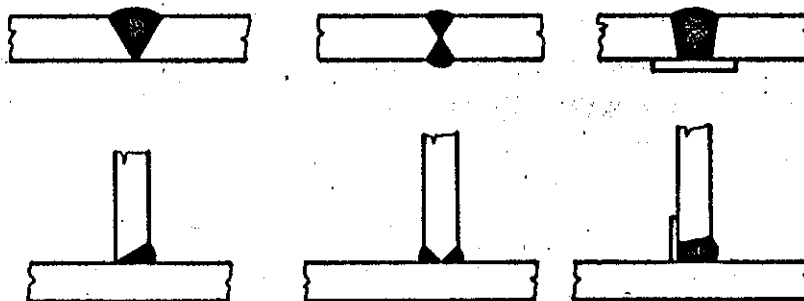
Megfelelően elrendezett bordázással a lemez vetemedése elkerülhető

Itt említjük meg a csavarodást, amely akkor fordul elő - különféle zsugorodások összegeződésének következtében -, ha a tartó hossza mentén váltakozó a varratok elrendezése. A gyakorlatban ez ritkán fordul elő; a csavarodás általában már a fűzés előtti (!!) összeállításból kerül a szerkezetbe. Főleg a zárt szelvények összeállítása-sakor kell gondosan ügyelni a csavarodás elkerülésére, mert utólag nem lehet kiegyengetni.

5.2.2 Kereszt-zsugorodás

Kereszt-zsugorodáson a varrat tengelyére merőleges elmozdulásokat értjük, amelyek következtében az összehegesztendő elemek közelebb kerülnek egymáshoz. Mértéke - több tényezőtől - de elsősorban az elemek közötti hézagtól függően 0,1 ... 5,0 mm lehet, általában 1 ... 2 mm.

Ha tompavarratokkal akár azonos síku lemezeket, akár egymásra merőleges lemezeket kötünk össze (75. ábra), fokozottan érvényesül az a korábban tett megállapítás, hogy a zsugorodás jelentősebb részét a lemezelek mozgása teszi ki. A hegesztési hő hatására ezek ugyanis tágulnak és ezáltal közelebb kerülnek egymáshoz. A hegfürdőnek tehát kisebb vályut kell kitölteni, lehűléskor a csökkenő térfogatu - a lemezszelekkel kohéziós kapcsolatot teremtett - fürdő még jobban igyekszik összehuzni a hő hatására amugyis közelebb került lemezeleket. Kézenfekvő, hogy a lemezeknek ez a mozgása annál nagyobb mértékű, minél nagyobb az élek közötti hézag. Alátétlemezen 10 mm hézaggal készített varratok esetén a keresztirányu zsugorodás az 5 mm-t is elér! Ha a lemezek között hézag nincs, főleg amikor az összeérő élek vastagsága, az un. "ormmagasság" olyan, hogy az a hegesztés során nem hevül át teljes vastagságban, keresztirányu zsugorodás nem tud létrejönni. Mindebből az is következik, hogy a keresztirányu zsugorodás az alapsorok hegesztése közben megy végbe, a fedősorok és a gyökoldali varrat szerepe e téren már jelentéktelen. További következtetés, hogy a lemezek vastagsága sem igen befolyásolja a keresztirányu zsugorodás mértékét. Pl. azonos illesztési hézaggal és élkialakítással hegesztett 30 mm vastag lemezen ez alig nagyobb, mint egy 10 mm vastagon. Hasonlóképpen a hegesztő eljárás,

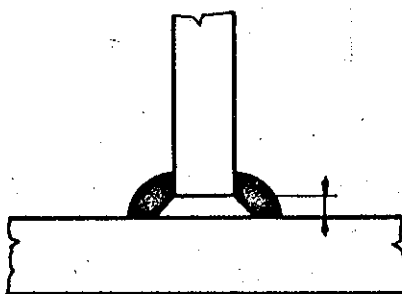


75. ábra

Tompavarratok azonos és merőleges síkú lemezek között

Illetve a varratsorok száma sem mértékadó ebből a szempontból.

Sarokvarratok hegesztésekor e jelenség hasonló módon játszódik le. Ha az összekapcsolásra kerülő elemek között illesztési hézag van (76. ábra), akkor általában azzal azonos mértékű keresztirányú zsugorodás keletkezik, ha hézag nincs – és az összekapcsolandó elemek olyan vastagok, hogy a varrat a teljes keresztmetszetet áthelyíteni nem tudja (3 ... 6 mm felett) –, akkor keresztirányú zsugorodás sem jön létre. Sarokvarratok készítésekor, többek között említett is, feltétlenül a hézagmentes illesztésre kell törekedni. Ha az elemek között hézag van, lehetővé kell tenni szabad mozgásukat, ellenkező esetben a varrat megrepedhet.



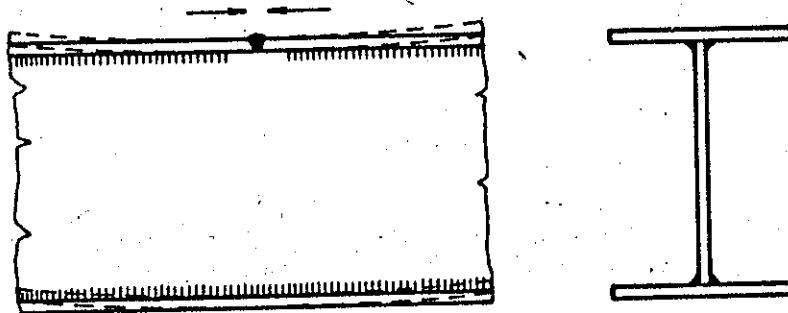
76. ábra

Hézaggal illesztett elemek keresztirányú zsugorodása sarokvarratok hatására

Azon tulmenően, hogy a sarokvarratok az általuk összekötött elemeket egymáshoz közelebb húzzák, az alapllemezen is kifejteneik zsugorító hatást, ha az alapllemez kellően átmelegszik a hegesztés hatására (kb. 12 mm vastagságig). Gyakorlati jelentősége ennek akkor van, ha sok ilyen varrat követi egymást egy elemen (pl. hosszú I-tartó sűrű függőleges bordázással), mert a zsugorodások összegeződéséből jelentékeny hossz-rövidülés adódik.

A kereszt-zsugorodások - a szerkezet bizonyos mértékű rövidülésén kívül - alakváltozásokat nem okoznak, ha az összehegesztendő elemek szabadon mozoghatnak és ez a mozgás nem hoz létre a szerkezet egyes részeiben kihajlásokat. Az ellenkező esetre két egyszerű, de a gyakorlatban sűrűn előforduló példát említünk.

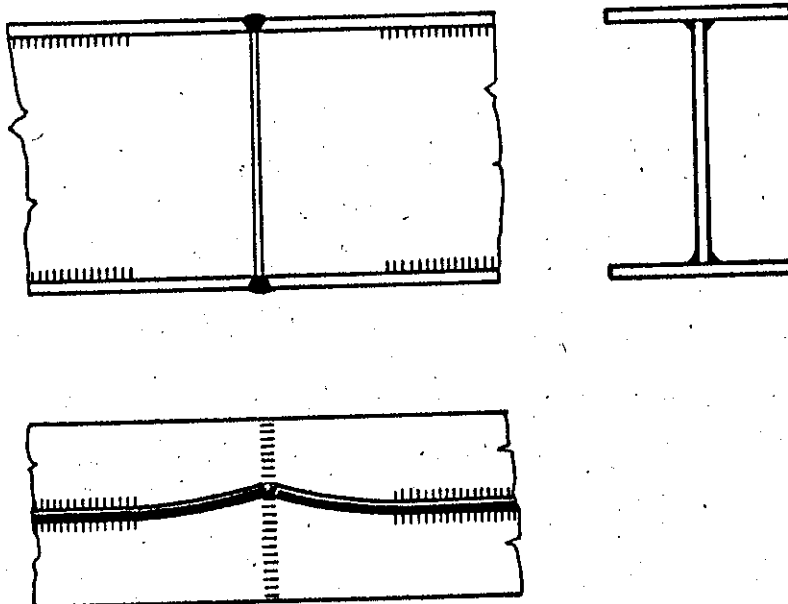
Hegesztett I-szelvény felső övlemezét hegesztéssel illesztjük. Az itt létrejövő keresztirányú zsugorodás a tartót meggörbíti (77. ábra).



77. ábra

Az egyoldali övlemezillesztés hatására keletkező görbültség

I-szelvény teljes keresztmetszetű tompaillesztésekor először az övlemezeket hegesztjük össze, mivel vastagabbak. Az itt készített varratok kereszt-zsugorodása következtében a gerincek kipuposodnak, ha közöttük nem volt elegendő (legalább 2 ... 5 mm) hézag (78. ábra).



78. ábra

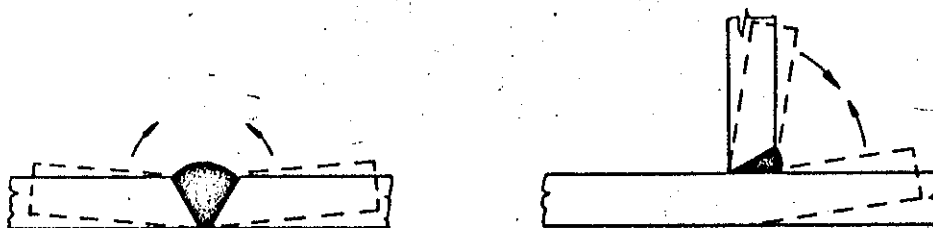
Az övlemez tompavarratának zsugorodása következtében kihajlanak a gerincek, ha a hézag nem volt közöttük elegendő

Ezen alakváltozások mértékére - az esetek különbözősége miatt - még tájékoztató értékeket sem lehet adni. Helyes hegesztéstechnológiával (pl. a 77. ábra szerinti esetben az övlemezeket előre összehegesztve szereljük fel a geríncre, a 78. ábra szerinti esetben pedig a gerínc között hézagot hagyunk) többnyire elkerülhetjük az ilyen alakváltozásokat.

5.2.3 Szögzsugorodás

Szögzsugorodáson a varrat egyenlőtlen keresztirányú zsugorodása miatt bekövetkező, az összehegesztett elemek közötti vagy az egyik elem síkján belüli szögelfordulást értjük. Mértéke - főként a varrat élkilakításától és méretétől, az alapanyag vastagságától függően - $0 \dots 10^\circ$ között lehet, általában $1 \dots 3^\circ$ -kal számolunk.

Tompavarratok lerakásakor a szögzsugorodás és a vele együtt létrejövő alakváltozás az összehegesztendő elemek síkjának elfordulásában jelentkezik (79. ábra). Mértéke elsősorban a lemez leélezésétől, illetve a varrat keresztmetszetétől függ. Minél nagyobb a leélezés szöge és minél vastagabb a lemez, annál nagyobb a szögzsugorodás.



79. ábra

Tompa- és sarokvarrat okozta szögzsugorodás

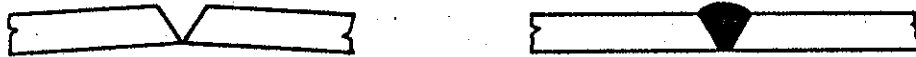
Magyarázata kézenfekvő: a változó keresztmetszetű varratban a keresztirányú zsugorodás a varratszélesség növekedésével együtt nő. Tehát, ha pl. egy V-varrat gyökének szélessége $3 \dots 4$ mm, akkor a kereszt-zsugorodás itt jóval kisebb lesz, mint a $10 \dots 20$ mm széles felső sorban, ez maga után vonja az összehegesztésre került lemezsíkok elfordulását.

A tompavarratok hegesztésekor előforduló szögzsugorodás kiküszöbölésére többféle módszert is alkalmazhatunk.

A legegyszerűbb, hogy ha a varrat keresztmetszetét szimmetrikusan alakítjuk ki, tehát V-varrat helyett I- vagy X-varratot, esetleg torz X-varratot választunk. (Ilyenkor ugyanis a gyököldal kifaragása után ezen az oldalon is a felső oldalival azonos mennyiségű heganyag kerül a keresztmetszetbe.)

Célravezető, de ez főképpen a nagyobb munkadarabok hegesztésekor költséges megoldás, ha a lemezt az egyes sorok elkészítése után megfordítjuk, amikor is a következő sorok az előzőek által okozott szögelfordulást kiegyenlítették (lásd a 19. ábrát).

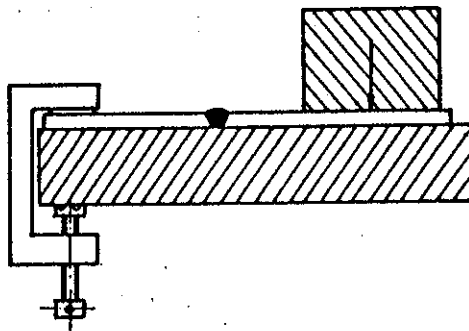
Igen egyszerű, a gyakorlatban több azonos alkatrész gyártásában jól bevált módszer, amikor a lemezeket bizonyos, az elhuzódással ellentétes értelmű és azonos nagyságú szögben állítjuk össze. Mire a varrat elkészül, az összehegesztett elemek azonos síkba kerülnek (80. ábra).



80. ábra

A lemezek szög alatti illesztése a hegesztés utáni azonos síkok biztosítása céljából

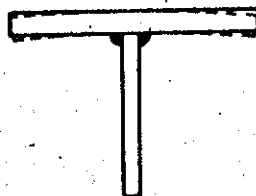
Költségesebb megoldás a lemezeknek merev asztalhoz való lefogása, esetleg leterhelése a szögzsugorodások okozta alakváltozás csökkentésére (81. ábra).



81. ábra

A szögelfordulás meggátlása az elemek lefogásával, vagy leterhelésével

Sarokvarratok hegesztésekor a szögzsugorodás alakváltozásként az átmenő alaplemez megtörését, a sarokvarrat mentén síkjából való eltérítését okozza (82. ábra). Egyirányban bordázott lemezen ezek a hatások összegeződnek, és az alaplemez íves alakot vesz fel (83/a. ábra), de ha keresztirányú merevítések ezt meggátolják, akkor közöttük jön létre az alakváltozás (83/b. ábra).



82. ábra

Szögelfordulás a sarokvarrat zsugorodásának hatására

a,



b,



c,

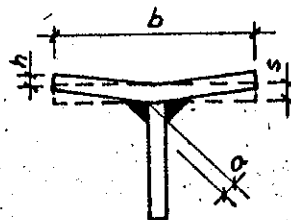


83. ábra

Alakváltozás sarokvarratok szögzsugorodásából

A gyakorlatban e területen legtöbbször előforduló jelenség az I-, illetve T-szelvények övlemezének nyakvarrat okozta betörése. Közelítő értékét a 84. ábra jelöléssel egyszerű gyakorlati képletből számíthatjuk ki:

$$h = \frac{ab}{30s} \text{ (mm)}$$

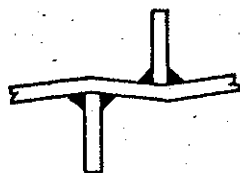


. 84. ábra

Övlemez előtörése

Ez a szögzsugorodás egyszerűbb esetekben (pl. épületeszlopokon) nem okoz gondot. Ha előírás, hogy az övlemez sík maradjon, az utólagos egyengetést elkerülhetjük, ha az övlemezt - az előző képletből számított mértékben - előtörjük vagy mereven megfogjuk, esetleg két tartót összeforgatva az övlemezeket összefogjuk.

Hasonlóan gyakran előfordul a bordázott síklemezeknek a szögzsugorodás okozta alakváltozása. Mivel itt - a lemez folytonossága következtében az előbbi példától eltérően - gátolt mozgásról van szó, a képlettel kiszámított értékeknél kisebbek lesznek a szögelfordulások, de gyakorlatilag nem küszöbölhetők ki. Egyedül az segít, ha - erre lehetőség van - kétoldali bordázást alkalmazunk. Ilyenkor a varratok egymás hatását kiegyenlítik és szögelfordulás nem következik be (83/c. ábra). Emlatt is helytelen az a régebben használatos megoldás, amely szerint a merevítőbordákat egymáshoz képest eltolták, hogy a sarokvarratoknál esetleg előforduló kétoldali szégyeltolvadások ne összegeződjenek. Ez esetben ugyanis a kétoldali bordázás ellenére is létrejön alakváltozás (85. ábra).



85. ábra

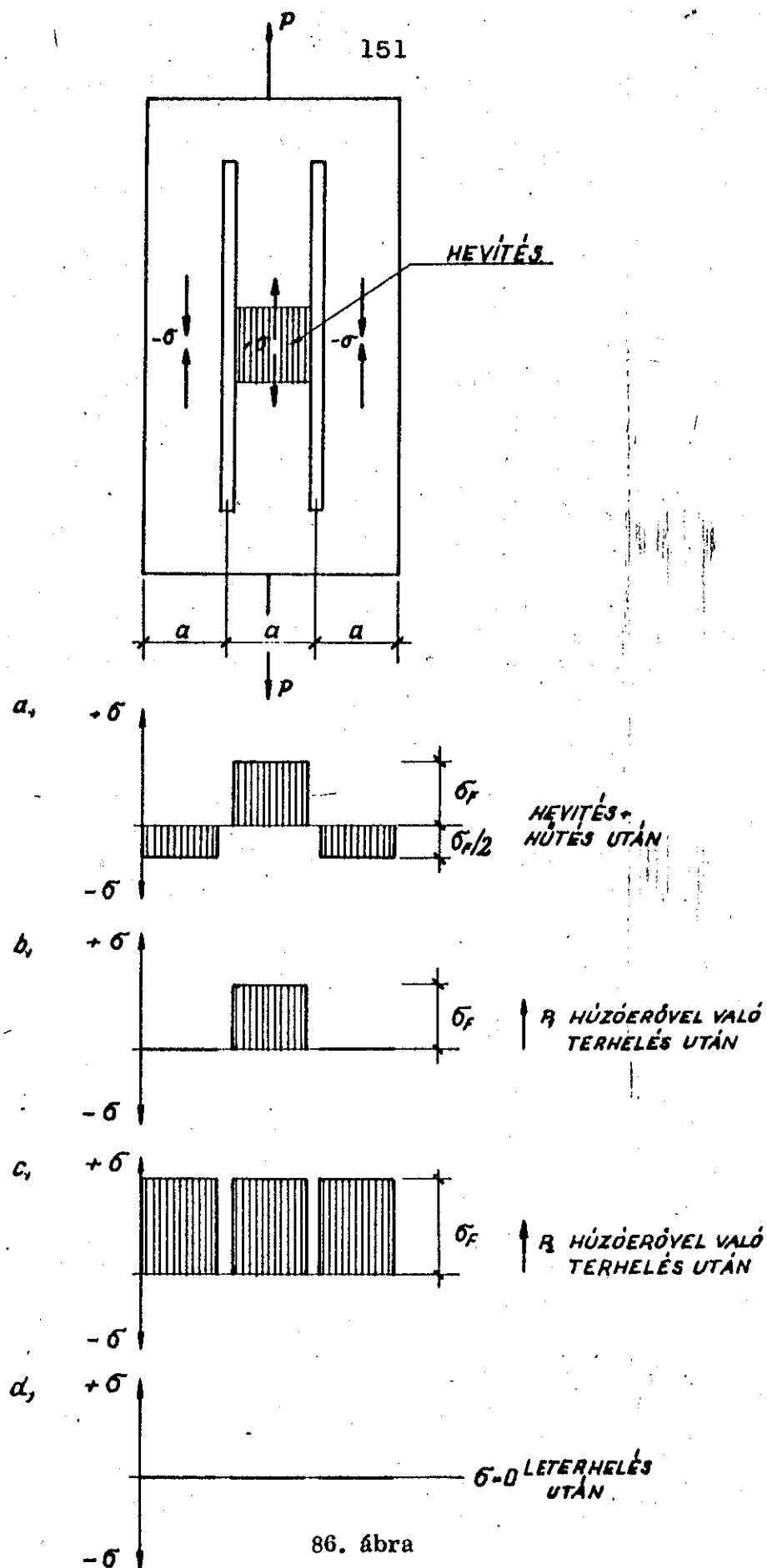
A gerinc alakváltozása eltolt bordaelrendezés esetén

Egyoldalt bordázott síklemezeken a szögzsugorodások hatása összegeződik a hossz-
zsugorodások hatásával. E kettő követelményeként a két irányban bordázott lemezek
paplanszerű alakváltozást szenvednek. Kényes esetekben ezt láng-ponthegesztéssel
kell kiegyenlítani.

5.3 A hegesztési feszültségek

Az 5.1 pontban rámutattunk arra, hogy a hegesztett szerkezetekben mindig maradnak
vissza - többnyire folyáshatár nagyságu - feszültségek. Joggal vethető fel a kérdés:
milyen hatást gyakorolnak ezek a szerkezet teherbírására, illetve töréssel szembeni
biztonságára?

Helyi megfolyások útján - főként a külső terhelések hatására - a feszültségek átren-
deződnek, esetleg - különösen váltakozó igénybevétel hatására, részlegesen vagy
teljesen - leépülnek. Ez utóbbi esetet egyszerűsített példán mutatjuk be (86. ábra).



86. ábra

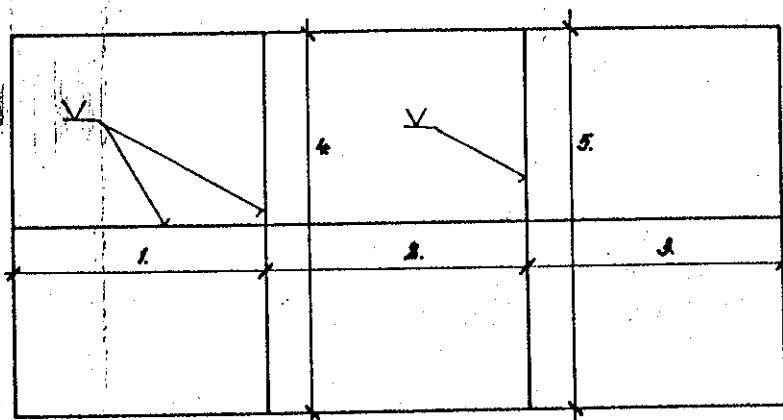
Belső feszültségek leépülése külső terhelés hatására

Három - azonos keresztmetszetű, végeiken mereven összefogott - rud közül a középsőt felhevítjük, Ez - mivel a szélsők a szabad alakváltozást gátolják - zömöl, hűtés-kor benne huzó-, a két szélsőben nyomófeszültség ébred. Ha ezután megfelelő nagyságu huzóerővel terheljük a rendszert, a szélső rudak nyomófeszültsége zérusra csökken, a középső rud pedig megfolyik, terhet nem vesz fel, benne a - folyáshatár nagyságu - feszültség nem változik. A huzóerő további növelésével olyan állapot hozható létre, melyben mindhárom rud azonos huzófeszültség alatt áll. Így leterheléskor mindhárom feszültségmentessé válik. Ezzel a hegesztést feszültségek teljesen leépültek.

Az előzőekben vázolt - elméleti - eset a gyakorlatban ritkán fordul elő. Ezért tervezésekor ügyelni kell a helyes szerkezetalakításra (lásd a 9. fejezetet), kivitelkor pedig - megfelelő hegesztéstechnológia megválasztásával - arra, hogy a hegesztést feszültségeket minimumon tartsuk, ill. azok semmiképpen se érjék el a törőfeszültség értékét, azaz repedést ne okozhassanak. A következőkben erre vonatkozóan adunk néhány szempontot.

A hegesztési sorrend jelentős tényezője a belső feszültségek alakulásának. Ezen belül alapszabályként mondható ki, hogy a varratok, de különösen a tompavarratok készítésekor bizonyos dilatálást lehetővé kell tenni, ellenkező esetben nagy valószínűséggel repedés keletkezik. A helyes megoldásra néhány gyakorlati példát mutatunk be.

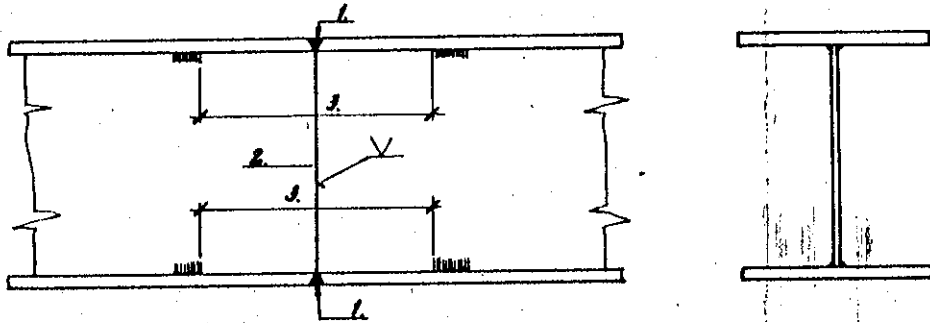
Síklemezek több darabból való összehegesztésekor a munkát lemezpáronként lépcsőzetesen hajtjuk végre (87. ábra). Ellenkező esetben - pl. ha a teljes mezőt egyszerre összeállítjuk és csak azután kezdünk hegeszteni - a varrat-találkozásoknál a lemezmozgások gátoltak és a varratvégződés nem futtathatók ki.



87. ábra

Síklemez tompavarratainak elkészítési sorrendje

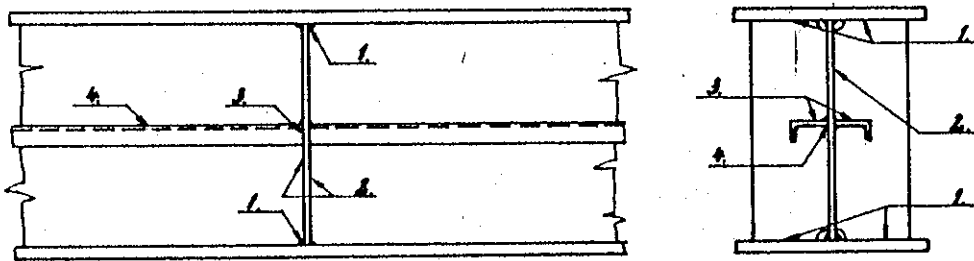
I-tartók illesztésének környezetében a nyakvarratokat mindig el kell hagyni. Először az övlemezek, majd a gerinclemez tompavarrata készüljön el, egyszerre vagy egymás után. Csak ezt követően lehet befejezni az elhagyott nyakvarrat szakaszt. Így a tompavarratok készítésekor a lemezek szabad mozgását lehetővé tettük (88. ábra).



88. ábra

I-tartó helyszíni illesztésének hegesztési sorrendje

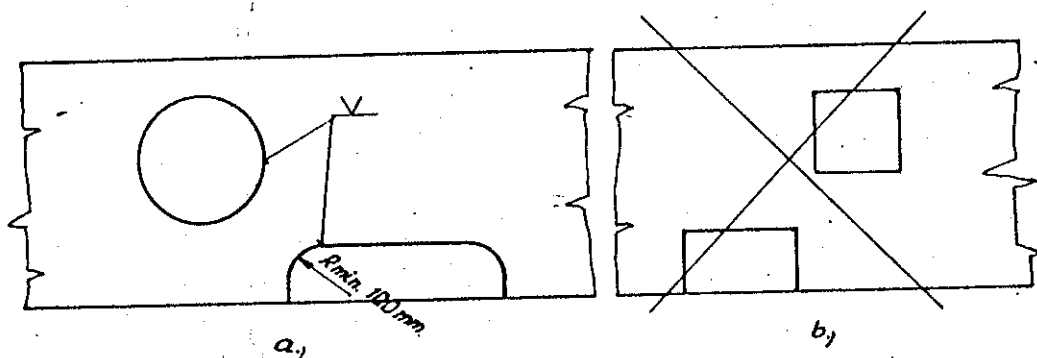
Merevítő bordák felhegesztését mindig a homlokvarrattal kezdjük (itt ügyelni kell a hézagmentes illesztésre), a hosszvarratok csak második lépcsőben készüljenek (89. ábra).



89. ábra

Merevítőbordák varratainak hegesztési sorrendje

Folthegeztéskor mindig íves vagy kör alakú, sohasem szögletes foltot alkalmazunk, mivel ez utóbbi esetben a varrat-találkozások kényszerhelyzetet jelentenek (90. ábra).



90. ábra

Lemez-"foltozás" kialakítása ("a": helyes; "b": helytelen)

Egyetlen varraton belül is különbözőképpen alakulhatnak a belső feszültségek a hegesztéstechnológiától függően. A túl nagy méretű fürdők (széles ívelés, kézi, védőgázos hegesztéskor, vagy kis kocsi sebesség, nagy áramerősség fedettívű hegesztés esetén) sokkal kedvezőtlenebbek ilyen szempontból, mint a kisebb zsugorodással járó kis keresztmetszetű, egymást hőkezelő sorokból felépített varrat.

Tompavarratok helyi kifaragással történő javításakor az ujonnan készülő varratszakasz mereven befogott illesztés esetét jelenti. Ilyenkor – különösen, ha többször egymás után javítunk ugyanazon a helyen és ezzel a környező alapanyag plasztikus tartálékát kivesszük – számolni kell a repedéssel.

Alacsony hőmérsékleten (0 °C körül) történő hegesztéskor a gyors lehűlés miatti keményebb varrat, illetve a csökkent nagyságú hőhatás övezetből fakadó merevebb befogás következtében (főként fűző varratoknál és vastag lemezeknél) gyakoriak a belső feszültségekből eredő repedések. Ezen legjobban előmelegítéssel lehet segíteni.

A belső feszültségek csökkentésére – a helyes hegesztési sorrend alkalmazásán kívül – több módszer ismeretes.

Egyes esetekben (pl. nyomástartó edényeknél) célravezető lehet a próbanyomáskor a folyáshatárt elérő nagyságú tulterhelés (tulnyomás). Ilyenkor – az előzőekben bemutatott példa szerint – a feszültségcsúcsok az anyag helyi megfolyása révén leépülnek.

Szokás a húzófeszültségeket csökkenteni a varratfelületek kalapálással történő nyújtásával is, ez kétségtelenül hasznos akkor, ha a nyújtást a varrat képlékeny (piros meleg) állapotában hajtjuk végre, mint pl. a villamos sínek ívhegesztéssel történő illesztésekor. Hatásának pozitív volta kérdéses azonban, ha a már kihűlt varratot kalapáljuk. Ilyenkor ugyanis a nyulás csak a varratfelületre korlátozódik, a feszültségállapot nem követhető, az anyag képlékeny tartaléka csökken.

Ujabban vibrálással is kedvező eredményeket értek el. Ez a feszültségek átrendeződéséhez és fokozatos leépüléséhez vezethet.

A legeredményesebb módszer kétségtelenül a feszültségcsökkentő izztítás. A módszer azonban drága, bonyolult és esetleg az anyag és a varrat mechanikai tulajdonságainak romlását eredményezheti (lásd a 2.3 és 3.3 pontokat).

Az előadottakból az a - gyakorlati tapasztalatokkal alátámasztott - következtetés vonható le, hogy a hegesztési belső feszültségek - amennyiben mind a tervezés, mind a kivitel szakszerűen történt - nem csökkentik a szerkezet teherbírását (a méretezésnél azokkal számolni nem kell), és a töréssel szembeni kellő biztonság feszültségmentesítő hőkezelés nélkül is elérhető.

5.4 Megelőző módszerek hegesztési alakváltozások csökkentésére

A hegesztett szerkezetek alakváltozásainak kézben tartása a tervezőasztalon kell elkezdődjék. Döntő fontossága, hogy már a szerkezetalakítás stádiumában a megfelelő (általában egy adott üzemi "testére szabott") kiviteli technológia is megtervezést nyerjen. A két legfontosabb alapszabály ekkor (az alakváltozások csökkentése érdekében):

- a részgyártási egységet képviselő törzsszelvények lehetőleg két, de legalább egy tengelyre szimmetrikus elrendezésűek legyenek (alapanyag és varratkeresztmetszet vonatkozásában egyaránt - lásd az 5.2 pontot, a 9. fejezetet is);
- csak a szükséges minimális varratmennyiséget tervezzük be.

A hegesztéstechnológia üzemi megtervezése során alapvető szempont a megfelelő minőség leggazdaságosabb uton való elérése. Ezen belül az alakváltozások és velük az egyengetési munka minimumon tartása fontos cél. A következőkben a hegesztéstechnológia érintett elemeit ebből a nézőpontból tesszük vizsgálat tárgyává.

5.4.1 Hegesztési sorrend

A varratok készítésének - és ettől függően gyakran a szerkezet összeállításának - sorrendjével a legtöbb esetben a legegyszerűbb és legolcsóbb módon, jelentősen befolyásolni tudjuk a szerkezet alakváltozását. Ezért a technológusnak elsősorban erre a lehetőségre kell támaszkodnia.

Már többször utaltunk - és még fogunk utalni - a hegesztési sorrend fontosságára. Gyakorlati példákon mutatjuk be a helyes és a helytelen hegesztési sorrend következményeit. Itt most felsoroljuk azokat a szempontokat, amelyek a hegesztési sorrendterv készítésére mérvadók.

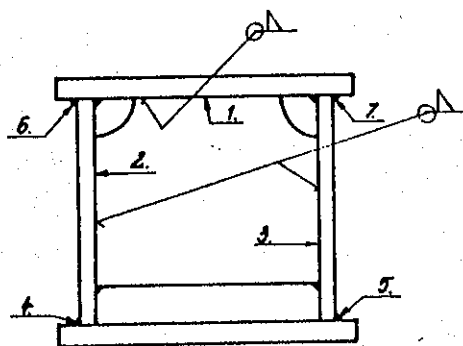
a./ A készítendő varratok jól hozzáférhetők legyenek. Csak így lehet a hegesztőtől kifogástalan minőséget és a varrattól előírás szerinti teherbírást követelni.

Ezt az irányelvet úgy tarthatjuk be a legjobban, hogy ha a szerkezet egyes részelt külön-külön állítjuk össze és hegesztjük meg, majd - egyengetés után - folytatjuk az összeépítést.

A gyakorlatban azonban nem mindig célszerű, de nem is mindig lehet megvalósítani ezt az elvet; nem célszerű követni pl. a szekrényes tartók dilafragmájának a felső

övhöz való hegesztésekor (91. ábra). E szerint kézenfekvőnek kínálkozik az a megoldás, hogy a felső övlemezre először csak a diafragmákat szereljük fel. Az 1 varratokat így kényelmesen készíthetjük. Mégsem alkalmazzuk ezt a módszert, mert akkor e varratok szögzsugorodása megtöri a merevített övlemez és említett jelentős egyengetési munkát kell végezni. Megtakarítható azonban az egyengetés, ha az övlemezre a diafragmákkal együtt a két gerincet is felfűzzük és a diafragma varratát csak ezután hegesztjük, kétségtelen azonban, hogy így nem jó a hozzáférhetőség.

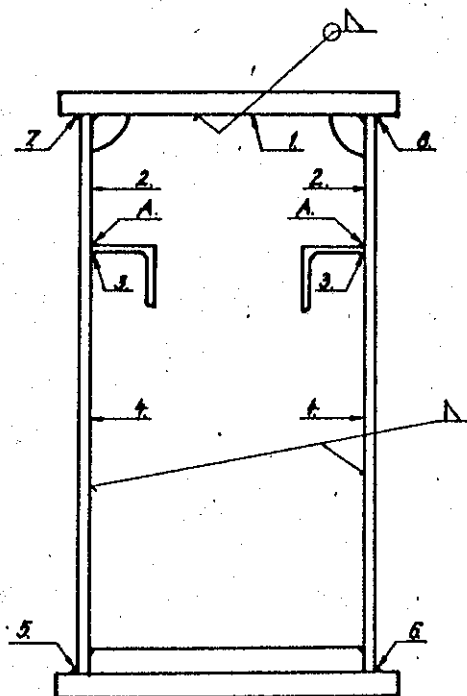
Nem lehet követni az a./ alatti irányelvet ugyanazon a tartón a 2 varratok készítésekor. A bordának az egyik gerinccel való kapcsolatát kényelmesen lehetne meghegeszteni, ha a másik gerincet csak utólag szerelnénk fel. Ennek azonban nincs értelme, mert egyrészt a borda - gerincvarratnak a gerincen létrehozott keresztirányú zsugorodása az egész L-szelvény kardosságát okozná, másrészt, mert a másik gerinchez kapcsolódó 3 varratot mindenképpen rossz hozzáférhetőséggel kell elkészíteni.



91. ábra

Szekrényes tartó hegesztési sorrendje

Ritkábban előforduló, de a kérdést még jobban megvilágítja az a példa, amikor a magasgerincű szekrényes tartókon (pl. daruhidakon) a gerinc nyomott övét végigfutó L-acéllal merevítjük (92. ábra). Ekkor a varratok jó hozzáférhetőségének érdekében a felső övlemezre a diafragmát és a gerincekre az L-acélokat előre fel kell hegeszteni. Ez azonban két ok miatt nem járható út: egyrészt igen kedvezőtlen alakváltozások következnenek be (a gerinclemez betörik és behullámosodik); másrészt az így előre legyártott elemek a gyártási pontatlanságok miatt nem építhetők össze (a diafragmák nem csusztathatók a bordák közé).



92. ábra

Futódaru szekrényes főtartójának hegesztési sorrendje

A felsorolt okok miatt a gyakorlatban legjobban bevált módszer erre: összefűzzük az egyik gerincet a diafragmákkal és a közöttük levő L-acélokkal; ezt ráépítjük a másik gerincere és beszereljük, majd fűzzük az ide kerülő L-acélokat; végül felszereljük a felső övlemezt. Csak ezután hegesztünk a számozás szerinti sorrendben. E megoldással az A-jelű varratok egyáltalán nem (de elegendő ott az előre elkészített fűzővarrat is), az 1 és 2 varratok nagyon rossz, a 3 és 4 varratok kevésbé jó hozzáférhetőséggel készíthetők el. Az alsó övlemez felszerelése és a szekrényes tartó nyakvarratainak hegesztése csak ezután következik.

E példák azt is bemutatták, hogy a varratok jó hozzáférhetőségét - részint a szerkezet jellegénél fogva, részint az alakváltozások korlátozása érdekében - nem mindig sikerül biztosítani.

b./ A varratokat a legkedvezőbb, lehetőleg vályu-, vagy vízszintes helyzetben lehetesen elkészíteni. Ugyanis sorrendben: a függőleges, a haránt- és a fejfeletti hegesztés egyre drágább és rosszabb minőségű kötést ad.

A technológusnak tehát törekedni kell a vályuhelyzet biztosítására. Ennek figyelembevételével kell megválasztania az összeállítás sorrendjét, belktatni a forgatásokat, megtervezni ezek eszközzeit, esetleg berendezéseit. Bizonyos, pl. a nagyobb egységeket összeillesztő vagy a szerelést helyen készíttendő varratok kényszerhelyzetű hegesztése azonban mégsem kerülhető el. Ilyenkor megfelelő minőségű elektródák és

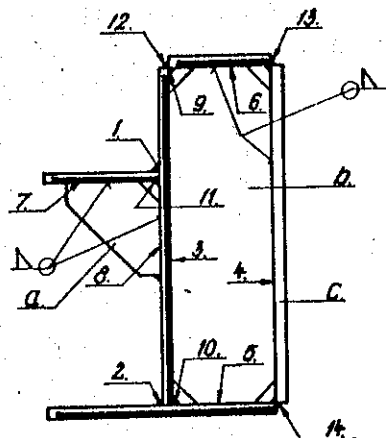
klváló képességű hegesztők biztosítanak jó minőségű varratokat.

c./ A hosszú egyenes varratokat lehetőleg automatikus eljárással (fedettívű, CO_2 -védőgázos hegesztéssel) kell készíteni, mivel ezek gazdaságosabbak, jobb minőségűt biztosítanak és kisebb alakváltozásokat okoznak, mint a kézi ívhegesztés.

Az összeállítási és hegesztési sorrendet ennek az elvnek az alapján kell megszabni. Pl. I-tartókon először a nyakvarratok készítenők el és csak ezután szabad a bordákat beépíteni.

Van azonban olyan eset is, amikor az automatikus hegesztést éppen az alakváltozások elkerülése érdekében kell elvetni. Példa erre egy építőszekrény-rendszerű épület elemeként tervezett (93. ábra) 5 m hosszú tartón adódott. Ha itt az a és b diafragmákat, valamint a c hevedereket csak utólag szereljük fel, akkor mind a hat végigmenő sarokvarrat automatikus hegesztéssel készíthető. Az így keletkező szögelfordulások azonban utólag nem távolíthatók el és az ívesedés is nagyobb. Emlatt a teljes összeépítés a célravezető megoldás, amikor is csak az 1 és 2 varratok hegeszthetők automatikus (fedettívű vagy CO_2 -védőgázos) eljárással, a többi pedig CO_2 -védőgázos fél-automatikus, esetleg kézi eljárással a feltüntetett sorrendben. E módszer alkalmazásával – bár szimmetriatengely nélkül, kedvezőtlen szelvényről volt szó – csak vízszintes síkú ívesedés keletkezett, amelyet viszonylag egyszerűen (főként a felső övlemeznek a heveder menti szélén alkalmazott autogén melegítéssel) lehetett kiegyengetni.

d./ Az összeállítási és hegesztési sorrend olyan legyen, hogy a lehető legkevesebb saját feszültségek ébredjenek. Ezt általában akkor tudjuk elérni, ha a szerkezet egyes darabjait külön-külön hegesztjük össze és egyengetjük meg, majd újra hegesztünk és egyengetünk.



93. ábra

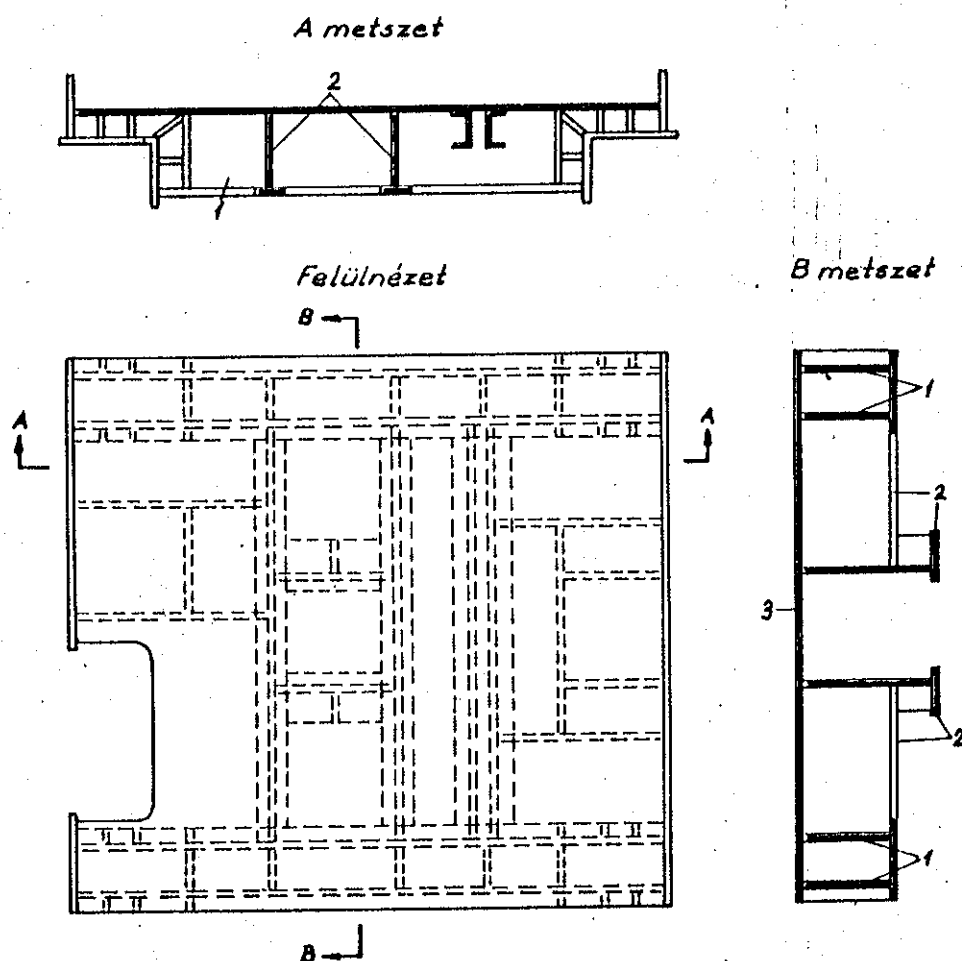
Bonyolult (nem szerencsés kialakítású) épületelem hegesztési sorrendje

Az ilyen eljárás azonban igen hosszadalmas és az egyengetési költségek megsokszorozódnak. Emlatt a gyakorlatban ezt a feltételt csak oly mértékig szokás betartani, hogy az azonos elemeket (pl. övlemez, gerinclemez stb.) összekötő tompavarratokat előre elkészítjük, ezután (többnyire hengeren) egyengetünk és így folytatjuk a szerkezet összeállítását, majd utólag meghegesztjük a varratokat.

Az 5.3 pontban már részletesen rámutattunk, hogy kellően képlékeny acélokban - szakszerű szerkezeti kialakítás és hegesztési sorrend esetén - a hegesztési feszültségek nem okoznak bajt, a ridegebb anyagokból készült szerkezetek pedig feszültségmentesíthetők.

e./ Az összeállítás és hegesztés sorrendje biztosítja az elemek, illetve a kész szerkezet egyengethetőségét és egyben a legkisebb egyengetési költséget. Ez általában a következő módszerekkel valósítható meg:

A szerkezetet olyan egységekre kell bontani, amelyek két, de legalább egy tengelyre szimmetrikusak a varratelrendezés szempontjából. Ezek hegesztve nem deformálódnak vagy csak egysíkú alakváltozás következik be, amelyet többnyire könnyű kiegyengetni. Ilyen egységekből kell azután a teljes szerkezetet összeépíteni, ügyelve azonban arra, hogy az utólag készített varratok ne, vagy legfeljebb csak egyengethető alakváltozásokat okozzanak. Példaként erre leírjuk a 94. ábrán vázlatosan felrajzolt darufutómacska acélvázának gyártását.



94. ábra
Darumaoska acélvázának elkészítési sorrendje

Itt akkor lesz a legkevesebb az egyengetési munka, ha előre összeállítjuk, meghegesztjük és kiegyengetjük az 1 kerékszekrény gerinceket övlemezekkel, merevítőbordákkal, valamint a hossz- és a kereszttartókat a 2 övlemezekkel. Az így elkészített részeket azután felszereljük és fűzzük a fordított helyzetbe fektetett és előrajzolt 3 borítólemezre. A bekötő sarokvarratokat gondosan kidolgozott sorrendben (lásd a következőkben részletezett irányelveket), kevés hőbevitellel kell meghegeszteni. Ellenkező esetben (ha a szerkezetet előre teljesen összeállítjuk és csak azután hegesztjük), az alsó övlemezek varrataiban keletkező hossz-zsugorodások a felső lemezsíkot domborúvá teszik. Ennek egyengetése (a felső lemez és a közelében levő gerincek zsugorítása) csak igen nehezen oldható meg.

Bizonyos esetekben a szerkezet bonyolult, de mégsem bontható fel kedvezően gyártható egységekre. Ilyenkor egyetlen járható út a teljes összeállítás utáni megfelelő sorrendben, kevés hőbevitellel végzett hegesztés. Itt a következő alapszabályokat kell betartani, hogy az alakváltozások a legkisebbek legyenek:

a hegesztést a szerkezet közepén (elemközepén, varratközepén) kezdjük és szimmetrikusan, jobbra-balra a szélek (végek) felé haladunk; a varratok elkészítésének sorrendjében arra ügyelünk, hogy először azokat a varratokat hegesztjük meg, amelyek az eredő alakváltozás ellen dolgoznak; továbbá, hogy ha egy varratot elkészítettünk, az utána következő az legyen, amelyik ugyanolyan irányu, de ellentétes értelmű alakváltozást okoz (tükörképe az előzőnek);

az eredő alakváltozás ellen ható varratokat folyamatosan, az alakváltozást elősegítőket szakaszosan, ún. hideghegesztéssel készítsük: egy elektróda leolvasztása után a hegesztést odébb, kézmelegre kihűlt helyen folytassuk (nem követhető ez a módszer edződésre hajlamos anyagokon vagy alacsony környezeti hőmérsékleten!);

szükség esetén a szimmetrikus hőbevitel érdekében egyszerre több hegesztő dolgozzon, de ügyeljük arra, hogy ők egymástól távol legyenek a hőtorlódás elkerülése érdekében (mert ez többlet-alakváltozást okoz);

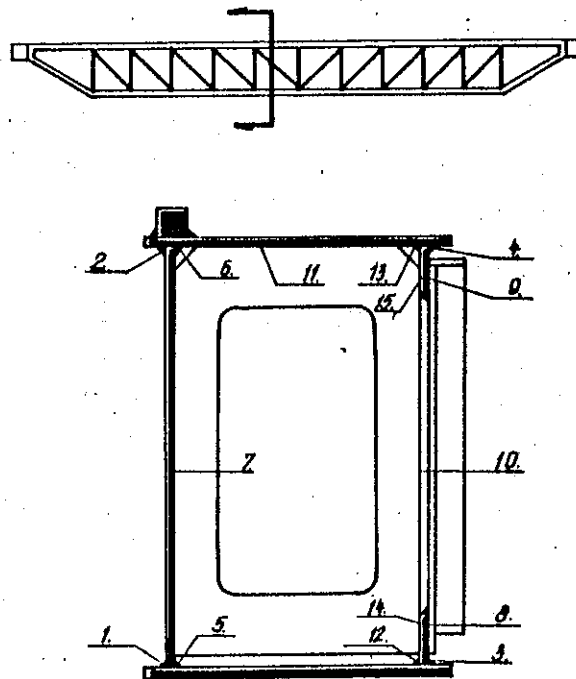
ha az összehegesztésre kerülő elemek egymáshoz viszonyított fix helyzete nincs kellően biztosítva (pl. lemezek tompavarratánál), akkor a varratközeptől kiindulva ráklépéses módszerrel hegesztünk;

automatikus hegesztési módszer esetén a varratokat a leírt sorrendben, de mindig a varratvégen (kifutólemezen) kezdve, megszakítás nélkül készítsük;

szükség esetén alkalmazzunk előfeszítést, merev asztalhoz való lefogást, két darab összeforgatásával biztosítható szimmetriát és előfeszítést.

Az elmondottakra példaként ismertetjük az ún. félszekrényes futódaruhidak hosszartójához (95. ábra) kikísérletezett legkedvezőbb hegesztési sorrendet.

Az övlemezeken, gerinceken levő esetleges tompaillesztéseket előre elkészítve, egyengetés után a teljes tartót összeállítjuk és fűzzük. Mielőtt az ezt követő hegesztési munkát ismertetnénk, röviden elemezzük az alakváltozási problémákat.



95. ábra

Félszekrényes futódaru főtartójának hegesztési sorrendje

A 95. ábra szerinti keresztmetszetet vizsgálva láthatjuk, hogy - sajnos - ennek a konstrukciónak egyetlen szimmetriaxisja sincs. A függőleges síkot nézve, a melléktartóoldalon a rácsozást bekötő varratok a főtartóoldalhoz képest többletet jelentenek. Emellett a nyakvarratok zsugorító hatása jelentősebb a keskeny melléktartón, mint a magasgerincű főtartón. A vízszintes sík szintén nem szimmetrikus, mivel a diafragmák csak a felső övlemezhez vannak hegesztve, a huzott alsóhoz azonban nincsenek. Ez azért hátrányos, mert a felső övlemez ki nem egyenlített zsugorodása a kívánatos tulemeléssel ellentétes értelmű behajlást okoz a tartón.

Mindezekből önként adódik, hogy olyan hegesztési technológiát kell választanunk, amelynek révén - ha teljesen elkerülni nem is tudjuk -, de legalább csökkentjük az aszimmetriából adódó alakváltozásokat. E módszer lényege a következő (lásd a 95. ábrát): lehetőség szerint folyamatosan, minél több hőt véve a szerkezetbe, először meghegesztjük azokat a varratokat, amelyek az eredő alakváltozás ellen dolgoznak (főtartóoldal, alsó öv); utána szakaszos, hideghegesztéssel elkészítjük az eredő alakváltozást elősegítő varratokat (melléktartóoldal, felső öv).

Ezek előrebocsátása után rátérhetünk a hegesztési sorrend ismertetésére:

1. Először a négy külső nyakvarratot hegesztjük meg folyamatosan, automatikus CO₂ eljárással, vályuhelyzetben. A hosszú egyenes varratok kézenfekvővé teszik az automatikus hegesztés alkalmazását. A kis perem, a vékony elemek (főleg a sín alatt leélezett gerincnél) a fedettívű eljárás ellen szólnak, ezért inkább az automatikus CO₂-védőgázos hegesztési eljárást választjuk, amely végig azonos

keresztmetszetű (a fűzővarratok belül vannak!), mély beolvadású, kifogástalan varrat készítését biztosítja. (Ha mégis kézi hegesztést alkalmaznánk, akkor a munkát hasonló sorrendben, de a tartó közepétől kiindulva, a végek felé haladva, folyamatosan végezzük.) A többi varrat csak kézi, esetleg félautomatikus CO_2 -eljárással hegeszthető.

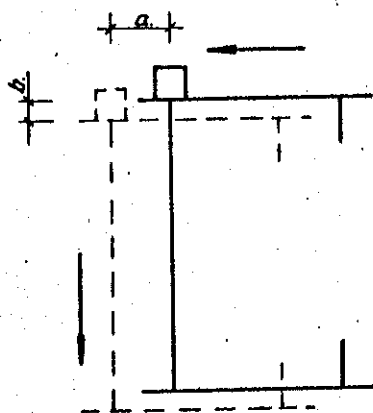
2. Az egységet a főtartó gerincére fektetve – középtől a szélek felé haladva – folyamatos hegesztéssel készítjük el előbb az alsó, majd a felső övlemez menti nyakvarrat belső oldalát. Ezután a diafragmát a gerinccel összekötő sarokvarratokat hegesztjük meg, a középső diafragmánál kezdve a munkát. A hátalevő – melléktartó oldallal, illetve a felső öv menti – varratokat már (szintén középtől kiindulva és a végek felé haladva) szakaszokban készítjük el, egy helyen egyszerre csak egy elektródát olvasztunk le, hogy minél kisebb hőtorlódást okozva, csökkentsük a melléktartó zsugorodását és ezzel az egész tartó deformációját.

Ugyanebben a helyzetben (a hideghegesztés elvének figyelembevételével) hegesztjük meg előbb a melléktartó rácsrudjainak és oszlopainak az alsó és felső öv menti bekötővarratait, majd a melléktartó oszlopaikat a diafragmákhoz rögzítő élsarokvarratokat.

3. A tartót a felső övlemezre fektetve hegesztjük meg a diafragma felső övének varratait, előbb mindenütt az egyik, majd a másik oldalon.

4. Legvégső helyzetként a tartót a melléktartóoldalra fektetjük. Ekkor hegesztjük meg a melléktartó belső nyakvarratait (ha ilyenek vannak) és a rácsok belső bekötővarratait.

Az elmondottak szerint meghegesztett tartón létrejövő alakváltozások (egy 10 m hosszú tartón az a vízszintes irányban 20 mm, a b függőleges irányban 10 mm) csak kb. negyedakkorák, mint a szakszerűtlenül hegesztett tartón, ahol az a irányban (96. ábra) 80 mm, a b irányban 20 mm hurmagasságú görbültség is bekövetkezhet.



96. ábra

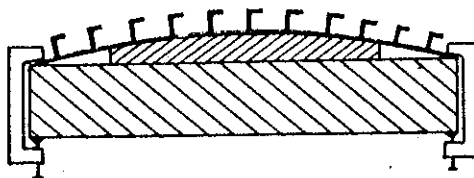
A 95. ábra szerinti darufőtartó hegesztési alakváltozásai

5.4.2 Előfeszítés

A rugalmas előfeszítés igen gyakran alkalmazott eljárás a hegesztés során keletkező alakváltozások csökkentésére. Elsősorban az egytengelyre szimmetrikus, nem túl nagy keresztmetszetű – tehát egyszerű eszközökkel meghajlítható – szerkezetek hegesztésére előnyös ez a módszer.

Az előfeszítés lényege, hogy az összeállított és fűzött tartót a várható (vagy esetleg kikísérletezett) behajlással ellentétes irányban, megfelelően elhelyezett bélések és leszorító-hevederek segítségével, merev szerkezethez rögzítjük, amely lehet bordázott asztal, kellő inerciájú rud stb. Előnyös, ha a segédberendezések forgathatók is, annak biztosítására, hogy a varratokat a legkedvezőbb helyzetben készíthessük.

Az előfeszítés mértéke függ a hegesztendő szerkezet merevségétől. "Puha", rugalmas szelvényeken az előfeszítés nélkül létrejövő alakváltozás kétszeresét, míg merev szerkezeten vel azonos mértékű előfeszítést kell alkalmazni. Az Erzsébet-híd 4 m széles ortotróp pályalemez egységére hegesztett 11 db hosszborða 22 db, $a = 4$ mm-es sarokvarratának hatására a 12 mm lemezvastagságának 140 mm, a 24 mm lemezvastagságának kb. 70 mm volt a belső sík zsugorodása következtében létrejött behajlási hurmagassága. Az ellenkező irányú előfeszítést (97. ábra) ennek kétszeresére kellett választani, hogy a lemez – keresztirányban – sík maradjon. Ugyanezen varratok hatására a szóbanforgó lemezek (itt már a $200 \cdot 90 \cdot 12$ mm szelvényű L-acél hosszborðák zsugorodásának következtében) hosszirányban, 10 m hosszban hasonló mértékű – tehát kb. 70, illetve 35 mm-es hurmagasságú behajlást szenvedtek. Ezt a hosszborðák vízszintes szárán végrehajtott (láng melegítésekkel aránylag könnyen lehetett egyengetni. (Ezért volt célszerű keresztirányú előfeszítést választani, amely egyúttal kisebb leszorító erőt is igényelt.)

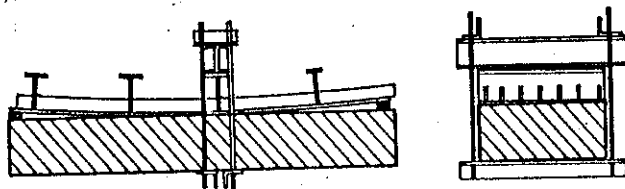


97. ábra

Ortotróp pályaelem (kereszttartók felhelyezése előtt) hosszborðáinak hegesztéséhez történő előfeszítése

A Szolnoki-híd szintén ortotróp pályaelemére a kereszttartók a hosszborðákkal együtt kerültek felszerelésre, ezért a – 650 mm magas kereszttartók kellő merevségének köszönhetően – a hegesztés a keresztirányban elhuzódást nem okozott. A 200 mm magas 7 db hosszborða kétoldali nyakvarrata ($a = 4$ mm) a 6,4 m-es hosszban kb. 20 mm hurmagasságú behajlást hozott létre; 30 mm-es betétekkel – a 98. ábrán látható módon végrehajtott – előfeszítéssel ezt 5 mm-re csökkentettük. Ennél nagyobb mérvű előfeszítést azért nem lett volna célszerű alkalmazni, mert akkor a szerkezet az ellenkező irányban görbülhet. Ilyenkor viszont az egyengetés (amely egy-egy

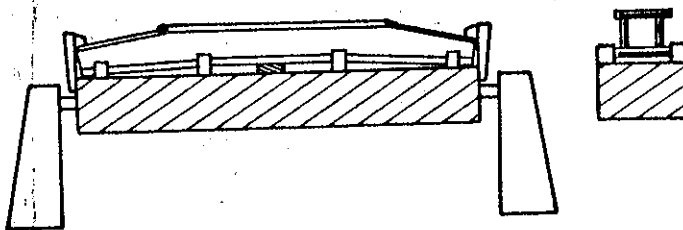
keresztmetszetben a teljes lemezszélesség és a 7 db hosszborða lemezhez csatlakozó részének egyidejű felhevítését követelné meg) gyakorlatilag nem oldható meg. Ezzel szemben a másik irányban a hosszborðák külső széleln egyenként végrehajtott melegítéssel a pályaelem igen egyszerűen síkra egyengethető.



98. ábra

Ortotróp pályaelem (kereszttartókkal felszerelt állapotban való) hegesztéshez történő előfeszítése

Merev szerkezetek előfeszítésére példaként vastag elemekből összeállított zömök szekrényes tartót mutatunk be, amelynél a felső övlemez-mentli varratok hosszabbak az alsó övlemez-mentleknél, továbbá a felső övlemez a két végen vékonyabb (99. ábra). A hosszabb varrat főleg a vékonyabb övlemez mentén, nagyobb zsugorodást okoz, ennek elkerülésére a tartót merev szerkezethez előfeszítjük. Ennek mértéke itt azonosra választandó az előfeszítés nélkül bekövetkező alakváltozás mértékével (a szóbanforgó esetben a 6 m hosszú tartón 5 mm). A - szintén szekrényes - tartó, amelyhez előfeszítjük, úgy van kialakítva, hogy egyrészt géppel forgatható és ezáltal a (fedett-lyű) hegesztéshez mindig a legkedvezőbb vályuhelyzet biztosítható, másrészt oldalirányú ütközőkkel is el van látva, amelyek az övlemez megtámasztják és az oldalirányú elhajlást meggátolják.



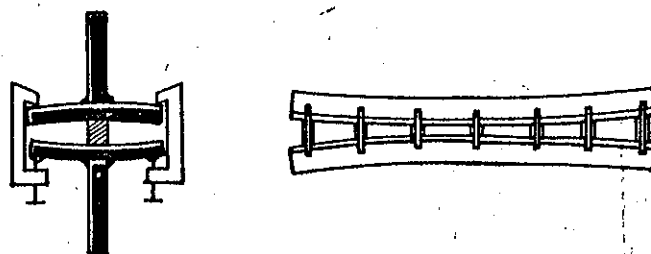
99. ábra

Aszimmetrikus elrendezésű szekrényes tartó hegesztéshez történő előfeszítése forgató készülékben

Az előfeszítésnek igen célszerű lehetősége kínálkozik az egytengelyre szimmetrikus keresztmetszetű tartók hegesztéséhez, mert itt két azonos tartót összefogva szimmetrikus szelvényt nyerünk. Ha közéjük megfelelő méretű betéteket helyezünk, előfeszítést is biztosíthatunk és ezáltal az alakváltozásokat a minimumra csökkenthetjük.

Az egymáshoz való előfeszítés legegyszerűbb esete a T-szelvények hegesztésekor adódik. Ha ezeken a tartókon a hosszirányú előfeszítéssel egyidejűleg az övlemezeket

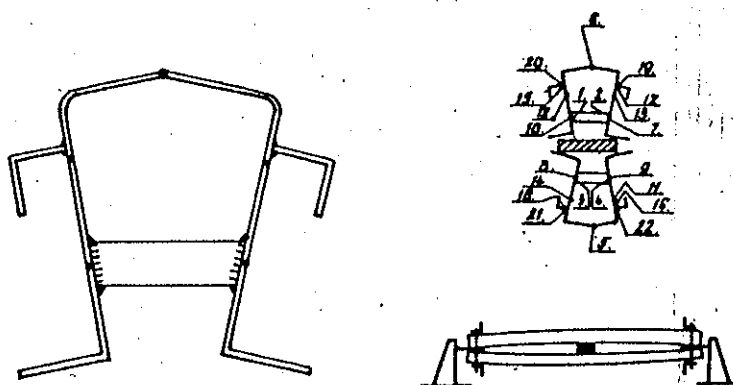
keresztirányban is sűrűn összefogjuk és előfeszítjük (100. ábra), akkor nemcsak a kardosságot, hanem egyidejűleg a nyakvarratok szögzsugorodásának hatását is kiküszöbölhetjük, és végeredményben egyenes, sík övlemezű tartót kapunk az aszimmetrikus keresztmetszet ellenére is.



100. ábra

T-szelvények összefogása és kétirányu előfeszítése hegesztéshez

Bonyolultabb a helyzet a 101. ábra szerinti esetben. Ez egyben példa arra is, hogy az egyébként ilyen célra gyártott hidegen hengerelt szelvényekből is készülhet kedvezőtlen kialakítású keresztmetszet (tetőszerkezeti alkatrész). A kilenc (!) végigfutó varrat tervezője nem vette figyelembe azt az alapelvet, hogy kevés elemből, kevés varrattal helyesebb létrehozni a hegesztett szerkezetet.



101. ábra

Épületelem (kedvezőtlen kialakítással) összeforgatott előfeszített állapotban történő hegesztésének sorrendje

Az ábrán bemutatott összeforgatással és előfeszítéssel az egyébként szinte ki nem egyengethető alakváltozásokat jelentősen csökkenthetjük. A hegesztést azonban ebben az esetben is célszerű megfelelő sorrendben (lásd az ábra számozását) lehetőleg félautomatikus CO_2 eljárással szakaszokban (hideghegesztéssel) végrehajtani.

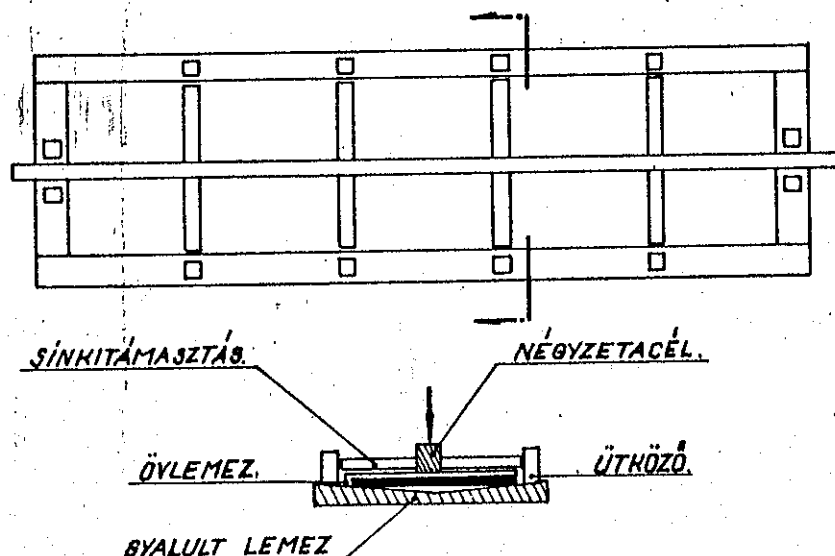
5.4.3 Előhajlítás (Előtörés)

Némelykor az előhajlítás célravezetőbb, mint az előfeszítés vagy az utólagos egyengetés. Előhajlításon olyan műveletet értünk, amellyel az alkatrészbe - a készitendő varrat által létesítendővel ellenkező értelmű, azonos nagyságu - maradó alakváltozást viszunk, tehát a folyáshatáron túl vesszük igénybe az anyagot, ellentétben az előfeszítéssel, ami csak rugalmas hajlítást jelent. Az előhajlítás éppen ezért általában költségesebb az előfeszítésnél.

Előhajlítást többféle módon, leggyakrabban sajtolással, hengereléssel, kalapálással, melegítéssel valósíthatunk meg.

Sajtoláskor többnyire készülékezéssel, általában hidegen egy vagy több lépcsőben, a kisebb keresztmetszetűeknél nyomógép, a nagyobb erőt igénylőnél hidraulikus sajtológép segítségével vesszük az elembe a megkívánt előhajlítást (előtörést).

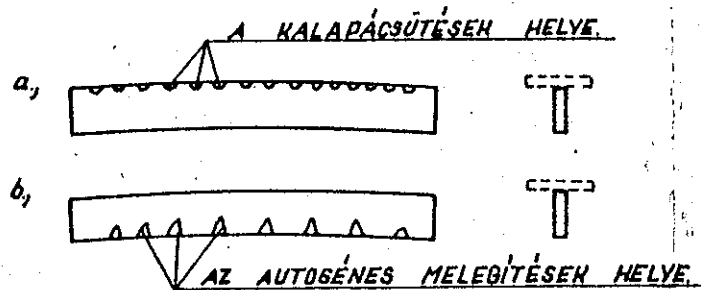
Bizonyos szerkezeteknél (pl. I- vagy T-szelvények övlemeze) a leggazdaságosabb előtörési módszer a hengerlés. E művelethez készüléket alkalmazunk, pl. a 102. ábrán látható övlemez-előhajlító készüléket. Lényege egy vályu alakúra gyalult lemez (amelynek nem kell nagyobb inerciájúnak lennie, mint a hajlítandó övlemeznek), erre ütközőket hegesztünk a munkadarab és a föléje kerülő (kb. 50 . 50 mm keresztmetszetű) négyzetacél helyzetének biztosítására. A négyzetacélra ütközőket célszerű hegeszteni, hogy hengerlés közben benne oldalirányú alakváltozások ne keletkezzenek. A teljes berendezést, vagyis az alsó lemezt az övlemezrel, rajta a négyzetacéllal egyengetőhengeren kell átengedni. Ez a négyzetacélon keresztül az övlemezbe behengerli a készülék felületén kialakított törést. Az előhajlítás (előtörés) szükséges mértékét a 4.1.3 pontban megadott képlettel övlemezre vagy hasonló elemekre könnyen kiszámíthatjuk.



102. ábra

Készülék övlemezek síkhengerrel való előtöréséhez

Kalapálással keskenyebb elemeknek (pl. T-tartók gerince) - általában a hossz-zsugorodások okozta kardosodások megelőzésére alkalmas - ivesztését szokás végrehajtani. Gyakorlatilag a laposacélt - még az övlemezzel való összeállítás előtt - a készíten-dő varrat közelében végigkalapáljuk. Ezáltal megnyújtjuk ott és olyan mértékben, ahol és amennyire a varrat zsugorítani fogja (103. ábra). A kardossá nyújtott gerinc-re szereljük fel az övlemezt. Hegesztés után - ha az előtörés mértéke helyes volt - a tartó egyenes lesz.



103. ábra

T-szelvény gerinclemezének előtörése ('a': kalapálással;
'b': autogénmelegítéssel)

A lánggal való előhajlítást nagyobb szelvényekhez (pl. magasabb gerincek) alkalmaz-zuk. Itt - a kalapálással ellentétben - a lemeznek vagy szerkezetnek a varrattal szem-ben fekvő élén végzünk zsugorítást (103/b. ábra). Az így létrehozott kardosságot a hegesztés okozta zsugorodás megszünteti. A melegítéssel kialakított - meglehetősen költséges - előhajlításnak akkor van értelme, ha az egyszerűbb műveletet biztosít, mint az összehesztett - már merevebb - szerkezet (szintén csak lánggal végezhető) egyengetése. Ha az utólagos egyengetés más módszerekkel, pl. kalapálással vagy nyomógépen elvégezhető, lánggal előhajlítani vagy előtörni általában nem célszerű.

5.4.4 Készülékezés

Ha valamilyen hegesztett szerkezetet vagy alkatrészt nagyobb darabszámban kell gyártani, többnyire, a sorozatgyártásban pedig mindig, gazdaságos a hegesztési mun-kákat megfelelő készülékben végezni. A hegesztőkészülék lényege, hogy - bizonyos segédberendezések útján kellően merev tárgyhoz - lefogjuk a hegesztendő szerkezetet és a varratokat így készítjük el. Ha a munkadarabot lehűlt állapotban vesszük ki a készülékből, az alakváltozások minimálisak lesznek. A merev szerkezeteket ehhez elég csak lefogni, a rugalmasakat általában elő is kell feszíteni.

Az egyszerűbb munkadarabokhoz tervezett hegesztőkészüléket esetleg az összeállítás-hoz is alkalmas módon lehet kialakítani. Az állítókészülék feladata, hogy - megfelelő ütközők és rögzítők segítségével - az elemek pontos helyzetét minden külön előrajzo-lás és bemérés nélkül biztosítsa.

Ha a hegesztést is benne végezzük, nincs szükség a fűzésre sem. A bonyolultabb szerkezetekhez azonban többnyire nem valósítható meg kombinált összeállító- és hegesztőkészülék, mert a beállításra és a rögzítésre egyaránt alkalmas berendezés a varratok hozzáférhetőségét korlátozza. Ilyenkor az állítókészülékben csak összefűzzük a szerkezeteket, a hegesztést pedig egy másik, csak a merev lefogásra, esetleg az előfeszítésre és a kedvező hegesztési helyzet biztosítására alkalmas ún. hegesztő- vagy forgatókészülékbe helyezzük.

A hegesztőkészülékekkel - a ritka kivételektől eltekintve - biztosíthatjuk a munkadarab forgathatóságát legalább egy tengely körül. Ekkor a varratok részben vályu-, részben vízszintes helyzetben készíthetők. Célszerűbb a készülék, ha két egymásra merőleges tengely körül forgatható, mert akkor minden varratot (a legelőnyösebb) vályuhelyzetben lehet meghegeszteni.

A készülékek lehetnek csak egy alkatrész hegesztéséhez kialakított, speciális berendezések, de előfordulhat, hogy egy készülékben több, különféle szerkezet kellő befogása és kedvező hegesztési helyzetbe forgatása is megoldható.

A hegesztőkészülékek a feladat természetétől és a benne elkészítendő munkadarabok számától függően a legkülönbözőbb kivitelűek lehetnek. Forgatásuk megoldható kézi erővel, daruval, emberi erővel működtetett hajtóművel, villamos, esetleg hidraulikus berendezéssel.

A hegesztőkészülékeknek önálló irodalma van, említést teszünk ezekről a 7.3 pontban is. Ezért e helyen történő részletezésüktől eltekintünk.

5.5 A hegesztett szerkezetek egyengetése

A hegesztett szerkezetek egyengetése többnyire időtrábló és egyben nagy szaktudást igénylő munka. Ezért hegesztett szerkezetek tervezésénél és a gyártástechnológia meghatározásánál az alakváltozások kiküszöbölése, illetve minimumon tartása, továbbá az egyengethetőség biztosítása alapvetően fontos feladat. E szempont mellőzése esetleg a szerkezet selejtté válását, de mindenképpen a gyártási költségek jelentős megnövekedését eredményezi. Igen fontos az is, hogy feleslegesen ne követeljünk túlzott mértékű alakhelyességet (pl. hegesztett I-tartóknál a legtöbb esetben eltűrhető az övlemez - nyakvarrat okozta - betörése, a gerinc - bizonyos mérvű - horpadtsága stb.).

Az egyengetés elvileg kétféle módon hajtható végre: a zsugorodott részek nyújtása vagy ezek ellenpontjainak zsugorítása révén. Az első esetben többnyire mechanikus erővel, hidegen (esetleg melegen), a második esetben melegen (esetleg mechanikus erővel) dolgozunk.

5.5.1 Hidegegyengetés

A hidegegyengetés általában gyorsabb és olcsóbb, mint a melegítéssel végzett egyengetés. Ezért, ha a feladat hidegegyengetéssel is megoldható, azt kell választani.

A leggyakoribb ilyen eljárások a kalapálás, a hengerlés, a nyomógépen és a mechanikai erővel való egyengetés.

A kalapálás a legtöbbször alkalmazott és gyakran egyedül célravezető módszer. Segédeszközzel a 0,5-15 kp súlyú kalapács és a kellő merevségű asztal, az ún. platni.

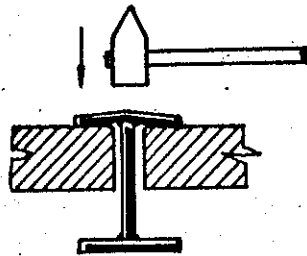
A kalapálással való sikeres egyengetés legfontosabb feltétele, hogy az ütés helyének megfelelő "húzása" legyen, azaz az anyag ne tudjon a kalapácsütés hatására rugalmasan kihajlani, hanem képlékeny alakváltozásra kényszerüljön. Ez csak akkor következik be, ha a kalapács súlyánál sokszorosán nagyobb tömeggel támasztjuk alá az elem vagy a szerkezet egyengetésre kerülő helyét. Legalkalmasabb erre egy 200 ... 300 mm vastagságú, nagy terjedelmű (néhány m^2) acéllap. Ha a szerkezet egyengetendő pontját ilyen lappal nem támaszthatók alá, akkor - az ütésre használt kalapácsnál jóval súlyosabb - ellentartókalapácsot kell igénybe venni. Természetesen, ilyenkor az egyengetés már kevésbé hatásos.

Kalapálással igen kiválóan egyengethetők állítás előtt a kisebb méretű és vastagságú lemezek, továbbá a szalag- és az idomacélok. Ez utóbbi kettőnél a kardosság, a rövidebbik (a homorú) szél nyújtásával, azaz végigkalapálásával szüntethető meg.

A vékony lemezek egyengetése - bár léteznek erre a célra különleges kisátmérőjű egyengető hengerek - tökéletesen csak a megfelelően kialakított, csaknem teljesen sík ütfelületű kalapáccsal oldható meg. Az ún. "spannolás" művelete - amely igen nagy gyakorlatot igényel - azt jelenti, hogy a lemezt a szükséges helyeken nyújtjuk, tehát nem a pupokat ütjük, hanem ellenkezőleg, a hullámvölgyeket! Hasonló módon végezhető a lemezek tompahegesztés utáni egyengetése is, ilyenkor a varratot és környezetét kell végigkalapálni, nyújtani. Természetesen, ez csak a síklemezekre vonatkozik, mert ha rájuk már különféle alkatrészeket felhegesztettünk, csak a kidomborodott helyek zsugorításával lehet azokat egyengetni - a meleg egyengetésnél ismertetendő módon.

A vastagabb (6 mm feletti) lemezek egyengetése kalapálással már igen nehézkes és csak akkor folyamodunk ehhez a megoldáshoz, ha más módszer nem áll rendelkezésre, pl. ha olyan nagyméretű lemezeket kell egyengetni, amelyek nem férnek az egyengetőhengerek alá. (Hazánkban jelenleg max. 3 m munkaszélességű egyengetőhengerek vannak.) Ilyenkor megfelelő egyengetőasztalon - esetleg alátét kalapácson - kell végigkalapálni a varratot. Ezáltal teljes mértékben megszüntethető a szögzsugorodás és egyidejűleg részben a hosszszugorodás hatása is.

Az összehesztett térbeli szerkezetek egyengetése kalapálással már jóval ritkábban valósítható meg, részben a szerkezeti kialakítás, részben a hozzáférhetőség, részben pedig az ellentartás megoldhatatlansága miatt. Az egyszerűbb, kisebb tartónak azonban gyakran mégis ez a legcélravezetőbb egyengetési módja. Pl. az I- és T-tartók övlemezének a nyakvarratok okozta szögzsugorodását kalapálással egyszerűen kiegyengetjük (104. ábra).



104. ábra

Övlemezegyengetés kalapálással

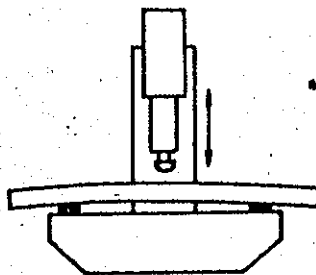
A hengerléssel az elemeknek, elsősorban a lapos- és a szélesacéloknak, valamint a lemezeknek az összeállítást megelőző egyengetését végezhetjük a leggazdaságosabb módon.

A lapos- és a szélesacélokon hengerléssel a kardosságot is megszüntethetjük, ha a rövid (a homorú) szél menti oldalra keskeny szalagacélt helyezünk és a két anyagot együtt engedve át a hengeren, csak ezen az oldalon nyújtjuk.

A vékonylemez egyengetése - bizonyos mértékig - hengerléssel úgy oldható meg, hogy a nyújtásra szoruló helyekre megfelelő méretű vékony lemezdarabokat helyezünk. A nyújtást ilyen módon ott létrehozva, a lemezt síkra egyengethetjük. Ez a módszer azonban gondos és szakszerű munkát igényel és - noha, meglehetősen hosszadalmas - mégis gyorsabb, mint a kézzel végzett kifeszítés ("spannolás").

A tompavarrattal összehegesztett lemezek egyengetésének legcélravezetőbb módszerre szintén a hengerlés (a varratdudort ehhez nem szükséges síkra munkálni). A különböző vastagságú, tompavarrattal összehegesztett lemezek egyengetése már csak igen nehezen, vastagságkiegyenlítő betétlemezek alkalmazásával oldható meg.

A mechanikus vagy hidraulikus működtetésű nyomógépek az összehegesztett szerkezetek igen hasznos és újabban leginkább igénybevett egyengető berendezéssel (105. ábra), szükség esetén az előhajlítás is elvégezhető rajtuk.



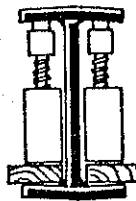
105. ábra

Egyengetés nyomógéppel

Nyomógépen az egyengetés általában gyors és olcsó, ezért ezt a módszert kell választani, ha a szerkezet kialakítása olyan, hogy a nyomógép alkalmas erre. A bonyolultabb, nagyobb méretű térbeli szerkezetek vagy a vékonyfalú, kellően nem merevített lemezek - ha a nyomás alatt levő lemezrészecskék behorpadásával kell számolni - egyengetése nyomógéppel általában nem oldható meg.

A mechanikai erőhatással való egyengetés a gyakorlatban sűrűn előfordul, különféle módszerek lehetségesek itt.

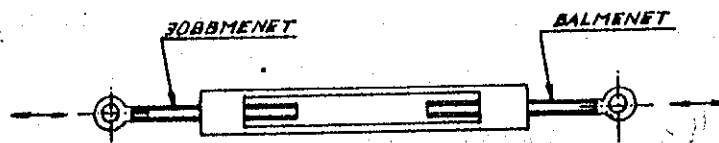
Az amerikánér olyan kis menetemelkedésű, orsóban mozgó csavar, amely jelentős nyomóerők kifejtésére alkalmas. Viszonylag kis méretének révén a legkülönbözőbb szerkezetek görbült, horpadt részei közé helyezhető és a mozgó részének kicsavarásával azok szétfeszíthetők, illetve egyengethetők. A 106. ábrán I-tartó nyakvarratal által okozott övlemez betörés amerikánérrel való egyengetése látható. E műveletet egyidejűleg egyszerre két oldalon kell végezni, mert ellenkező esetben az övlemez a nyakvarrat körül elfordul.



106. ábra

Egyengetés amerikánerekkel

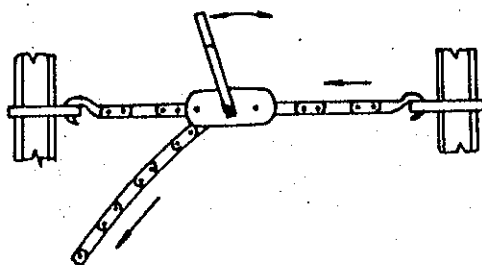
A vonócsavar ellenmenetes keretbe fogott végén csavarbehelyezésre alkalmas gyűrűvel ellátott jobb- és balmenetű csavarból áll (107. ábra). Végehez láncot, vonórudat vagy más egyéb eszközt lehet csavarozni. Ezeket az összehuzandó szerkezeti egységhez (azt átkötve vagy reá ideiglenesen csavart hegesztve) kapcsoljuk, majd a vonócsavar kengyelének csavarásával jelentős összehúzó erőt kifejtve, egyengetjük a szerkezetet.



107. ábra

Vonócsavar

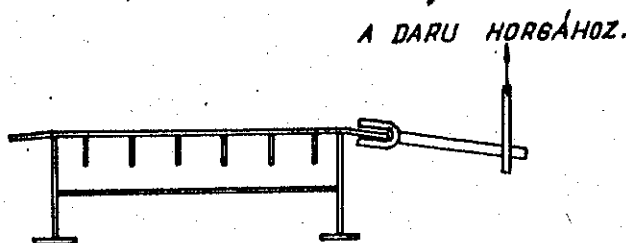
A láncos feszítő (vagy "kötélnyelő") lényege egy olyan kerepes ("racsnis") szerkezet, amelyet ha kézi mozgatásu karral működtetünk, vele láncot vagy drótkötelet továbbíthatunk fokozatosan. A készülék egyik végét fix láncsal az összehuzandó szerkezethez rögzítjük, a másik végébe betápláljuk a mozgóláncot, amelyet a szerkezet ellenpontjához rögzítünk. A racsnis működtetésével ez a láncszakasz egyre rövidül, a szerkezet két megkötött pontja tehát közeledik egymáshoz (108. ábra).



108. ábra

Láncos feszítő

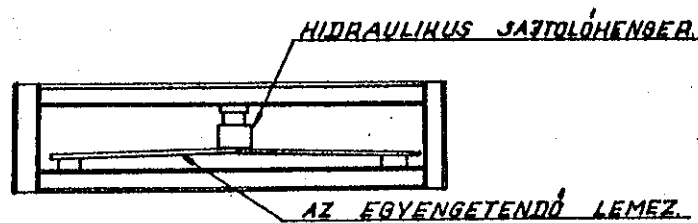
Bizonyos esetekben a műhely teheremelő berendezéssel, pl. daruját is fel lehet használni az egyengetésre. Gyorsan végezhető el így módon pl. a sarokvarratok által be-tört lemezszélek egyengetése. Ha a szerkezet önsulya elegendő, akkor minden további nélkül, ha nem, akkor lehorgonyozzuk és megfelelően kímunkált villa alakú kar segítségével a deformálódott részt felhajlíthatjuk (109. ábra).



109. ábra

Egyengetés daruval

Olykor legoélszerűbben hidraulikus sajtolóhengerekkel oldható meg az egyengetés. A viszonylag könnyen elhelyezhető, kisméretű sajtolóhengerek útján többszáz megapond nyomást is közölhetünk a szerkezettel. A 110. ábrán olyan nagyméretű lemezeknek a tompavarratok okozta alakváltozását egyengetjük sajtolóhengerek és egyszerű keretszerkezet segítségével, amelyek szélességi méretük miatt hengeren, vastagságuk miatt pedig kalapálással nem egyengethetők.



110. ábra

Nagyméretű lemez egyengetése hidraulikus sajtóval

5.5.2 Melegegyengetés

A meleggyengetésnek kétféle módja van. Az egyik azon alapszik, hogy az acél folyáshatára kb. 550°C hőmérsékleten 0-ra csökken, igen képlékeny és könnyen alakíthatóvá válik. Ezt kihasználva az egyengetendő szerkezetet vagy szerkezeti részt teljes keresztmetszetében kb. 600°C -ra felhevítjük és azután valamilyen külső erőhatással (kalapálással, nyomógéppel stb.) a kívánt alakra hozzuk, illetve az alakváltozást megszüntetjük. Ha a szerkezetet 900°C körüli hőmérsékletre hevítjük, annyira kilágyl, hogy már csupán a saját súlyának hatására is megváltoztatja alakját. Ez a jelenség bizonyos esetekben, pl. a vastag lemezek tompavarrata által okozott szögzsugorodás megszüntetésére, jól kihasználható. Ügyelni kell azonban arra, hogy ugyanakkor más szerkezeti részek ne deformálódjanak, pl. a függőleges gerincek kihorpadhatnak.

A másik egyengetési módszer a hőtágulást használja ki és azon alapszik, hogy a szerkezetnek, illetve a keresztmetszetnek csak egy bizonyos részét melegítjük fel, szintén kb. 600°C -ra. A felmelegített rész a hő hatására tágulni igyekszik, erre azonban nincs lehetősége, mert a környező hidegen maradt anyag ezt meggátolja, emiatt zömítődik. A lehülés folyamán a zömítődött szakasz az eredetnél rövidebbre, illetve kisebb terjedelműre zsugorodik, és közben meghuzza környezetében levő hidegen maradt szakaszt. Egyengetés közben kellő helyen alkalmazva a hőbevitelt és a vele járó zsugorodást, kiküszöbölhető a hegesztés okozta alakváltozás.

Ezen egyengetési módszer alkalmazására irányadók a következők:

- a. / Külső erőhatás nélkül, pusztán hővel egyengetni úgy lehet, hogy a szerkezetnek csak egy részét melegítjük fel; maradó alakváltozások csak így jönnek létre. Ha ugyanis a teljes keresztmetszetet melegítjük fel, az kitágul, majd lehülés után eredeti alakját veszi fel.
- b. / A hőbevitel gyors és koncentrált legyen, ellenkező esetben széles sáv melegszik fel, az ellenállás és következésképpen a felhevített szakasz zömítődése, tehát végeredményben a zsugorodás és ezzel az egyengető hatás csökken.
- c. / Mindig az anyagvastagságnak megfelelő méretű szakaszt szabad csak felmelegíteni, mert ha túl nagy sávot hevítünk, zömítődés helyett az kihorpad és lehüléskor

csak ennek a horpadásnak a hullámossága csökken, de az egész szerkezetre kiható alakváltozás nem következik be.

d./ Alapvető szabály, hogy hevítéskor a hőmérsékletet nem szabad $600 \dots 650^{\circ}\text{C}$ fölé (sötétvörös állapot) növelni. Ellenkező esetben kedvezőtlen szövetszerkezeti változások következhetnek be, amelyek - főleg a nagyobb széntartalmu, illetve szén-egyenértékű acélokon - edződést, sőt, repedést okozhatnak. Gyakorlati szabályként fogadható el, hogy a lágy (37-es) acélokat - bizonyos vastagsághatárokon belül - minden további nélkül szabad ily módon egyengetni, mert a melegítést követő lehűlés kevésbé gyors, tehát az edződés veszélye még kisebb, mint hegesztéskor. A hegesztéshez előmelegítést igénylő acélokat lehetőleg nem, vagy csak igen elővigyázatosan a vastagságtól is függő lehűlési folyamat számbavételével szabad ily módon egyengetni.

Egyengetés közben a zsugorodás fokozására - főként a lágyacélokat - vízzel is hűthetjük. Ilyankor mindig a felhevített rész környezetét kell hűteni.

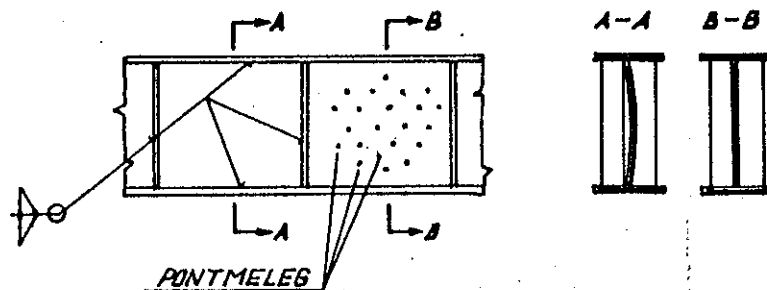
e./ Az egyengetéshez hőforrásként leggyakrabban a hegesztőpisztoly lángját használjuk fel. Ilyenkor tanácsos az oxigén mellé - acetiléngázt alkalmazni, mert az ilyen keverék lángjának hőmérséklete kb. 50%-kal magasabb, mint az egyéb gázféleségeké. A felhevítés kellő gyorsaságát a megfelelő égőfejméret kiválasztásával kell biztosítani, pl. 8 mm lemezvastagság felett már 8-as égőfej szükséges. Vastagabb, nagyobb méretű anyagok felhevítéséhez egyszerre több pisztoly szükséges. Ellenkező esetben egyáltalán nem, vagy csak igen lassan lehet elérni a kívánt sötétvörös állapotot és emiatt az egyengetés nem vezet eredményre.

f./ Az egyengető hatást fokozhatjuk, hogy ha a felhevített anyagot - kellő ellentartással - megkalapáljuk. Ekkor a zömítődés és ezzel a későbbi zsugorodás még erőteljesebb lesz, ebben az esetben célszerű a szokásosnál szélesebb övezetet felhevíteni.

g./ A hőt mindig olyan helyen kell bevinnünk, ahol anyagfeleslegünk van (tehát a dob-
boru él mentén, lemezeken a hullámhegyeknél stb.), gyakorlatilag többnyire a hegy-
varrattal ellentétes oldalon. Ez kézenfekvő is, mert - mint tudjuk - a szimmetrikus keresztmetszeteken a varratok egymás zsugorító hatását kiegyenlítik, tehát alakváltozást nem okoznak. Így egyengetni főként csak az aszimmetrikus keresztmetszetű elemeket kell, ahol a nem létező varratok helyett a zsugorítás szimmetriáját az egyengetéshez alkalmazott hőbevitellel kell megteremteni.

A meleg egyengetés módszerei a következők:

A lemezeket pontmelegítéssel egyengetjük. A pontok vörösmeleget részének átmérője 10 ... 30, szélső esetekben 50 mm legyen, a lemez vastagságától függően. A pontok egymástól való távolságát az alakváltozás mértéke szabja meg, de ne legyen kisebb a pontátmérő négyszeresénél. A pontok hevítését célszerű a szélen kezdeni. Ügyelnünk kell arra, hogy a melegítést csak a már teljesen kihűlt helyen folytassuk, tehát a pontokat ne egymás után képezzük. Az egyengető hatás fokozására célszerű a pontokat - ellentartással - vörösmeleget állapotban kalapálással zömíteni, A 111. ábrán bordázott I-tartó gerincének pontmelegítéssel végzett egyengetését láthatjuk. A sarokvarratok a lemezmezők széleit zsugorítják, a közepe ezért kidomborodik. Az itt kialakuló anyagfelesleget kell a ponthő okozta zsugorítással megszüntetni.

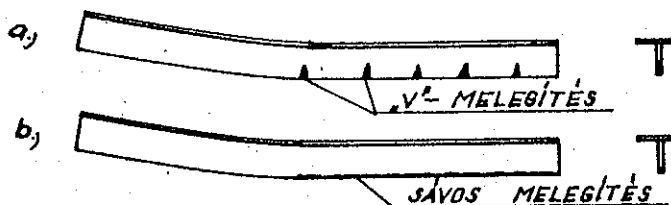


111. ábra

Gerinchorpadás egyengetése pontmelegítéssel

A lapos- és a szélesacélok kardosságát V-meleggel egyengethetjük ki. A hevített övezet szélessége – a lemez vastagságától és szélességétől függően – 10 ... 70 mm, mélysége 20 ... 150 mm között legyen. A melegítések sűrűsége az alakváltozás mértékétől függ, de ne legyen kisebb a szélességi méret kétszeresénél. Az egyengetést középen kezdjük. A 112/a. ábrán a nyakvarrat hatására kardossá vált T-szelvénynek V-melegítéssel végzett egyengetését mutatjuk be.

A 112/b. ábrán az egyengetés másik módszerét, a sávos melegítést szemléltetjük. Ez a megoldás elvileg helyesebb volna, mert – pontos ellentétje lévén a nyakvarratnak – tökéletes egyenességet biztosít, míg a V-hővel tulajdonképpen csak töréseket viszünk az íves szakaszok közé. A gyakorlatban azonban mégis ritkán alkalmazzuk, mert a felhevített övezet szélességének helyes megválasztása igen nehéz. Ha keskenyebb a kelletténél, kezdhetjük az egyengetést előlről, ha szélesebb, tulegyengettük a tartót. Ezzel szemben a V-melegítéssel eljárással, amikor a tartó már közel egyenes, minden egyes melegítés után ellenőrizzük alakját és csak szükség esetén folytatjuk a munkát.

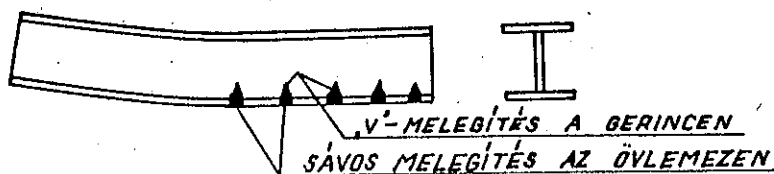


112. ábra

T-szelvény egyengetése "V"-melegekkel és "sávos" melegítéssel

A 113. ábrán olyan I-szelvény egyengetését láthatjuk, amelyen a kapcsolatot a felső övhöz K-varrat-, az alsóhoz kétoldali sarokvarrat biztosítja. Ez a kedvezőtlen, de mégis többször előforduló megoldás (pl. darupályákon) – a K-varrat nagyobb zsugoro-

dása miatt - a tartó kardosságát okozza. A célravezető egyengetési módszer ebben az esetben a V- és a sávos melegítés együttes alkalmazása. Ilyenkor teljes szélességében átmelegítjük az alsó övlemezt és egyidejűleg ugyanott (!!) V-melegítést adunk a gerincbe. Ugyanis, ha csak a gerincet melegítenénk, a hidegen maradt övlemez ellenállna a gerinc zsugorodásának, ez megfolyna és alakváltozás nem jönne létre. De megfordítva is igaz, ha csak az övlemezt hevítjük, a gerinc ellenállása húsítaná meg a zsugorodást.



113. ábra

I-szelvény egyengetése autogénlánggal

Ha magas és vékonygerincű I-tartó kardosságát kell megszüntetni, akkor az előbbi ut nem járható, mert a V-hő feletti - nem zsugorított - szakasz kihorpad. Ilyenkor a gerinc alsó szakaszának pontmelegítéssel zsugorítása vezet célhoz.

A bonyolultabb szerkezetek egyengetése igen nagy szakértelmet kívánó, kényes munka. Elvileg az előzőekben részletezett módszerek - a pont-, a V- és a sávos melegítés - megfelelő helyeken való egyenkénti vagy együttes alkalmazásával oldható meg. Ennek lehetőségét azonban már a szerkezet kialakítása és a technológiát utasítás elkészítése során kell biztosítani.

5.6 Hegesztett szerkezetek mérethelyességének biztosítása

Hegesztéskor és az azt követő egyengetéskor bekövetkező zsugorodások, alakváltozások következtében a hegesztett szerkezetek általában - ellentétben a szögecseltekkel, illetve csavarozottakkal - nem készíthetők el mm-es pontossággal. A hossz- és keresztméreteken, továbbá az egyes elemek síkjában a tervtől való kisebb-nagyobb eltérések a leg gondosabb munka ellenére is még sorozatgyártás és készülékezés esetén is adódnak. Ezzel részint a tervezőnek, részint a technológusnak feltétlenül számolni kell!

Tervezéskor a hegesztés közben adódó pontatlanságokat oly módon kell figyelembe venni, hogy - ha erre szükség van - előírjuk a szerkezet helyesbítésének lehetőségét. Pl. egy gépalapként készülő keret megfelelő helyekre alátétlemezeket hegesztünk, amelyeket utólag gépi megmunkálással síkra hozhatunk. Vagy ha szükséges, hogy az egész felület pontosan sík legyen, akkor a lefedőlemezt (övlemezeket) vastagabbra tervezzük, hogy az legyen lemunkálható. Más esetben, pl. ha a szerkezet különféle helyekre pontos helyzetigényű csapok kapcsolódnak, akkor ezek perselyeit utólag helyezzük el és a rögzítésükre szolgáló felületeket nagyobbra tervezzük, hogy a perselyek azon az előírt helyre beállíthatók legyenek.

A technológiai utasítás kidolgozásának egyik alapvető szempontja a mérethelyesség biztosítása legyen. Ha a terv ezt külön nem írja elő, a technológus állapítja meg, hogy a szóbanforgó szerkezet egyes méreteit milyen pontossággal kell betartani. Részben ettől, részben pedig attól függően, hogy milyen pontossággal képes megbecsülni a várható zsugorodásokat és az egyéb gyártási pontatlanságokat, kell eldöntenie a munka menetét.

Ha a szerkezettel szemben nincs különösebb mérethelyességi igény, akkor általában elegendő, ha a keresztmetszeti és varratméretektől függően megbecsüljük a hossz- és a keresztzsugorodások mértékét és az elemeket ennek megfelelő ráhagyásokkal daraboljuk.

Pl. épületszerkezetek egyszerű, nem nagyon hosszú, hegesztett I-tartói (oszlopai, födémgerendái stb.), amelyek csavarozott illesztésekkel kapcsolódnak, legyárthatók oly módon, hogy az öv- és a gerinclemezeket a nyakvarrat okozta zsugorodásnak (kb. 0,5 mm/m) megfelelően hosszabbra szabjuk és végeikbe az illesztési furatokat 4 ... 6 mm-es utándörzsölési lehetőség biztosításával előfurjuk. A szelvényt így állítjuk össze, meghegesztjük és kiegyengetjük. Az illesztési furatokat a csatlakozó részek (esetleg helyszíni) összeállítása és a hevederlemezek felszerelése után dörzsöljük végleges átmérőjűre. Abból - a jelen esetben - nem származik semmi baj, ha az így legyártott szerkezeti részek néhány mm-rel eltérnek a tervszerinti mérettől.

Ha az előbbi megoldással biztosítható pontosság nem kielégítő, a szerkezetet a várt zsugorodásnál nagyobb ráhagyásokkal kell elkészíteni és utólagosan méretre munkálni. Pl. két féldarabból összezsavarozott, hegesztett hajtóműházba az illesztés helyére a terv szerintnél vastagabb csatlakozóelemeket építünk be, de azokat csak a hegesztés és az egyengetés után marjuk méretre. Ugyanígy ekkor furjuk, illetve esztérgáljuk a különféle csavarok, csapok, tengelyek, csapágyak furatait, illetve munkáljuk meg az egyéb, nagyobb pontosságot igénylő felületeket.

Más szerkezeteknél - pl. ortotróp hidak pályaszerkezeténél, nagyobb pontosságot igénylő szerkezetek I-tartóinál stb. - az elemeket (szintén) ráhagyással daraboljuk. A helyszíni illesztés lyukait (vagy varratkiképzését) csak az egyik végen munkáljuk meg előre. Az elemek összeállításánál ebből a végből indulunk ki (itt ütköztetünk). Hegesztés és egyengetés után berajzoljuk a másik véget is, majd ezt méretre munkáljuk (levágjuk és köszörüljük, vagy marjuk) és az illesztés lyukait (a varratélet) elkészítjük. Ez a módszer természetesen igen költséges, de ha a (jogosan!) igényelt pontosság nem érhető el egyszerűbben, mégis követni kell. A hagyományos szerkezetgyártó technológiánál ezt az utat gyakran azért is kell járni, mert (a gyártási pontatlanságok miatt) az egymásra kerülő elemek hossza különbözik és így az illesztéseknél a szerkezet lépcsős lesz. Az NC-lángvágásra épülő technológia (lásd a 7. fejezetnél) egyik óriási előnye éppen azon alapszik, hogy (a nagy pontosságú darabolás következtében) az utólagos méretre munkálás elmaradhat. A zsugorodások becsléséből eredő hiba többnyire elhanyagolhatóan csekély, illetve elég az egész szerkezeten (pl. hídon) csak egy-két helyen ráhagyásos, korrekciós tagot alkalmazni.

6. Az acélszerkezet-építésben használatos hegesztő eljárások

A tárgyalásaink körébe tartozó acélszerkezeteknél az elemeket, szerkezeti egységeket:

szegecseléssel
csavarozással
hegesztéssel

szokás összekapcsolni.

Amíg az első kettő külső, közvetett eszközökkel, a hegesztés az atomok közötti vonzás, a kohézió útján biztosítja az erőátadást.

Kohéziós kapcsolat létrehozásához az atomokat megfelelő közelségbe kell hozni, a felületen levő szennyezőket el kell távolítani. Ez történhet pusztán erővel vagy hővel, esetleg mindkettő együttes alkalmazásával, hozaganyag(mely az alapanyaggal azonos, vagy közel azonos fajtájú) hozzáadásával, vagy anélkül. A lehetőségek sokfélesége a hegesztő eljárások számos variációjára nyújt módot. Az acélszerkezetépítésben ezek közül a pusztán hővel dolgozó ún. "ömlasztó" hegesztés terjedt el, melynél hőforrásként az elektromos ív szolgál. Hozaganyagot is alkalmaznak, mely egyben áramvezető is. Ez az eljárás Szlavjanov nevéhez fűződik, és "elektromos ívhegesztés"-nek nevezik.

Az elektromos ív hőhatását Petrov már 1802-ben felfedezte, Benardos, Zener, majd Szlavjanov a század végén (1891.) ezt a hegesztéshez hasznosította. A hegesztőívben és a hegfürdőben lejátszódó különböző folyamatok bonyolultsága azonban nem tette lehetővé az elektromos ívhegesztés elterjedését a kezdeti időszakban. Erre csak a huszas években a kézi ívhegesztés, a negyvenes években a fedettív és az ötvenes években a védőgázos hegesztés esetében kerülhetett sor. Azóta a különböző eljárások, berendezések, hozaganyagok és hegesztéstechnológiák óriási fejlődésen mentek keresztül, mely a mai napig sem zárult le.

A cél: a töréssel szemben maximális biztonságot nyújtó kötés minimális költségekkel és időráfordítással történő létrehozása.

A hegesztőívben és a dermedő hegfürdőben különböző fizikai és kémiai folyamatok mennek végbe, melyekhez kristályosodási és alakváltozási folyamatok kapcsolódnak. Ezek együttese határozza meg a kötés minőségét.

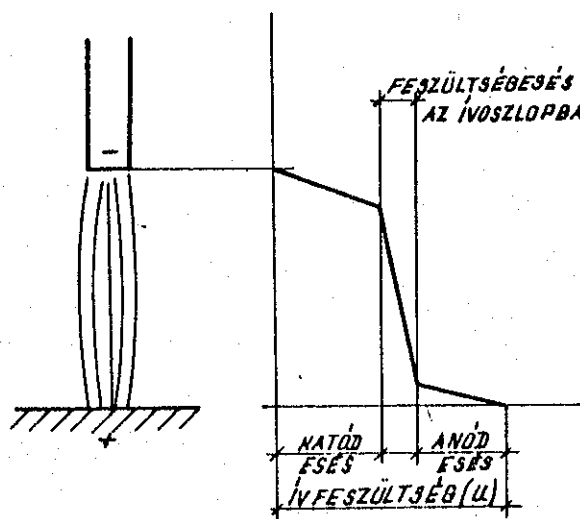
Az ív fizikai folyamatait az ívgyújtással veszik kezdetüket. Ez oly módon történik, hogy az elektródát az alapanyaghoz érintjük, majd elhúzzuk. Az átfolyó nagyerősségű rövidzárási áram elektromos ellenállása keltette hő megolvasztja az elektróda végét és az alapanyagot. Az elektróda eltávolításakor keletkező feszültségkülönbség hatására a fölhevült katódból elektronemisszió indul az anód felé. Ezek ütköznek az ívben levő atomokkal, azokról további elektronokat szakítva le, becsapódnak az anódra. Az atomok pozitív töltésűvé vált ionjainak áramlása ellenkező irányú.

A jelenség fény és hőfejlődéssel, valamint anyagátvitellel jár. A hőmérséklet az ív különböző szakaszaiban változik, az anód és a katód közelében, valamint az ív belsőjében magasabb. Értékét $4000 - 6000^{\circ}\text{C}$ -ra becsülik. A hő nagyrészt gőz állapotba hozza az ívbe került elektróda fémét.

Az anyagátvitelt különböző erőhatások - elektromos-, mágneses-, gáz-, nehézségi-, tömegvonzási-, erőkből, a felületi feszültségből, az ún. "Pinch effektus"-ból (mely a cseppet leválasztja) adódó erők eredője - irányítják oly módon, hogy az minden esetben (pozitív és negatív polaritás, vízszintes vagy kényszerhelyzeti hegesztés) az elektróda felől az alapanyag felé történik. Az eredő erő abszolút értékét befolyásolja a csepp nagysága. Finom cseppes átvitelnél nagyobb, ilyen esetben a pozitív-hegesztés jobban végezhető.

A feszültségesés az ívben három szakaszra osztható:

A katód, az ívoszlop és az anódesés szakaszaira (114. ábra). A katód, ill. az anód előtti meredek szakaszok az ott felgyülemlett ionok, ill. elektronok felhőjének tulajdoníthatók.



114. ábra

Feszültségesés az ívoszlopban

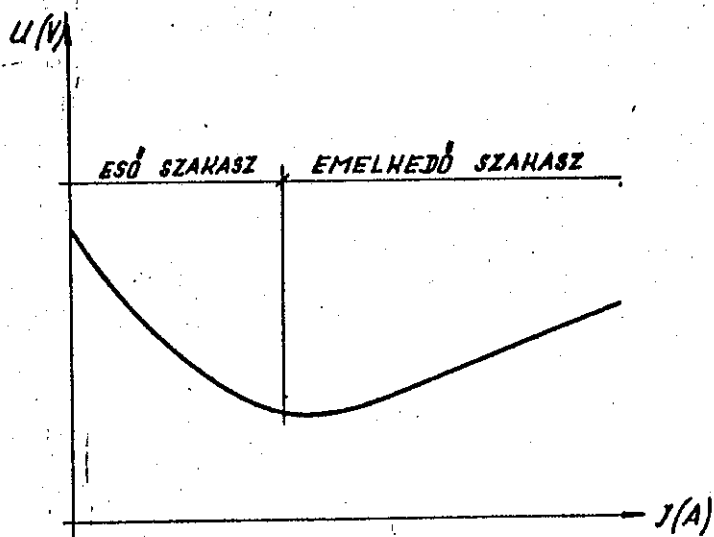
Az ív tulajdonságait jelentősen befolyásolja az áramsűrűség:

$$i = \frac{I}{F} \quad \frac{(A)}{\text{mm}^2}$$

azaz a felületegységre eső áramerősség.

Ennek növekedésével kezdetben esik, majd emelkedik az ívnek az áramerősség függvényében az ívfeszültséget meghatározó ún. "statikus-jelleggörbéje", az anyagátvitel egyre finomabb cseppekben, majd gőz állapotban történik, az ívoszlop elektronokban és ionokban egyre teltebb.

A jelleggörbe ("karakterisztika") így két részre, eső és emelkedő szakaszra bontható (115. ábra).

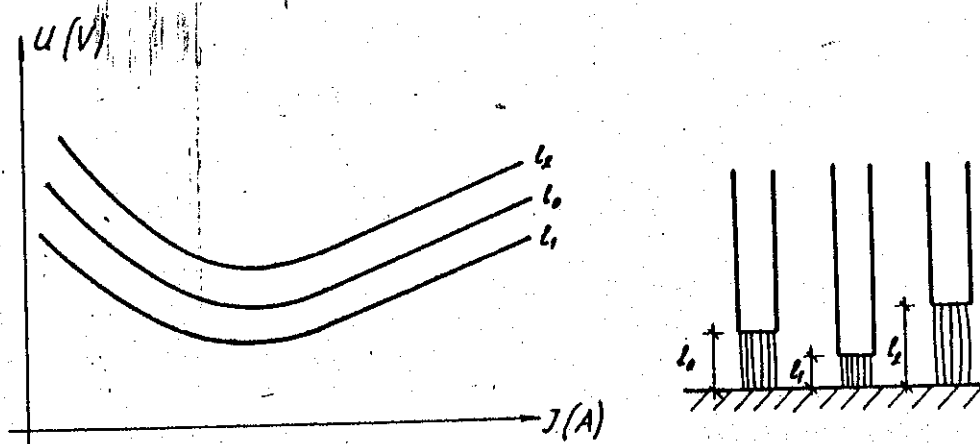


115. ábra

A hegesztőlólv statikus jelleggörbéje

Az ívhegesztés gyakorlatban elterjedt három eljárása: a kézi ív, a fedettíví és a védőgázos - más-más áramsűrűségeket alkalmazva - más-más jelleggörbéjű ívekkel dolgozik, ezért más és más jelleggörbéjű áramforrást is igényel.

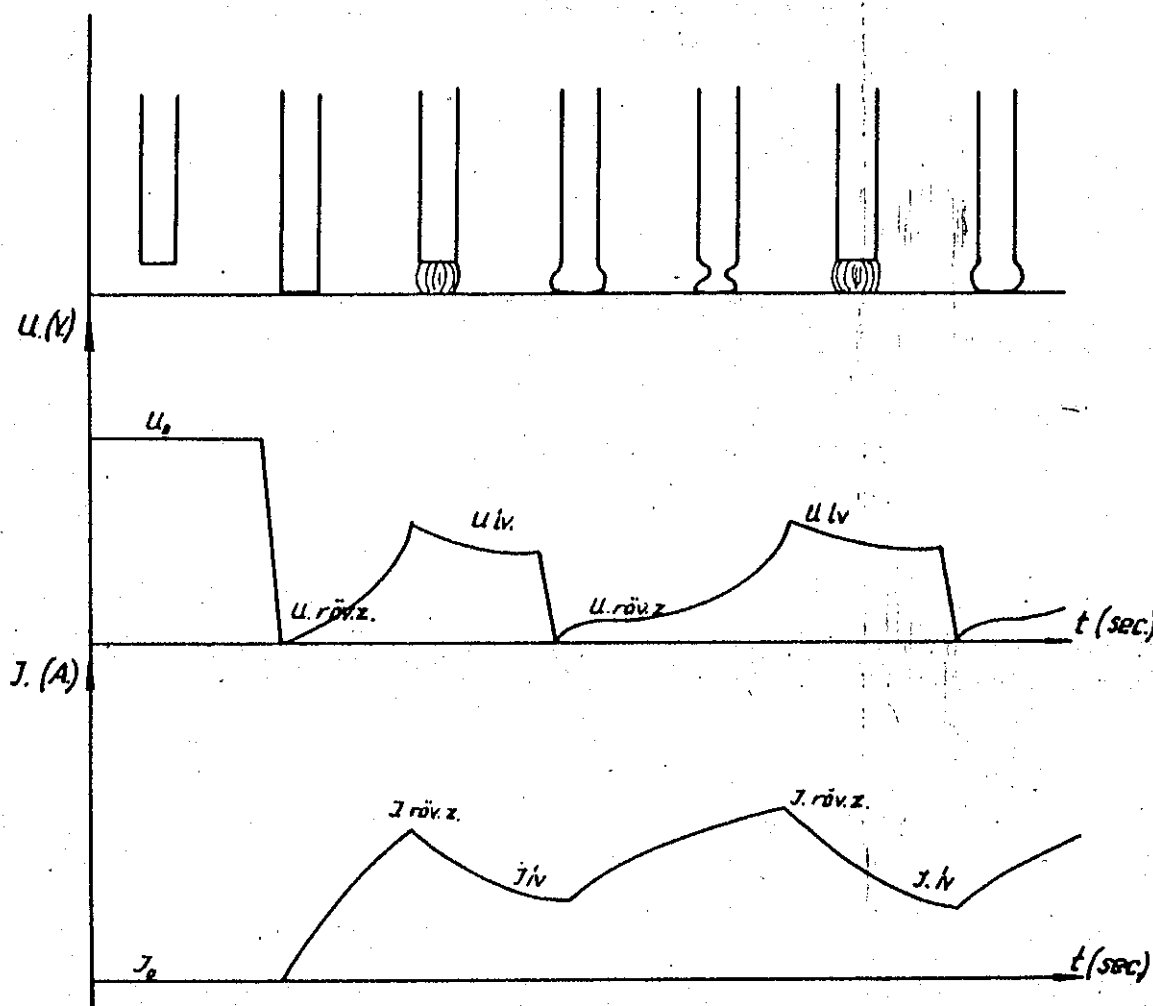
Az ívhossz változásával a feszültség arányosan változik, a jelleggörbe tehát kb. önmagával párhuzamosan eltolódik, éspedig az ívhossz csökkenésével lefelé, növekedésével felfelé (116. ábra).



116. ábra

A hegesztőlólv jelleggörbéje az ívhossz változásával eltolódik

A cseppátmenet azonban többnyire rövidzárlatokat hoz létre az ívben. Ezt a folyamatot az ív ún. "dinamikus jelleggörbéje" szemlélteti (117. ábra). Ivgyújtás előtt viszonylag magas (70–80 V), ún. "üresjárási feszültség" mellett az áramerősség értéke zérus; rövidzáráskor a feszültség minimumra csökken, az áramerősség maximálissá emelkedik; majd ívhúzáskor beáll – a statikus jelleggörbében ábrázolt – normál áramerősség-ívfeszültség viszony; végül a leolvadó csepp fémhídja által létrejött rövidzárlat alacsony ívfeszültséggel és nagy áramerősséggel jár.



117. ábra

A hegesztőív dinamikus jelleggörbéje

Az ív statikus és dinamikus jelleggörbéjét a stabil, nyugodt hegesztőív biztosítása érdekében a hegesztőáramforrásoknak megfelelően követniük kell. Minél inkább képesek erre, annál jobban teljesítik feladatukat.

A hegesztőívben, a fürdőben és a dermedő varratban végbemenő kémiai reakciólán-
cok során alakul ki a varratfém vegyi összetétele, mely annak minőségét alapvetően
befolyásolja. Az eljárás feladata egyrészt, hogy a levegő oxigénjét és nitrogénjét az
ív és a fürdő igen erősen reakcióképes elemektől távol tartsa, másrészt, hogy az
alapanyag és hozanyag közötti reakciókat olyan irányba terelje, mely a szennyezőket
a salakba juttatja és a varratfémeket megfelelően ötvözi.

Az elmondottakból következik, hogy a hegesztés során:

- ivgyújtás,
- ivstabilizálás,
- levegő távoltartása,
- kémiai reakciók,
- varratformálás (esetleg pozícióban is)

vonatkozásában fontos feltételeket kell kielégíteni.

Mindezek nagy részére a Szlavjanov féle csupasz elektródás eljárás nem képes. E
feladatokat annak továbbfejlesztett változatai:

- a bevont elektródás kézi ivhegesztés
- a fedettív hegesztés
- a védőgázos hegesztés

más és más úton oldja meg.

A következőkben az acélszerkezet-építésben elterjedt e három eljárás tárgyalásaink
szempontjából legfontosabb jellemzőit ismertetjük.

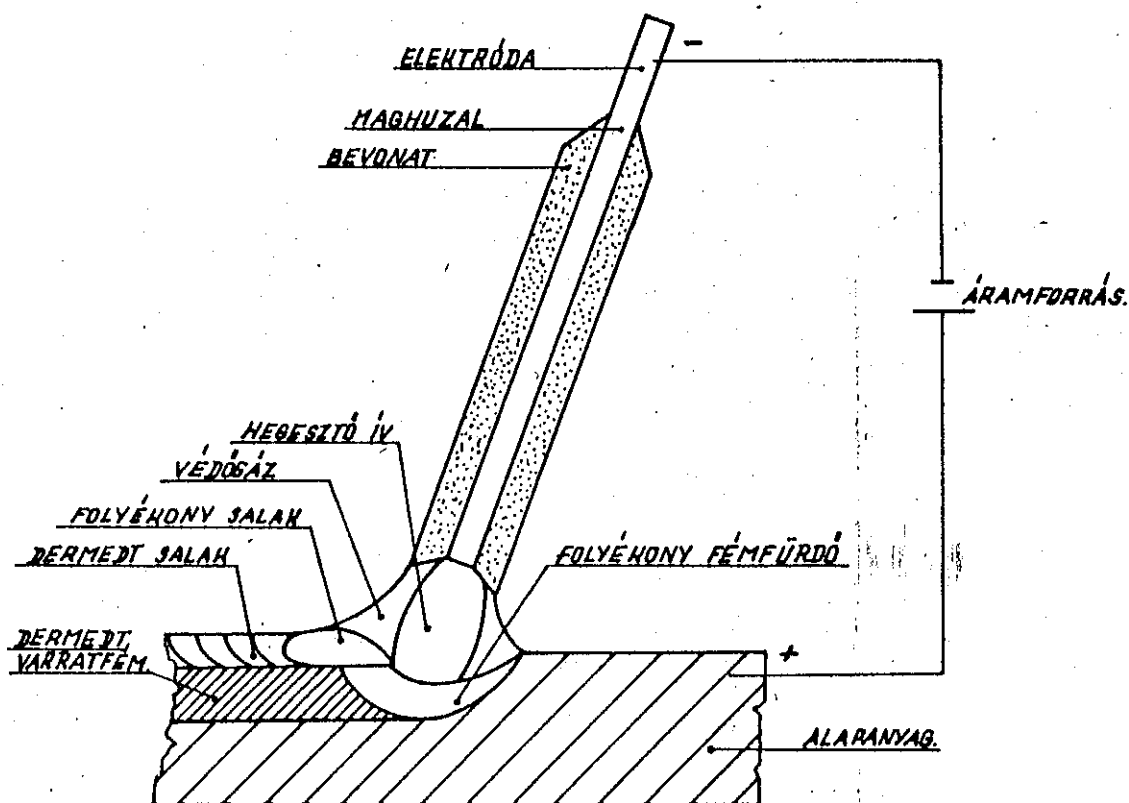
6.1 Kézi ivhegesztés

Az ivhegesztő eljárások közül a legegyszerűbb, máig is széles körben alkalmazott
eljárás a bevont elektródás kézi ivhegesztés. Elterjedése - a bevonatos elektródák
gyártásának bevezetését követően - az 1920-as évektől számítható.

6.1.1 Az eljárás lényege

A hegesztést megfelelő összetételű bevonattal ellátott fém huzaldarab, az un. "elek-
tróda" segítségével hajtjuk végre. Az elektróda egyik végébe vezetjük a hegesztő
áramot, másik végével ívet gyújtunk ill. tartunk (118. ábra). Az elektróda így teljes
hosszában áram alatt van, az elektromos ellenállás fejlesztette hő az elektróda tágu-
lásához, túláram esetén átizzásához vezet. Ebből a bevonat megrepedése, ill. teljes
leválása következhet. Mindez az áramterhelhetőség, ezen keresztül a leolvasztási
teljesítmény, legvégső fokon az eljárás teljesítményének határait szabja meg.

A max. áramsűrűség - főként az elektróda-átmérő függvényében - $10-20 \text{ A/mm}^2$
között van, az elméleti leolvasztási teljesítmény - szintén az elektróda átmérőtől
függően - $0,5-3,0 \text{ kg/h}$, a gyakorlati (mellékidőkkel terhelt), leolvasztási teljesít-
mény ennek kb. fele.



118. ábra

A bevont elektródás kézi ívhegesztés vázlata

A hegesztéskor lejátszódó fizikai és kémiai folyamatok nagyrészt a bevonat szabályozza: elősegíti az ívgyújtást, stabilizálja az ívet, gáz védőbevonattal látja el az ívet, és a hegfürdőt, ötvözi a heganyagot, salakba viszi a szennyezőket, salaktakaróval borítva védi és alakítja a dermedt varratot; így annak a varrat alakjára és mechanikai tulajdonságaira vonatkozóan meghatározó szerepe van. (A különféle ötvöztelen acél hegesztő elektródák maghuzalja azonos összetételű lágyacél.)

Az elektróda vezetését – mindkét irányban: a varrat tengelyével párhuzamosan és a varrat felé közelítve – a hegesztő végzi. Az ívtartás és így a varrat minősége tehát nagy mértékben függ a hegesztőtől.

6.1.2 Az eljárás berendezései

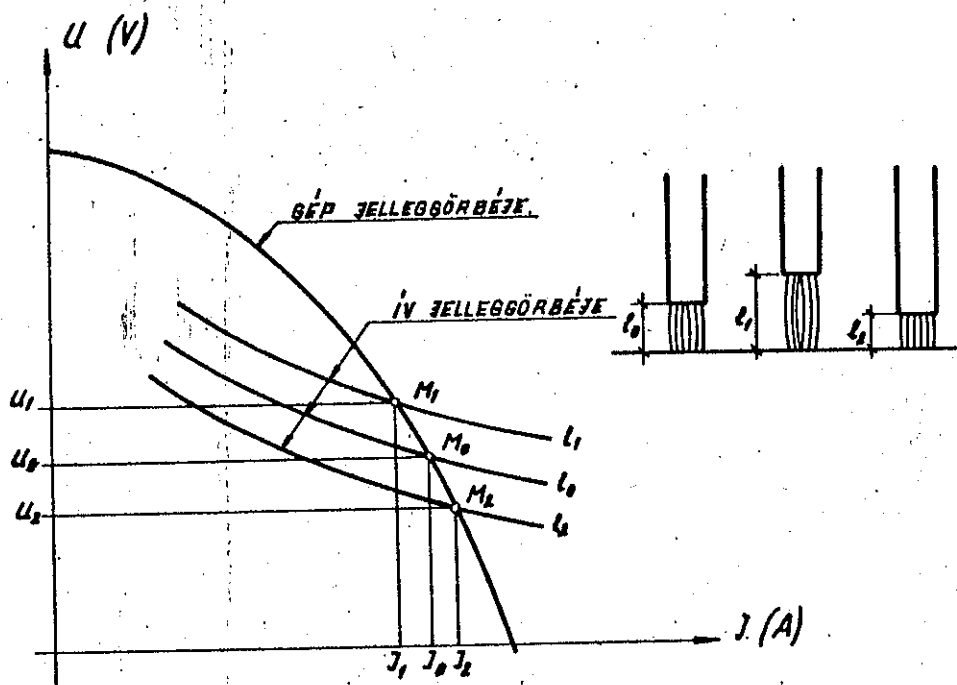
A kézi ívhegesztés berendezései lényegében az áramforrásból, az elektródafogóból és a munka-, valamint a testkábelből állnak. Segédeszközök a hegesztőtápkörrel ellátott védőpajzs vagy sisak, a védőruházat (bőrkesztyű, -kötény, -kar és -lábszárvédő), valamint a salakleverő, az ecset, vagy seprő és a drótkefe.

Áramforrásként a gyakorlatban háromféle gép szolgál:

- váltakozó áramu transzformátor
- hegesztő egyenirányító
- hegesztő generátor

Mindhárom a hálózatról táplálkozik (esetleg benzin, vagy diesel-motor hajtja), az első kettő (általában) két fázison, a harmadik három fázison, 380 V-ot igényel a primer oldalon. A szekunder oldalon alacsony feszültségű (60-100 V) és nagy erősségű (100-1200 A) hegesztőáramot szolgáltatnak - a transzformátor váltakozót, a másik kettő egyenáramot.

A kézi lvhegesztésnél előforduló áramsűrűségekre vonatkozó lv-jelleggörbe a hegesztő áramforrástól meredeken eső statikus jelleggörbét kíván a megfelelő lvstabilitás érdekében (119. ábra) ugyanis a hegesztőlv stabilan az lv- és a gép-jelleggörbéjének metszéspontjában, az l_0 lvhossznak megfelelő "munkapontban" (M_0) kiadódó áramerősség (I_0) és lvfeszültség (U_0) mellett ég. Az egyenlőtlen elektródavezetésből eredő, megnövekedett, vagy lecsökkent lvhosszhoz más (l_1 , ill. l_2) lv-jelleggörbe és így más (M_1 ill. M_2) munkapont tartozik. Az lvhosszváltozások, még ha viszonylag jelentős feszültségkülönbségekkel (U_1 , U_2) járnak is, csekély áramerősségváltozást (I_1 , I_2) eredményeznek, ha a gép jelleggörbéje meredek. Ebben az esetben tehát a leolvastási teljesítmény változás csekély (a kis áramerősség-csökkenést kompenzálja a feszültségemelkedés és fordítva). Az lv megváltozott hossz mellett is stabilan ég tovább, míg nem a rövidebb lvhez tartozó nagyobb áramerősséggel járó gyorsabb, vagy a hosszabb lvhez tartozó kisebb áramerősséggel járó lassabb leolvadás következtében visszaáll az eredeti lvhossz, azaz a munkapont.



119. ábra

Az áramforrás és a hegesztőlv jelleggörbéivel meghatározott lv viszonyok kézi lvhegesztésnél

A meredek jelleggörbe fontos tulajdonsága az is, hogy a rövidzárási áram (I_r) nem túl nagy, így ivgyújtáskor nem keletkezik túlzott hő, amely az elektródát hosszabb szakaszon fellizzítaná és a bevonatot tönkretenné.

Az iv stabilitása szempontjából jelentősek a gép dinamikus tulajdonságai is. Fontos, hogy a cseppleválasztással járó rövidzáras után minél hamarabb álljon vissza a feszültség-áramerősség egyensúly.

A három-fajta áramforrás közül a hegesztőgenerátorok (a dinamók, melyek három-fázisu motorral hajtott, vele egybeépített áramfejlesztők) adják a legkedvezőbb hegesztőáramot. Ezek egyrészt a legkevésbé kényesek a hálózat feszültségeséseire (a forgó gép tehetetlensége folytán), másrészt dinamikus tulajdonságaik a legjobbak. Előnyük az is, hogy a hálózat mindhárom fázisát egyenlően terhelik. Hátrányuk, hogy beszerzési áruk és fenntartási költségük a legnagyobb.

A hegesztő egyenirányítók, (melyek a transzformátor szekunder áramának egyenirányítása útján egyenáramot szolgáltatnak) kis meghibásodási lehetőségük, gazdaságos üzemük következtében egyre jobban terjednek.

A hegesztő transzformátorok lassan kiszorulnak az üzemekből, mert bár olcsóbbak, igénytelenek, de egyrészt a hálózati feszültséggel együtt ingadozó áramerősség és a váltakozó áram kedvezőtlenebb hegesztési tulajdonsággal, másrészt a váltakozó áram veszélyesebb élettani hatása komoly hátrányt jelent a másik két géppel szemben.

6.1.3 Hozaganyagok

Hozaganyagként a vékonyan, közepesen, vagy vastagon bevont elektródák szolgálnak.

A járatos (maghuzal) átmérők 1,5; 2; 2,5; (3,15); 3,25; 4; 5; 6 mm; az elektródák általában 450 mm hosszúak, vékonyabb átmérőknél 300 mm-esek.

Egy elektródatípus megítélése általában két szempont: a hegesztés közben mutatott tulajdonságai, valamint az elkészült varrat mechanikai jellemzői alapján történik.

A hegesztési tulajdonságokat az ivgyújtás, az ivstabilitás, a cseppátmenet, a hegfürdő kezelhetősége (a salak viselkedése), az alkalmazható hegesztési helyzet, a résáthidaló képesség, a fröcskölés, a salakleválás, az elkészült varrat alakja és felülete határozza meg. Igen fontos, hogy a bevonat koncentrikusan helyezkedjék el a maghuzal körül, néha (nehezen hozzáférhető varratok készítésekor) igény, hogy az elektróda meghajlításakor a bevonat ne töredezzon le. A hegesztési tulajdonságokról gyakorlatlott szakember próbahegesztések segítségével gyorsan adhat véleményt.

A varratfém mechanikai jellemzőit a hegesztett kötésből kismunkált különféle próbapálcák vizsgálatával lehet megállapítani. Az erre vonatkozó katalógus adatokat célszerű kritikával fogadni, márcsak azért is, mert azok mindig a tiszta ömledékre vonatkoznak. A gyakorlati szakember számára azonban a hegesztett kötés a mértékadó, mely pedig mindig több-kevesebb alapanyagot is tartalmaz. Mechanikai tulajdonságait ezen felül még az alkalmazott technológia is erősen befolyásolja. Kényesebb esetekben tehát kívánatos az adott alapanyaggal és a bevezetendő technológiával próbát készíteni, és ennek eredményei alapján eldönteni a vizsgált elektródatípus alkalmasságát. A próbapálcák kiértékelésénél a mértékadó szempont általában az, hogy a kö-

tés mechanikai tulajdonságai legalább az alapanyagra előírtakat elérjék. (A gyakorlatban célszerű az ütvizsgálatot alacsonyabb hőmérsékleten is elvégezni a szórásbiztonság érdekében.)

Az acélszerkezet-építésben használatos ötvöztelen kötő elektródákat leginkább bevonatuk jellege alapján szokás osztályozni. E szerint vannak

- savas (S),
- ruttilos (R, Ti),
- cellulóz (C),
- bázikus (B),

típusu elektródák, melyeknek maghuzalja azonos: kb. 0,10 C; 0,5 Mn; 0,03 S és P tartalmu csillapítatlan lágyacél.

A savas bevonatu elektródákat (a hazai típusok: ES 1 és ES 2) csak a harmadrendű, MSz 500 szerinti acélokból készült szerkezeteknél szabad alkalmazni, mert - bár hegesztési tulajdonságaik kedvezőek - a varratfém szívóssága csekély, átmeneti hőmérséklete magas.

A ruttilos és cellulóz bevonatuak általában kiváló hegesztési tulajdonságokkal rendelkeznek, de a velük készített varratfém szívóssága csak a "B" acélkategória követelményeit elégíti ki.

A rutil család hazai gyártásu képviselői az ER 1 és ER 4 (normál szerkezethegesztéshez); az ER 3 (vékonylemez hegesztéshez); az ER 5 (pozícióhegesztéshez) már nem nevezhetők korszerű elektródáknak, de a legfőképpen, igen jó hegesztési tulajdonságokkal bíró ER 8 típus a rutil bevonatu elektródákkal szemben ma támasztható követelményeket kielégíti.

A cellulóz bevonatuak (EC 1 és EC 2 típusok) pozíció hegesztésre készültek, de - főként a leolvasztáskor keletkező kellemetlen szagú gázok miatt - nem terjedtek el.

A legfontosabb típus, és a C, D, E kategóriájú acélokhöz kizárólagosan használható, a bázikus bevonatu elektródák családja. A hazai EB 1-es típussal készített varratfém kiváló szívósságú (TKV_{2,8} $\leq -60^\circ\text{C}$), ezzel szemben az elektróda hegesztési tulajdonságai és a varrat kialakítása gyengék. Korszerűbb elektróda az EB 125 és az ezt felváltó, nemrég bevezetett EB 115. Mindkettő kielégíti a D kategória követelményeit. Hátrányuk azonban, hogy - a nagyobb kihozatal következtében - pozíció hegesztésre nem alkalmasak.

A bázikus elektródák kényesebbek a többinél. Feltétlenül igénylik a felhasználás előtti kiszáritást (általában 300°C -on 2-3 órán keresztül), csak egyenáramról (+pólusról) hegeszthetők. A velük készített varrat alakja is domborúbb, durvábban pikkelyezett felületű, mint a ruttilos elektródával készített varraté. A varratfém kitűnő mechanikai tulajdonságai, alacsony hidrogéntartalma azonban olyan előnyt jelentenek, melyek következtében a bázikus elektródák térhódítása egyre jelentősebb, kényesebb acélszerkezeteknél egyeduralkodóvá váltak.

A hazai elektródagyártás sem mennyiségi, sem minőségi vonatkozásban nem képes kielégíteni az egyre fokozódó igényt. A már évek óta tervezett rekonstrukció optimá-

Iis esetben 1980 tájára hozhat javulást e téren. Ezért az utóbbi időben egyre nagyobb mennyiségű importra szorultunk. Saját vizsgálatok és tapasztalatok alapján kiváló hegesztési tulajdonságokkal rendelkező, pozíció hegesztésre is alkalmas bázikus elektródák: az E kategóriáig bezárólag (37 és 52-es acéloknaál egyaránt) alkalmazhatók az ETARC cég ESPADON 56, az OERLIKON cég TENACITO 55 típusa; a D acél-kategóriáig bezárólag alkalmazhatók az ESAB cég OK 48 00 és a BÖHLER cég BÖHLER FOX EV 50 típusa.

Külön kell beszélni a külföldön már igen széles körben elterjedt ún. "nagyhozamu" elektródákról. Ezek (a maghuzal tömegéhez képest) 150-250%-os kihozattal dolgoznak, a hegesztő effektív teljesítményét 1,5-2-szeresére emelik, jó minőségű, kiváló felületű varratokat biztosítanak. Természetesen csak vályu és vízszintes hegesztésre alkalmasak. Sajnos hazai gyártásu nagyhozamu elektróda nincsen. Tapasztalataink alapján a külföldiek közül kiváló hegesztési tulajdonságokkal rendelkezik az ETARC cég NARVAL 200, jó tulajdonságokkal az OERLIKON cég FERROCORD 250 B, gyengébb a BÖHLER cég HL 180 KB típusa. Az első a C, a másik kettő a D kategóriájú acélminőségig bezárólag alkalmazható.

6.1.4 Hegesztéstechnológia

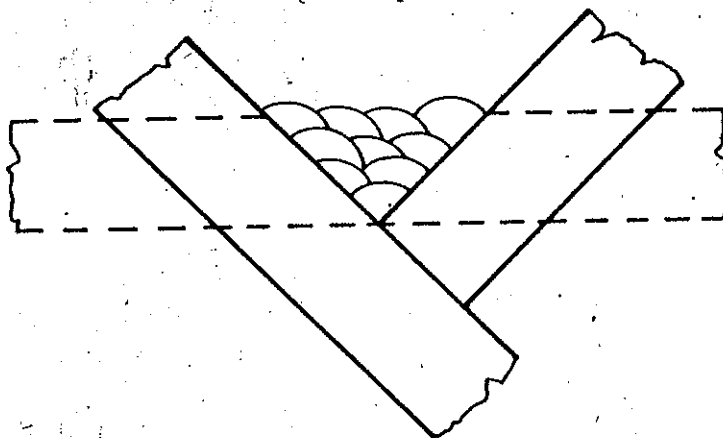
A kézi ívhegesztéshez az élképzést előírásokat az MSz 4304/4-63 tartalmazza. E helyen újra kihangsúlyozzuk (lásd még a 3.1 pontot is), hogy a varratok helyes megválasztása, az élek gondos, előírás szerinti előkészítése nagy jelentőséggel bír, mind a minőség, mind pedig a gazdaságosság vonatkozásában.

Fontos az áramátvitel kifogástalan volta: nem túl hosszú (max. 30 m), ép szigetelésű hegesztő és testkábelok, fémes, átmeneti ellenállást nem jelentő csatlakozásokkal (beforrasztott kábelsaruk); teljesen szigetelt, az elektródát megfelelően rögzítő, az áramot kellően vezető elektródafogó.

Ezek teljesülése esetén a hegesztés az elektródára megadott - a lemezvastagság, a hegesztési helyzet szerint kismértékben módosuló - áramerősséggel történhet. Az ívfeszültség az ívhossztól függ, ezt viszont szintén az elektródatípus szerint kell megválasztani. Mértéke általában az elektróda (maghuzal) átmérőjével azonos. Bázikus elektródánál, nagyhozamu elektródánál rövid ívvel, ún. "kontakt" eljárással kell dolgozni, azaz a bevonat az alapanyaghoz érhet.

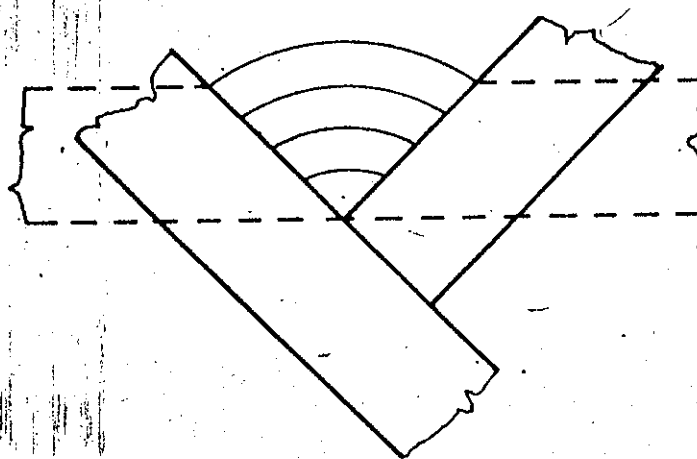
Az elektróda vezetése általában "jobbra-hegesztéssel", egyenesvonaluan vagy íveléssel történik. Az egyes sorok és rétegek számát, lerakásuk sorrendjét - a varrat keresztmetszetén belül, ill. a varrat teljes hosszára vonatkozóan - célszerű a hegesztéstechnológiai tervben előírni. Erre vonatkozóan a már korábban mondottak irányadóak (lásd a 3.3 és az 5.4 pontokat). Az alábbiakban röviden összefoglaljuk az általános esetekben a varrat-keresztmetszet készítésére vonatkozó alapszabályokat.

A vályuhelyzetű varrat készülhet egyenesvonalu elektródavezetéssel, egy rétegen belül több sorral (120. ábra), vagy íveléses vezetéssel (121. ábra). Ez utóbbinál azonban ügyelni kell arra, hogy a túl széles fürdő nagy zsugorodásokkal, alakváltozással, repedésveszéllyel jár (lásd a 3.2 pontot). Ezért általában max. négyszeres elektróda (maghuzal) átmérőjű ívelés megengedett.



120. ábra

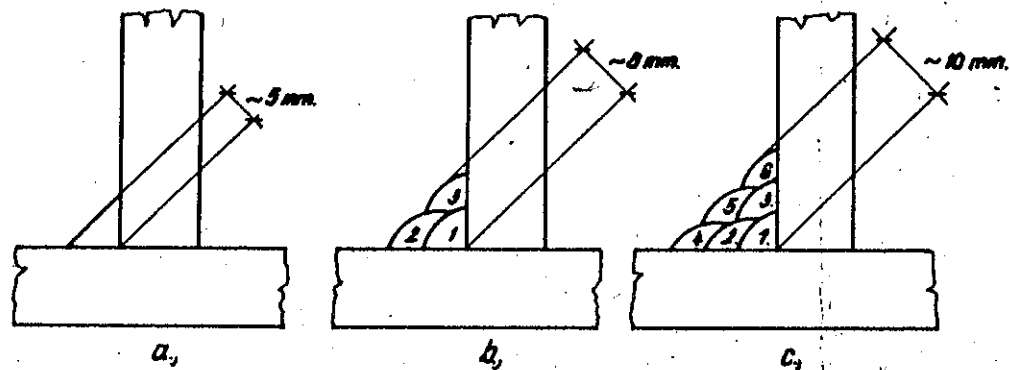
Vályuhelyzetű hegesztés több rétegben ívelés nélkül (az egyes rétegeken belül több sorral)



121. ábra

Vályuhelyzetű hegesztés íveléssel (az egyes rétegeken belül egy sorral)

A vízszintes helyzetű varrat általában egyenes vonalú elektródavezetéssel, $a = 4\text{ mm}$ (kivételesen 5 mm) varratméretig egy sorban, afelett három, majd hat, stb. a varratmérettől függő számú sorban készül. Az egyes sorok lerakásának sorrendje mindig alulról-felfelé, tehát először mindig a támasztó sort kell elkészíteni és erre építeni a következőt (122. ábra).



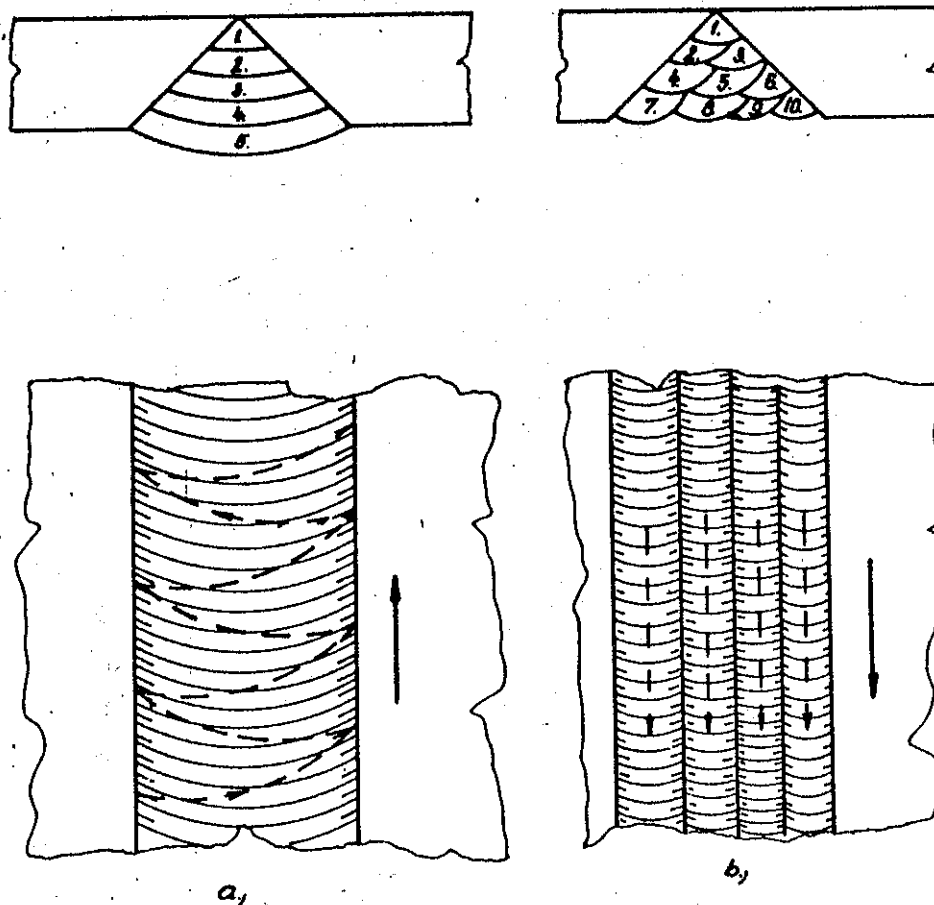
122. ábra

Sarokvarratok felépítése vízszintes helyzetben

A függőleges helyzetű varrat hegesztésénél két esetet kell megkülönböztetni: az

- alulról felfelé és a
- felülről lefelé

történő elektróda vezetést (123. ábra).

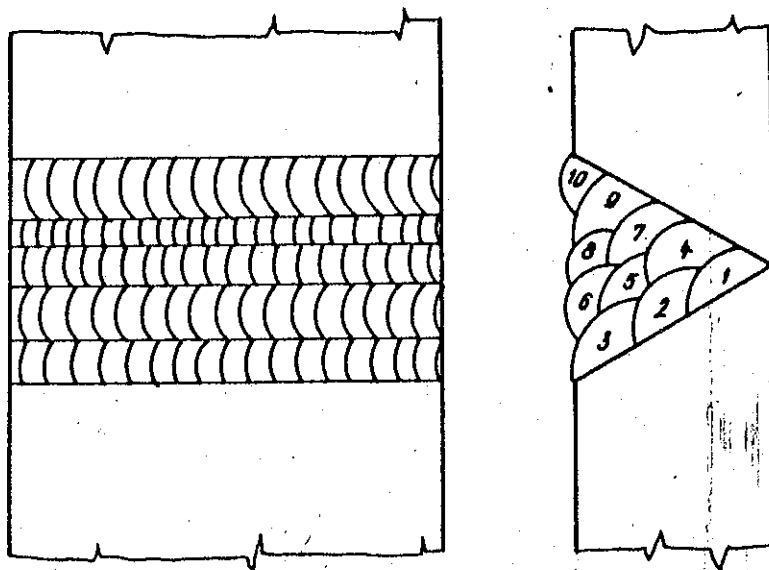


123. ábra

Függőleges varrat felépítése alulról felfelé ("a") és felülről lefelé ("b") történő hegesztéssel

Az első esetben mindig ívelve vezetjük az elektródát, míg a második esetben ívelni nem lehet, a sorokat egymás mellé rakva kell felépíteni a varratot. Felülről lefelé való hegesztést csak erre a célra kifejlesztett, speciális elektródával lehet végezni, melynél a salak mennyisége viszonylag csekély, sűrűfolyós és így mindig az ív tetején tartható. (Az elektródagyarak külön jelzik, ha az elektróda felülről lefelé való hegesztésre is alkalmas.) A két módszer egy varratkeresztmetszetben belül kombinálható. Elvileg a felülről lefelé hegesztés varrata (a sok rétegből fakadó finomszemcsés hőkezelt szövetszerkezet következtében) jobb mechanikai tulajdonságokkal rendelkezik, vigyázni kell azonban (különösen az alapsorok készítésénél), hogy a kezdetben túl kis keresztmetszetű varrat a zsugorodási feszültségek következtében meg ne repedjen. Az alulról felfelé való hegesztés a régebbi (mivel azelőtt nem voltak a másik módszerhez alkalmas elektródák) és a mai napig is általánosan elterjedt.

A haránt helyzetű varrat készítése meglehetősen bonyolult feladat elé állítja a hegesztőt. Egyrészt a nehézségi erő ellen kell a fürdőt fenntartani, másrészt a a hozzáférhetőségre kell ügyeljen. A varratot ezek figyelembevételével soronként - ívelés nélkül - kell felépíteni, belülről kifelé, ill. alulról felfelé haladva (124. ábra).



124. ábra

Haránt helyzeti varrat felépítése

A fejfeletti helyzetű varrat készítése hasonlóan bonyolult, tekintettel arra, hogy itt a nehézségi erő hatása nagy. A fürdőt ezért itt is csekély méretűre kell választani, azonban ennek ellenére az íveléses módszer is alkalmazható.

A kényszerhelyzeti hegesztéseket $\varnothing 3,25$, esetleg $\varnothing 4$ mm elektródával kell végezni, mivel a nagyobb átmérőjű elektródákkal a túlzottan nagyra nőtt fürdő már nem tartóképes.

Külön kell beszélni a tompavarratok gyökéről. Elvileg egy oldalról is lehet kifogástalan gyököt készíteni (a hegesztő szakmunkások minősítésénél ez általános követelmény), a gyakorlatban azonban még egyoldali tompavarrat esetén is célszerű gyök-kimunkálással és gyökutánhegesztéssel biztosítani a zárványmentes keresztmetszetet.

A kézi ívhegesztéssel készült varratok jellemző hibái a csunya, egyenetlen, durván pikkelyezett varratfelület, a gyökhiba, a salakosság, a gázosság (többnyire csak bázikus elektródával történő hegesztésnél).

6.1.5 Előnyei, hátrányai, alkalmazási területe

A kézi ívhegesztés az acélszerkezet-építésben járatos három ívhegesztési eljárás közül a legkisebb termelékenységgel és a legnagyobb alakváltozásokat eredményezi. Ennek ellenére számtalan olyan előnye van, mely versenyképességét sok területen biztosítja. Ezért - bár mintegy 15 éve hazánkban is meghúzták a vészharangot felette - ma is mindenütt, a legkorszerűbb gyárakban és természetesen különösen a külső szereléseken, a varratok jelentős részaránya készül kézi ívhegesztéssel.

Fő előnyei a következők

A legkifejezettebb mechanikai tulajdonsága (legalacsonyabb átmeneti hőmérsékletű) varratot biztosítja.

Minden helyzetű és nehezen hozzáférhető varratok készítésére alkalmas.

A legigénytelenebb a varratelőkészítéssel, a szennyeződésekkel, az időjárás viszonyokkal szemben. A legolcsóbb berendezések szükségesek hozzá, amelyek egyszerű telepítéssel, nagy mozgékonyassággal, csekély karbantartási költséggel üzemeltethetők. Alkalmazási területét főként a fűzések, a rövid-, a nehezen hozzáférhető, a kényszerhelyzetű, vagy a külső szerelési körülmények között készülő, valamint az igen alacsony átmeneti hőmérsékletű (pl. a nyomástartó edények) varratok jelentik.

6.2 Fedettívű hegesztés

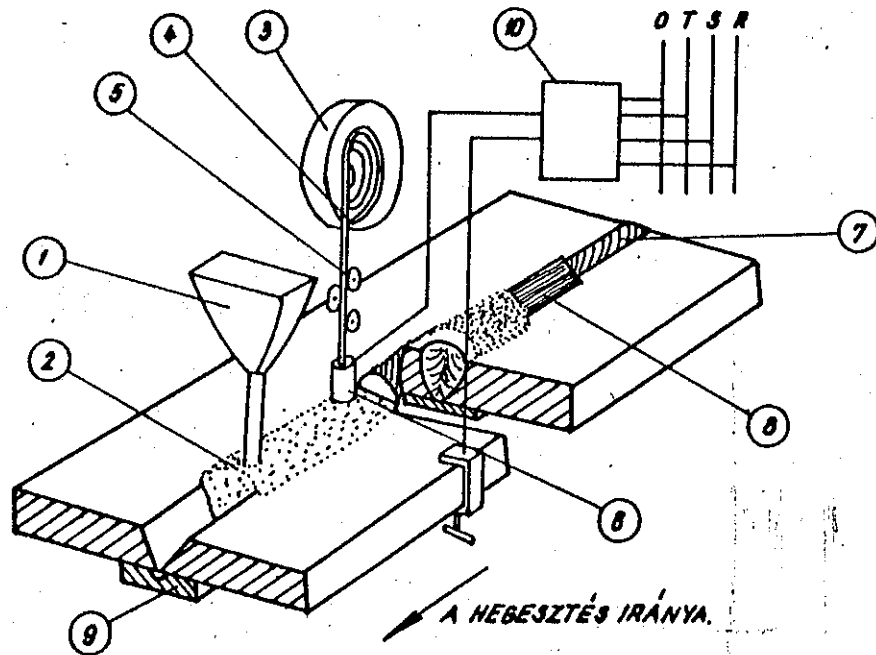
A fedettívű hegesztést a 40-es évek elején dolgozták ki egyrészt a Szovjetunióban, másrészt az USA-ban. Az eljárás előnyei következtében gyorsan terjedt és terjed még ma is a legkülönbözőbb kötő és felrakó hegesztési feladatok végrehajtására. Hazánkban az 50-es években először egy-két nagyüzemben vezették be, ma több százra tehető a berendezések száma.

6.2.1 Az eljárás lényege

A fedettívű hegesztés elvét a 125. sz. ábra szemlélteti. Lényege, hogy a leolvadó elektródát - jelen esetben a "hegesztő huzal"-t, - egy tekercsről görgők segítségével elektromotor folyamatosan táplálja a hegesztő ívbe, mely a levegő kizárásával, nem látható módon, fedőporréteg és folyékony állapotban levő salak alatt, a keletkező gázok és gőzök túlnyomása révén fenntartott zárt burokból, az ún. "ívkavernában" ég.

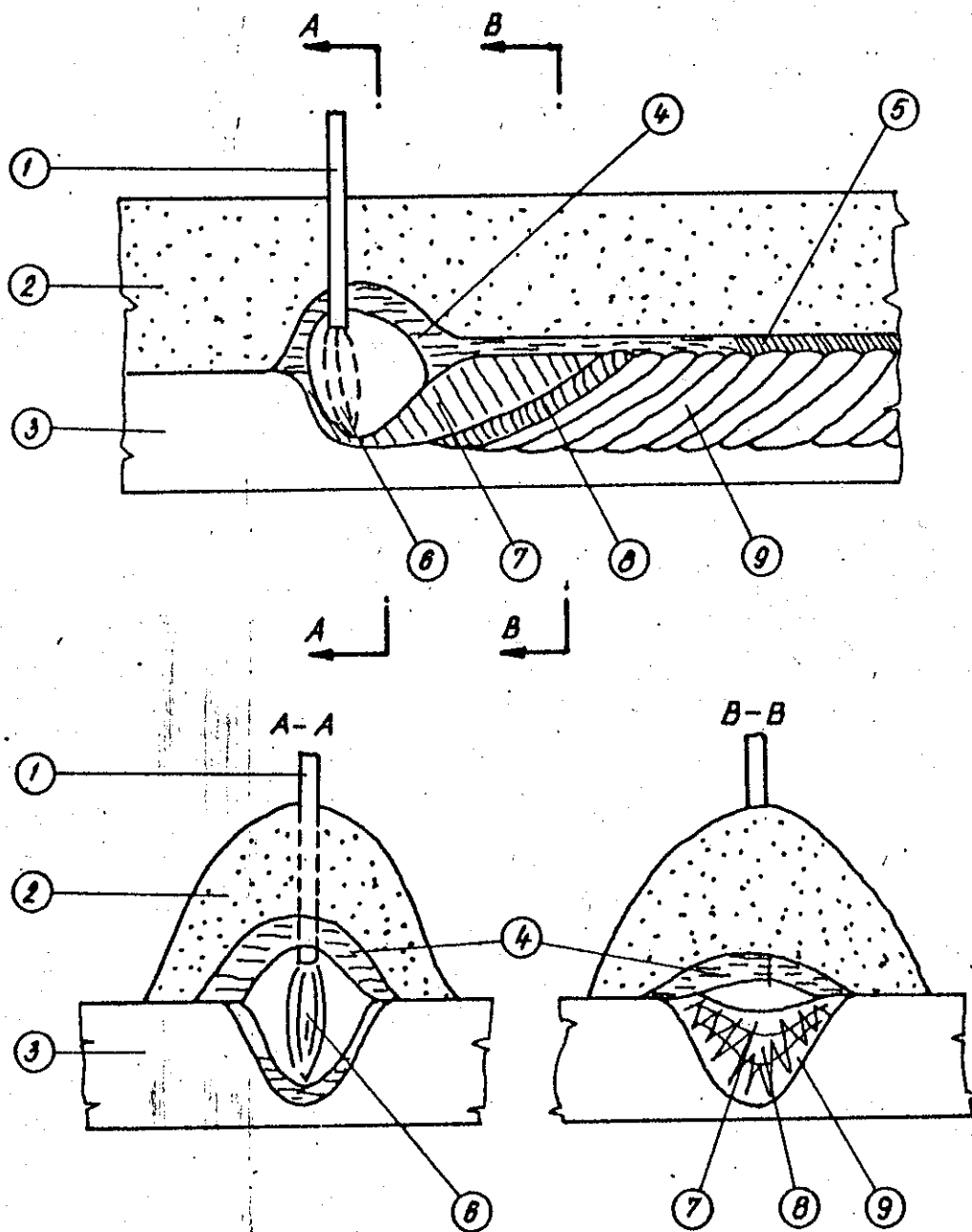
A huzalba a hegesztő áramot réz csuszópofákon keresztül vezetik be. Mivel ezek az ívtől csak 30-50 mm-re vannak, a huzal áram alatti hossza rövid, így áramterhelhetősége nagy ($20-100 / 300 / A/mm^2$), leolvasztási teljesítménye is nagy ($3-20 / 50 / kg/6$).

A hegyvarrat viszonylag nagy fürdőben, az alapanyag, a hegesztőhuzal és a fedőpor ötvözeteként, a megolvadt salak alatt kristályosodik (126. ábra).



125. ábra

A fedettívű hegesztés vázlata („1„: portartó; „2„: fedőpor; „3„: huzaldob; „4„: hegesztőhuzal; „5„: huzaltovábbító hüvely; „7„: hegyvarrat; „8„: Szalag; „9„: fürdőbiztosító alátét; „10„: áramforrás)



126. ábra

Varratképződés fedettívű hegesztésnél („1„: hegesztőhuzal; „2„: fedőpor; „3„: alapanyag; „4„: megolvadt salak; „5„: megdermedt salak; „6„: hegesztőlív; „7„: fémfürdő; „8„: dermedő varrat; „9„: megdermedt varrat)

A fedettívű hegesztés kristályosodási folyamata az eljárásra igen jellemző. A nagy áramerősség által létrehozott viszonylag nagy hegfürdő primér kristályosodása a falak mentén indul meg, befelé növekvő oszlopos kristallitokkal, austenites, dusult rétegekben felépülő szövettel. Ez felbomlik ferritperlit szövetre. A dendritok csúcsainál, a varrat közepén - tompa - és sarokvarratoknál egyaránt - dusulnak az utoljára kiváló szennyezők. Ez a varrat leggyengébb része, repedékenységi hajlammal, inhomogén szilárdsági tulajdonságokkal.

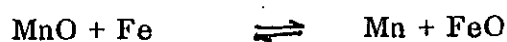
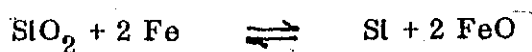
Többsoros hegesztés esetén az előző sor utoljára megszilárduló része normalizálódik. Az átkristályosodás a mechanikai tulajdonságokat előnyösen befolyásolja. Ezért az egysoros hegesztés - teljesítmény szempontjából előnyös - nagy varratkeresztmetszetével szemben a - kevésbé termelékeny - többsoros hegesztés jóval kedvezőbb mechanikai tulajdonságokat eredményez.

A varratfém jelentős részét (20-80%-át) az alapanyag alkotja, így az a varrat vegyi összetételére is hatással van. Ezen kívül alapvető szerep jut a hegesztőhuzalnak és a fedőpornak, továbbá a hegesztési paramétereknek a vegyi összetétel kialakításában és így ez ezenkeresztül a varrat mechanikai tulajdonságainak alakításában.

A levegőtől védett, zárt ivkavernában a reakciók egymást követve, több lépésben mennek végbe: a gázok és gőzök, a megolvadt fém és salak, a dermedő fém és salak között.

A gázok túlnyomó többsége (kb. 90%) széndioxid, továbbá hidrogén (kb. 9%) és nitrogén (kb. 1%).

A fémreakciókat elsősorban az Mn és a Si tartalom befolyásolja. A legfontosabb reakciók az alábbi egyenletek szerint zajlanak le:



Az iv talppontjánál jobbra, a kaverna hátsó részében balra játszódnak le a reakciók.

A fedettívű eljárás különleges jellemzői az alábbiak:

- a varrat mérete, alakja, vegyi összetétele és szövetszerkezete, ezen keresztül mechanikai tulajdonságai tág határok között változtathatók; megfelelő módszerekkel - a viszonylag durva szövet ellenére - elérhető a TTKV_{2,8} = -50° C is;
- az iv nem látható, fröcskölés nincs, a varrat felület különlegesen kedvező (sima, egyenletes, szegély kioldásmentes, tompavarratnál enyhén domború, sarokvarratnál homorú);
- a leolvasztást teljesítmény a tárgyalt másik két hegesztési eljáráshoz képest jóval nagyobb (egyszerű egyhuzalos módszernél 3-20 kg/ó, de kéthuzalos technológiával 50 kg/ó; vaspör adagolásos tandem hegesztéssel 100 kg/ó is elérhető);
- a hegesztési paraméterek tág határok között változtathatók, a legnagyobb értékek ennél az eljárásnál alkalmazhatók (áramerősség 200-5000A, áram-

sűrűség $20-300 \text{ A/mm}^2$, ívfeszültség $25-50 \text{ V}$; hegesztési sebesség $6-300 \text{ m/6}$;

- a berendezés kezelése viszonylag egyszerű, könnyű, az egészségre nem ártalmas fizikai munkát jelent, de a lemezélelőkészítés, a huzal-por kombináció, a hegesztési paraméterek megválasztása tekintetében a legnagyobb szakszerűséget igényli.

Az eljárás számtalan változatát fejlesztették ki.

Megkülönböztetünk:

- normál ($\varnothing 3-12 \text{ mm}$) és vékony ($\varnothing 1, 2-2, 5 \text{ mm}$) huzalos;
- normál-(körkeresztmetszetű) és szalag-elektrodás;
- normál (vályu, vízszintes) és kényszerhelyzetű;
- egy és kéthuzalos (párhuzamos és egymás mögötti, közös és osztott burkos elrendezésű);
- automatikus és félautomatikus;
- vékonylemez-hegesztő, csőhegesztő, csaphegesztő, ponthegesztő stb.

változatokat.

A fedettívű hegesztést a kötő és a felrakóhegesztés területén egyaránt kiterjedten alkalmazzák.

A gépesített hegesztés megvalósításához a legkülönbözőbb berendezéseket, ill. segéd-eszközöket fejlesztették ki.

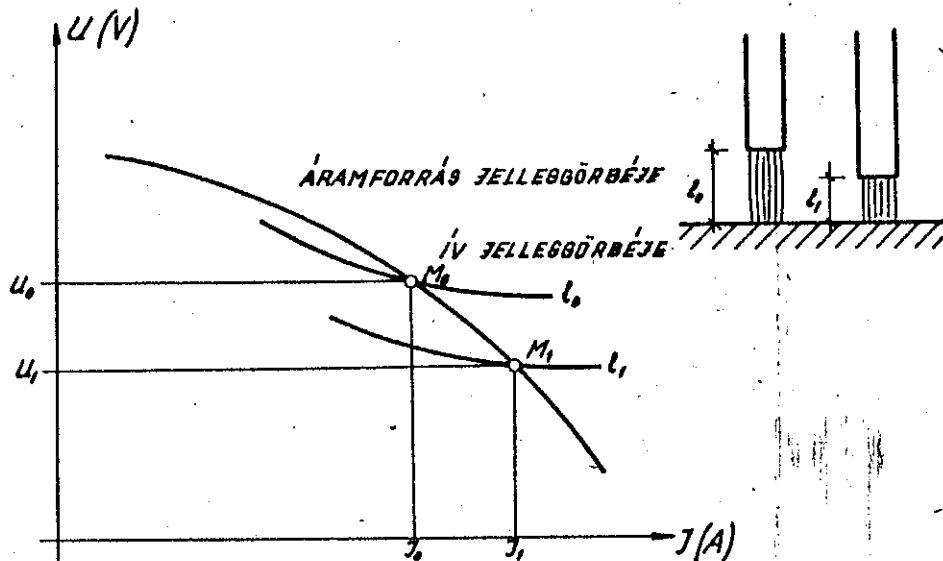
6.2.2 Az eljárás berendezései és segédeszközei

Az egyszerű fedettívű automatikus hegesztőberendezés főbb részét az áramforrás, a vezérlőszekrény és a hegesztő traktor.

Az áramforrás lehet váltakozó és egyenáramú, tehát transzformátorokat, hegesztő egyenirányítókat és (ritkábban) generátorokat is alkalmaznak fedettívű hegesztéshez. Ezek előnyei-hátrányai nagyjából egyeznek a kézi ívhegesztés áramforrásával kapcsolatban elmondottakkal. E helyen még hangsúlyozni kell, hogy a kerámia porok nagyrésze csak egyenáramú berendezéssel olvasztható le. Az egyenáram stabilabb íve a varratkülalagnál is kedvező hatása. A modern berendezéseket ezért hegesztő egyenirányítóval szállítják.

Az áramforrás statikus jelleggörbéje - a hegesztő ív jelleggörbéjéhez igazódóan - laposan eső, vagy vízszintes, aszerint, hogy normál, vagy vékonyhuzalos hegesztést végzünk.

A normál huzalos ($\varnothing \geq 3 \text{ mm}$) hegesztésnél a huzalelőtolás és leolvadás egyensúlyát - tehát a hegesztési folyamat stabilitását - az ún. "külső ívvezérléssel" valósítják meg. Ennek alapja, hogy a feszültségesés az ívben arányos az ív hosszával: hosszabb ívhez nagyobb - rövidebb ívhez kisebb feszültségesés tartozik. Ezért ha az ívhossz valamilyen oknál fogva csökken, csökken az ívfeszültség is. Az ív és a gép jelleggörbéjének metszéspontjában fekvő "M" munkapont "M₁"-re vándorol (127. ábra).



127. ábra

Az áramforrás és a hegesztőív jelleggörbéivel meghatározott ívviszonyok normálhuzalos fedettív hegesztésnél (külső ívvezérlés)

Ha a huzalelőtoló motort az ívfeszültséggel vezéreljük, a kisebb feszültséghez kisebb forgást, ehhez kisebb huzalelőtolási sebesség tartozik. Ily módon visszaáll az eredeti ívhossz, azaz az ív az M munkaponthoz tartozó áramerősséggel és ívfeszültséggel – stabilan – ég tovább. Az eső jelleggörbéjű gépnél kicsi az áramerősségváltozás és viszonylag nagy a feszültségváltozás, így alkalmas a külső vezérlés megvalósítására.

Ilyen berendezéseknél az ívfeszültséget a huzalelőtoló motor sebességének szabályozásával az áramerősséget az áramforráson állítják be. Az ívgyújtás ez esetben háromféle módon történhet:

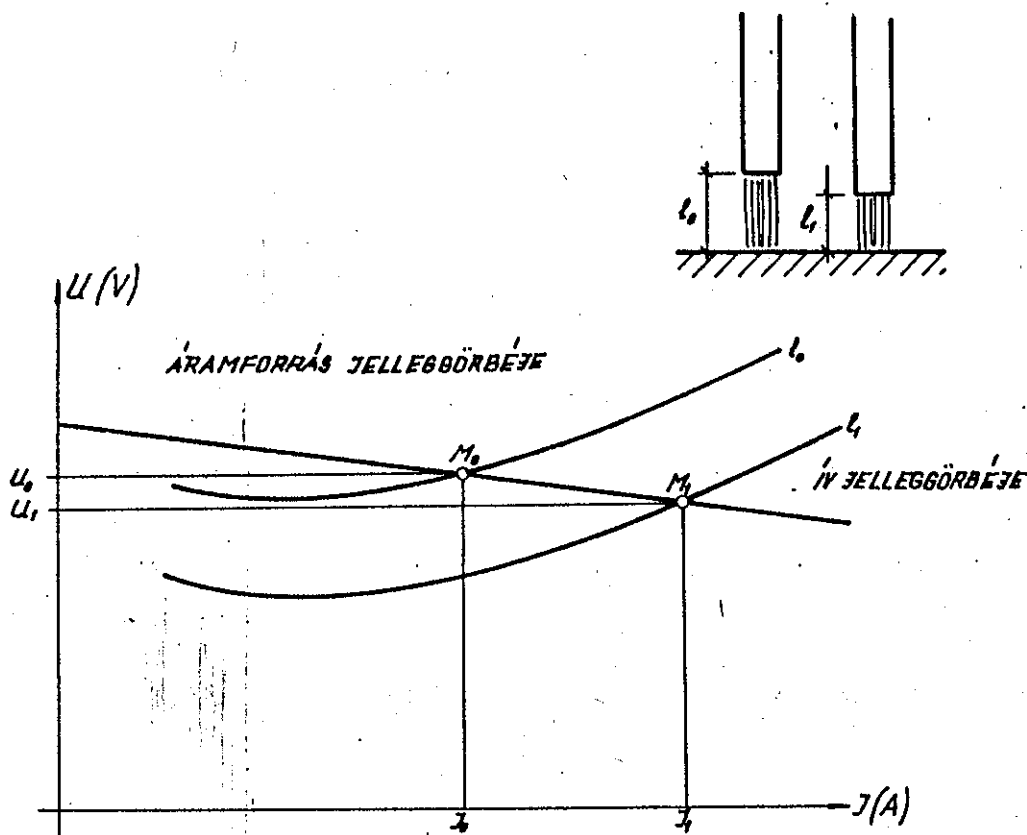
- a hegesztőhuzalt (hasonlóan a kézi ívhegesztéshez) rövidre zárjuk, majd – megfelelő vezérléssel – visszahúzzuk és miután az ív létrejött, beindul az ívfeszültséggel vezérelt huzalelőtolás;
- az ívgyújtást a munkadarab és a huzal közé helyezett vasforgáccsal segítjük;
- nagyfrekvenciás ívgyújtó segédberendezést alkalmazunk.

A gyakorlatban az első rendszer terjedt el leginkább.

A vékonyhuzalos ($\varnothing \leq 2,5 \text{ mm}$) eljárásnál az alkalmazott nagy huzalelőtolási sebességek és a nagy áramsűrűségekből fakadó emelkedő ív-jelleggörbe az ún. "belső" vezérlést igényli.

Ez esetben közel vízszintes jelleggörbéjű gépet és állandó sebességű huzalelőtolást alkalmazunk. Itt az ívhossz csökkentésével jelentős mértékben nő az áramerősség, vele a leolvadás sebessége. Ennek eredményeként újra beáll az eredeti ívhossz,

azaz a munkapont M_1 -ről visszavándorol M_0 -ra. (128. ábra)



128. ábra

Az áramforrás és a hegesztőív jelleggörbéivel meghatározott ívviszonyok vékonyhuzalos fedettívű hegesztésnél (belső ívvezérlés)

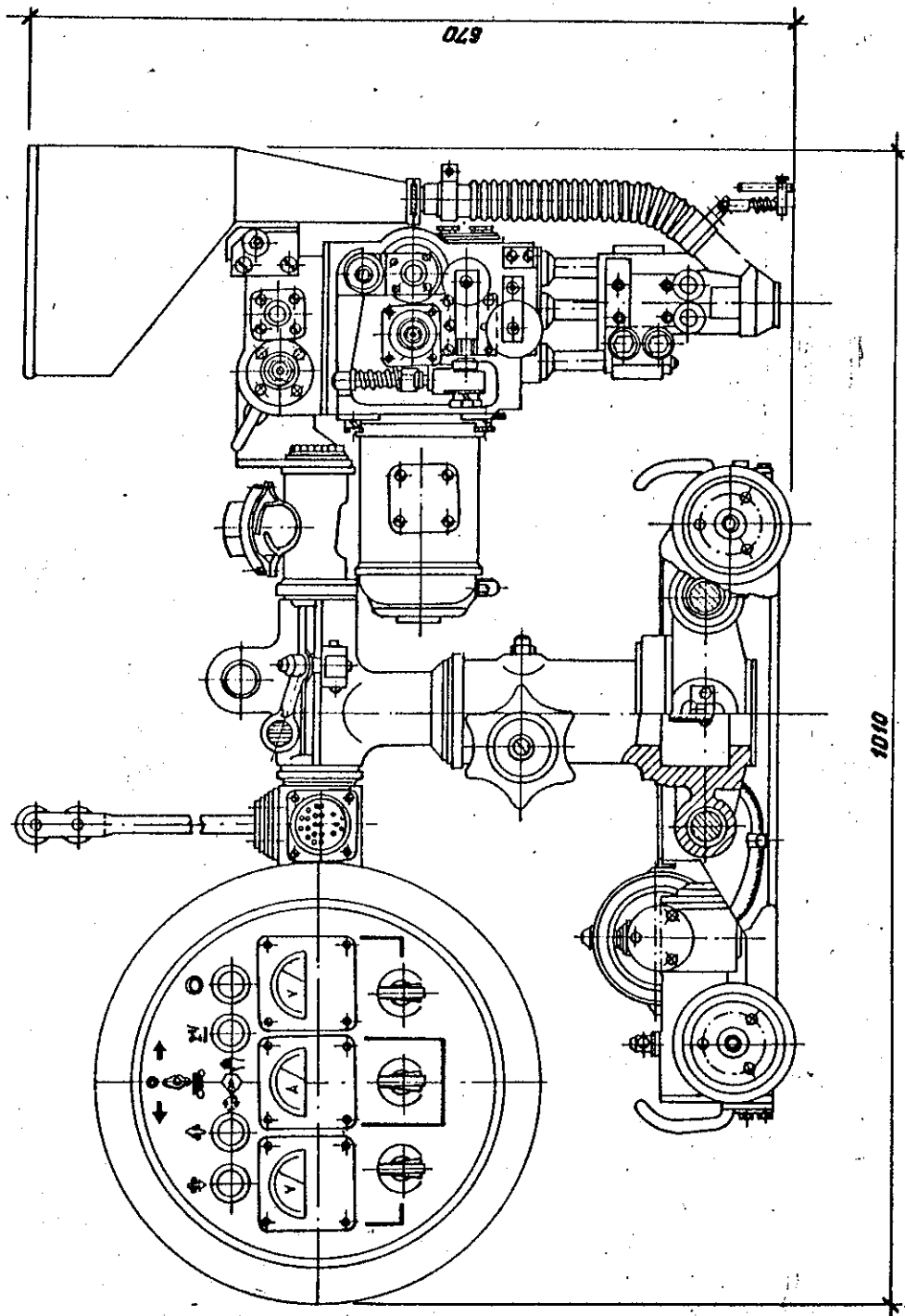
Az ívgyújtás nem okoz gondot, mert a rövidzárási áram erőssége olyan magas, hogy azonnal megolvasztja a szabad huzalhosszat és a folyamatos huzalelőtolás mellett ki-gyullad a hegesztőív.

Belső vezérlés esetén az ív feszültségét (hosszát) az áramforráson, míg az áramerős-séget a huzalelőtolás segítségével állítjuk be.

A vezérlő szekrényben nyernek elhelyezést a távszabályozással irányított kapcsolók, a traktor és a hegesztőhuzal továbbító motorok alacsonyfeszültségű (42 V) egyenáramát biztosító generátorok és egyéb működtető berendezések.

A traktor a hegesztési feladat szerint sokféle kialakításu lehet.

A többcélu traktorok jellegzetes típusa pl. a nálunk leginkább elterjedt, szovjet gyárt-mányu ADSZ 1000-2 (129. ábra).



129. ábra

Az ADSZ 1000-2 szövőjet fedettvíű berendezés hegesztő traktora

Ennél a traktor négy gumikeréken gördülő kocsiján van elhelyezve a hajtómotor és a hajtómű a tengelykapcsolóval. A kocsiból emelkedik ki a gép törzse. Ez tartja a kart, melynek egyik végén a hegesztő fej van az áram bevezetéssel, a huzalelőtoló és huzal-egyengető berendezéssel, valamint a fedőportartóval, a másik végén pedig a vezérlőtábla és a huzaldob helyezkedik el. A törzs a traktoron jobbra-balra tolató, a kar függőleges és vízszintes tengely körül forgatható, a hegesztőfej vízszintes tengely körül előre-hátra billenthető, továbbá fel-le állítható. Ezek a mechanizmusok minden a gyakorlatban szükséges helyzet beállítását lehetővé teszik. A hegesztő traktor általában alsó vagy felső sín pályán mozog, az lehet a munkadarabon vagy attól független.

Sarokvarrat hegesztésnél gyakoriak a mágneses görgőkkel, a munkadarab segítségével vezérelt traktorok, melyek vízszintes és vályu helyzetű varratok készítésére egyaránt alkalmasak.

Speciális kétféjes gépeket fejlesztettek ki I-tartók nyakvarratainak készítésére. Ezek a vízszintes vagy az álló gerincű tartó két varratát készítik el egyszerre.

A teljesítményfokozás céljából kialakított kétféjes gépek - melyek egymás mellett vagy egymás mögötti huzalelrendezéssel, közös vagy osztott ivburokkal dolgoznak - egyre gyakrabban nyernek alkalmazást.

Nagyobb munkadarabok - főként tartályok, csövek hossz- és kereszt-varratainak készítésére sokféle, többcélu, speciális állítható karos-, vagy portálkialakítású automata hordozót alakítottak ki.

Egyedi feladatokra - pl. ortotróp híd - pályaelemek hossz-bordáinak hegesztésére az NSZK-ban hatféjes portált szerkesztettek, mely az egy pályaegységen levő 12 hossz-varratot két lépcsőben elkészíti.

Külön berendezéseket fejlesztettek ki a kényszer (függőleges, haránt) helyzetű varratok hegesztésére.

Gyakori, hogy a gép áll és a munkadarab mozog, forog. Erre a célra is igen sokféle berendezést, görgős-, gyűrűs-forgatókat, manipulátorokat stb. alakítottak ki.

Ezek a többnyire hatalmas berendezések igen költségesek és - bár a termelékenységet jelentősen növelik - beruházásuk csak nagyobb szerita esetén indokolt.

A fedettívű hegesztés végrehajtásának elősegítésére sokféle - gyakran hidraulikusan mozgatott, mágneses vagy mechanikus rögzítésű - furdőbiztosítást célzó berendezés nyer alkalmazást. Ilyen pl. a síklemezek tompaillesztéséhez kifejlesztett porpárnás mágnesasztal, vagy a nem járható csövek hosszvarratainak készítését segítő hidraulikus karos porpárnás készülék, a tartályok körvarratainál alkalmazható portartó szalag.

A meg nem olvadt fedőpor visszanyerésére vagy különálló, vagy a traktorra szerelt (pl. az ESAB gépeknél) porszívókat alkalmaznak.

A fedettvíű hegesztésnek általában az automatikus változatát alkalmazzák. Ritkán a félautomatikus változattal is lehet találkozni. Ennél a traktor elmarad, helyébe kézzel vezetett pisztoly kerül. Ezen van a fedőport tartó tölcser is. A max. 2,5 mm vastag hegesztő huzalt - a védőgáz hegesztéshez hasonlóan - mintegy 3 m hosszú hajlékony csövön huzaltovábbító motor tolja a pisztolyhoz. Ennek porréteg alatt történő vezetése meglehetősen kényes, nagy gyakorlatot igénylő feladat.

6.2.3 Hozaganyagok

A fedettvíű hegesztés hozaganyagát a huzal és a fedőpor.

A hegesztő huzal szerepe a varratkészítésnél elsősorban a hegesztőív létrehívása, fenntartása valamint a heganyag képzése és ötvözése.

A huzalok C-tartalma - a varratrepedések elkerülése érdekében - célszerűen 0,10% alatt legyen (a gyakorlatban előfordul 0,15% C tartalmu huzal is), a P és S tartalom (egyenként) kívánatos felső határa 0,03%. Vannak csillapított (Si_{max} 0,30%) és csillapítatlan (Si_{max} 0,10%) huzalok. Az Mn tartalom általában a jelölés alapjául szolgáló fontos jellemző: általában 0,5%, 1%, 1,5%, 2% és ritkán 3% Mn tartalmu huzalok kerülnek forgalomba.

Korábban a fedettvíű hegesztés huzalját - főként gyártási okokból - egyéb ötvözőket nem tartalmaztak (a varratfém szükséges ötvözését a fedőporra bízták), ma azonban már gyártanak Ni (1,0-1,5%), Mo (0,4-0,6%) és Cr (0,5-0,7) ötvözésű huzalokat is, melyeket ötvözött acélok hegesztéséhez alkalmaznak.

A járatos huzalátmérők: 1,2; 1,6; 2,0; 2,4 mm a vékonyhuzalos, 3, 4, 5, 6 mm, ritkábban 8, 10, 12 mm a normál huzalos hegesztéshez. Gyártanak továbbá különböző keresztmetszetű szalagelektrodákat főként felrakó-, de kötőhegesztéshez is.

A huzalok felülete általában rezegett. Ez egyrészt a jobb áramfelvétel céljából, másrészt a korrózió ellen szolgál. Fontos a törésmentes, egyenletes tekercselés. Régebben nagy átmérőjű tekercsekben hozták forgalomba a huzalokat, amelyeket felhasználás előtt - megfelelő segédberendezéssel - a traktor huzaldobjára át kellett csévélni. Ma már többnyire az egyes gyárak a saját gépeikhez közvetlenül felhasználható tekercsekben szállítják a hegesztőhuzalt.

A megfelelő összetételű (főként Mn ötvözésű) huzal kiválasztása - a fedőpor és az alapanyag függvényében - fontos feladat.

A huzalátmérő helyes megválasztása szintén a varrat minőségére de a termelékenységre is alapvetően kiható kérdés.

A fedettvíű hegesztés ritkábban alkalmazott válfaja a hálós-bevonatu huzalokkal történő hegesztés. Ezeknél a fedőport - hasonlóan a kézi lyhegesztő elektrodához - bevonat alakjában a huzalra viszik. Lepattogzásának meggátlására a bevonatot dróthálóval stabilizálják. Előnye, hogy kevésbé érzékeny a lemezszennyeződésekre, de a varrat minősége, külalakja kedvezőtlenebb a fedőporos eljárásénál.

A fedőpor szerepe igen jelentős: elsősorban a varratfém ötvözése, ezen túl a levegő távoltartása, az ívkaverna kialakítása, az ívstabilitás és az ömledék kigázosodásának biztosítása, a varrat formálása, a lehülés sebességének csökkentése.

A porok osztályozása többféle szempont szerint történik.

Gyártásmód alapján olvasztott és kerámia porokat különböztetünk meg.

Az olvasztott porok gyártása az alkotók előkészítés után - ív-, vagy láng-kemencében történő - megolvasztásból, aprításból, osztályozásból áll.

A kerámia porokat két csoportra osztjuk.

A szinterizált porok alkotóit őrlés, keverés, préselés után lángkemencében $1000-1100^{\circ}\text{C}$ között izzítják, majd darabolás, osztályozás következik.

Az agglomerált porok alkotóit finomra őrlés és keverés után apró golyócskákká ragasztják össze, ezt az alkotók legalacsonyabb reakcióhőmérséklete alatti hőmérsékleten történő szárítás és osztályozás követi.

Mínőségi acélok (C, D, E kategória) hegesztésére csak a kerámia porok alkalmasak.

Kémiai jelleg alapján savas, semleges és bázikus porokat különböztetünk meg, aszerint, hogy savas vagy bázikus kémhatású alkotók vannak többségben. A fedőpor-gyártásnál járatos főbb savas oxidok a SiO_2 és TiO_2 ; bázikusak a MnO , CaO , MgO ; semlegesek a CaF_2 , Al_2O_3 stb.

A savas porok hegesztési tulajdonságai kedvezőbbek, de alkalmazásukkal a varratfém magasabb S és P tartalma, valamint nemfémes zárványosság jár, szemben a bázikus porokkal. Ez utóbbiaknál a varratfém átmeneti hőmérséklete sokkal alacsonyabban van.

Fontos tulajdonsága a fedőporoknak az Mn és a Si hatások, azaz a hegesztési feszültség növekedésével a mangán és szilícium felötvöződés növekedése, mely kedvezőtlen méreteket ölthet. Ujabban olyan bázikus porokat fejlesztettek ki, melyek ilyen szempontból semlegesek,

Az osztályozás történhet még:

az MnO tartalom alapján

- MnO mentes, közepes (kb. 30%) és magas MnO tartalmu;

szemcseméret alapján (főként az olvasztott poroknál)

- durva (0,75-3 mm), közepes (0,5-1,5 mm) és finom (0,1-0,5 mm) szemcséjű;

a szemcseméret alapján

- üvegszerű és habkószzerű;

a viszkozitás alapján

- kis, közepes és nagy viszkozitású

az áramterhelhetőség alapján

- nagy (5000 A-ig), közepes (1200 A-ig) és alacsony (600 A-ig) áramterhelhetőségű;

a felhasználási cél szerint

- pl. gyorshegesztő, vékonylemez-hegesztő, kötőhegesztésre alkalmas, felrakó-hegesztésre szolgáló stb. fedőporokat különböztetünk meg.

A felsorolási szempontok utalnak egyrészt a porok hegesztési tulajdonságaira, másrészt ötvöző szerepükre.

A megfelelő por kiválasztása általában e két szempont szerint történik.

A hegesztéstechnikai szempontok megkövetelik a stabil ívet, a szép varratkialakot, a porozításmertességet, a könnyű salakeltávolíthatóságot, ritkábban a lejtőn (5-15%) való hegesztés, lehetőségét.

A varratötvözés szempontjai a varrat kedvező kémiai összetételére, ezen keresztül a megkívánt mechanikai tulajdonságokra, főként pedig a repedésmentességre vonatkozó igények kielégítését szolgálják.

A megfelelő fedőpor kiválasztása - az alapanyag, a hegesztőhuzal, a varratfajta, a lemezéliképzés és a hegesztési paraméterek figyelembevételével történő - igen fontos feladat. A kérdés bonyolult volta miatt többnyire csak próbahegesztés útján dönthető el egy fedőpor adott célnak megfelelő volta. A varratfém vegyi összetétele (bár ez elméleti úton is számítható) és mechanikai tulajdonságai csak roncsolásos vizsgálatokkal állapíthatók meg. A szokásos próbák (szakító, hajlító, ütő) túl, csiszolat is készíthető, mely a beolvadási viszonyokról, a varratalakról, a szövetszerkezetéről, az esetleges varrathibákról és alapanyag feledződéséről ad felvilágosítást. Magyarországon jelenleg porgyártás nem folyik. Az olvasztott porok közül nagy mennyiségben importálják a SzU-ból az AN 348 A jelű nagy MnO tartalmú olvasztott port (B minőségű acélokig alkalmas). Ismert még a Linde LW 280 jelű pora (C minőségre megfelelő). Kerámia porok közül (váltakozó áramú hegesztéshez) a BBC 600 és a BBC 772 (gyakorlatilag a kettő keveréke) ismert (D minőségig bezárólag elfogadható). Az OERLIKON cég OP 100-as pora a C minőségű, az OP 42 TT pora pedig az E minőségű acélok (egyenárammal végzett) hegesztéséhez is alkalmas - természetesen megfelelő huzal, hegesztési paraméterek és lemezéliképzés esetén.

A fedőporokat, főként a habkőszerű kerámia porokat felhasználás előtt 300°C -on három órán át szárítani kell.

6.2.4 Hegesztéstechnológia

Az előzőekben már utaltunk arra, hogy a fedettívű hegesztéssel készült varrat minősége tág határok között változtatható a huzal-por kombinációval, a hegesztési paraméterekkel a varratkialakítás módjával. Ezek a varrat vegyi összetételét, alakját, szövetszerkezetét és végeredményben mechanikai tulajdonságait határozzák meg. Gyakorlati tapasztalataink szerint adott alapanyag, huzal és fedőpor mellett is, csupán a leélezés módjának, a hegesztési paramétereknek változtatásával (nagyobb leélezési szög-, alacsonyabb áramerősség, ívfeszültség, többsoros hegesztés - azaz kedvezőbb vegyi összetételű, szövetszerkezetű és alaku varrat) az átmeneti hőmérsékletet $+20^{\circ}\text{C}$ -ról -40°C -ra le lehet vinni.

Az említetteken túl igen fontos a leélezés hibátlan, a varrat teljes hosszában azonos volta, az illesztés hézagmentessége (gyakorlatilag csak néhány tízed mm engedhető meg). Alapvető a hegesztendő anyag fémtisztaságának - rozsdá-, réve-, por-, zsír-, olaj-, nedvességmentességének - biztosítása. Jelentős az árambevezető réz-pofák karbantartás, a hegesztőfej, a huzalegyengető gondos beállítása, a pontos varratmen-

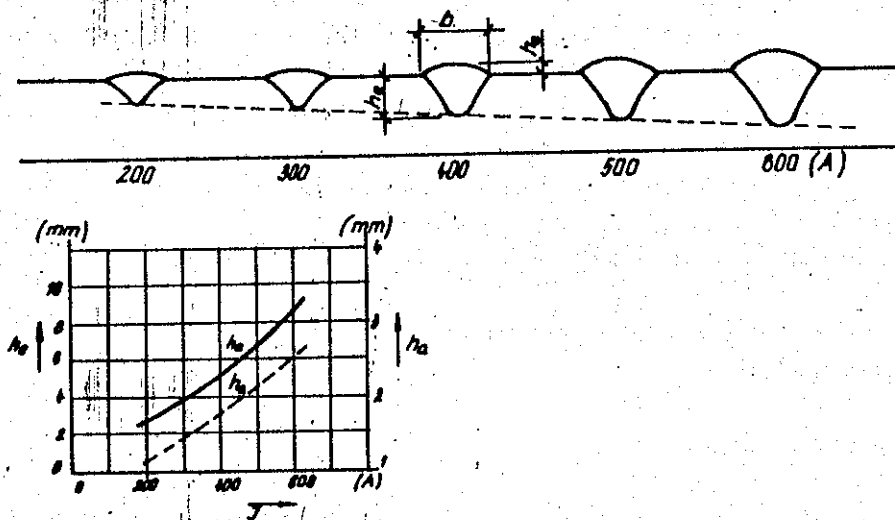
ti vezetés.

A fedettívív hegesztés varratának minőségét a felsorolt sokféle tényező mindegyike befolyásolja. Megfelelő eredmény csak akkor várható, ha minden vonatkozásban a helyes uton járunk. Ebből egyértelműen megállapítható, hogy a szóbanforgó háromféle ívhegesztő eljárás közül a legnagyobb szakértelmet, gondosságot igényli. Megfelelő kivétel esetén azonban a legjobb minőséget és a legnagyobb termelékenységet eredményezi.

6.2.4.1 A fontosabb hegesztési paraméterek

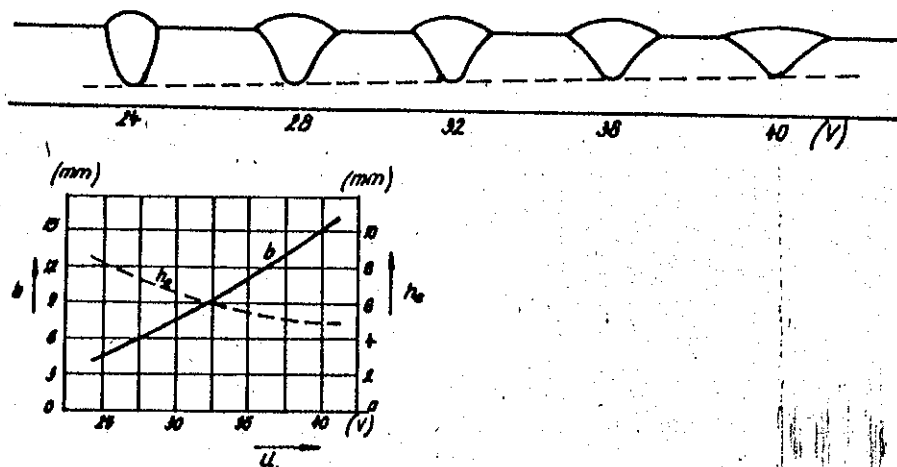
- az áramerősség
- az ívfeszültség
- a hegesztési sebesség
- a huzalátmérő (áramsűrűség)
- a polaritás

varratalakra gyakorolt hatását a 130-134. sz. ábrákon, ill. grafikonokon mutatjuk be, míg a lemezdőlés és a varratvályu szögének befolyását a 135-136. sz. ábrák szemléltetik.



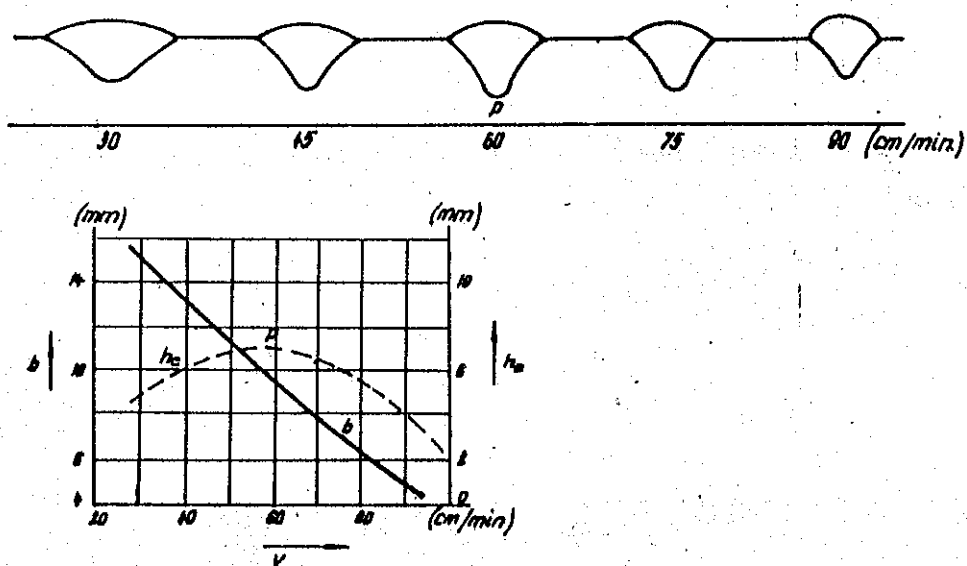
130. ábra

Az áramerősség befolyása a varratalakra



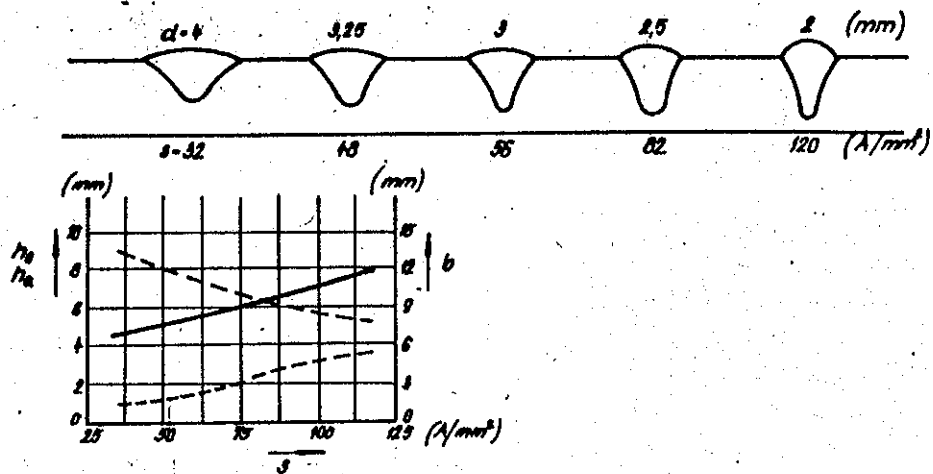
131. ábra

Az ívfeszültség befolyása a varratalakra



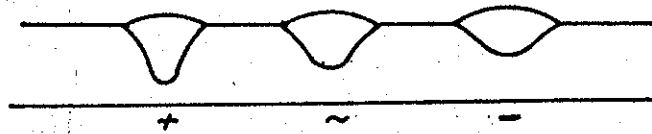
132. ábra

A hegesztési sebesség befolyása a varratalakra



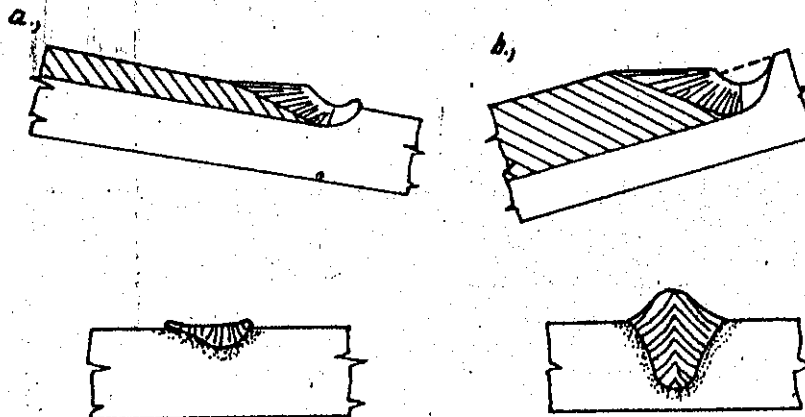
133. ábra

Az áramsűrűség befolyása a varratalakra



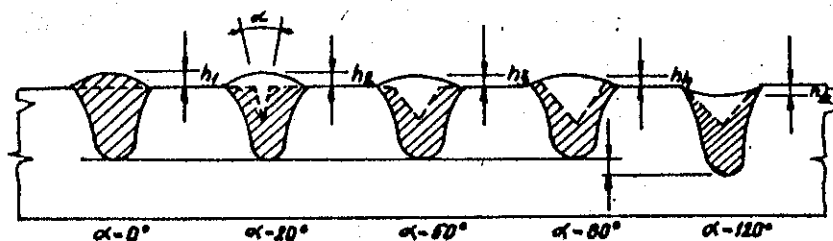
134. ábra

A polaritás befolyása a varratalakra



135. ábra

A lemezdőlés befolyása a varratalakra ("a": lefelé; "b": felfelé hegesztés)



136. ábra

A varratvályu befolyása a varratalakra

A fedettívű hegesztést – tekintettel a viszonylag nagy fürdőméretre – leginkább vályus, vagy vízszintes helyzetben végzik. Különleges segédberendezésekkel – görgős, vagy pofás fürdőbiztosítással – azonban függőleges és haránt helyzetű varratok is készíthetők ezzel az eljárással.

A varratokat (lehetőleg) egyik végtől a másikig megszakítás nélkül kell elkészíteni és kifutólemezen kezdeni és befejezni.

6.2.4.2 A vízszintes helyzetű tompavarratokat leggyakrabban I, kettős Y és kettős U élélőkészítéssel

- segédeszköz nélkül, vagy
- segédeszközzel

hegesztik.

A segédeszköz nélküli hegesztés esetén – a fűzéssel (általában kézi tvhegesztéssel) rögzített lemezeket – csak kétoldali hegesztéssel, tehát legkevesebb két sorral készíthető teljes értékű tompakötés. Az I élélőkészítést általában 10 mm-ig (kivételesen egészen 18 mm-ig), a kettős Y varrat alakot 40 mm-ig célszerű alkalmazni, míg az ennél is vastagabb lemezek kettős U varratral hegeszthetők össze a legkedvezőbbben. Többsoros hegesztés esetén feltétlenül kívánatos a lemezeket egyes sorok, ill. rétegek elkészítése között többször átfordítani. Ezután a zsugorodás hatása teljesen kiküszöbölhető.

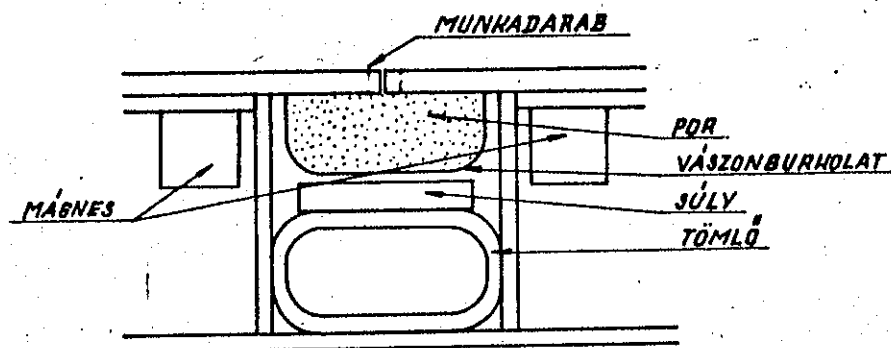
A segédeszközzel történő hegesztés

- réz-alátétrel
- porpárnával
- acél alátétrel, vagy
- kombinált hegesztéssel

vitelezhető ki, egy-, vagy kétoldali hegesztéssel, egy, vagy több sorral, ill. réteggel.

A rézalátétet – melynek közepébe a gyökoldali varratdudor számára megfelelő hornyot szokás kiképezni – akkor ad kellő fürdőbiztosítást, ha az összehegesztendő lemezekhez hézagmentesen csatlakozik. Ezt különösen nagyobb varrathosszak esetén nehéz megvalósítani. Kevésbé kényes a helyzet, ha a rézalátétbe nagyobb hornyot képeznek ki és ebbe fedőport helyeznek.

Lényegesen kedvezőbb feltételeket, gyakorlatilag a legkiválóbb fűrdőbiztosítást nyújtja a porpárna, különösen, ha mágnesasztalal van kombinálva. Ezen esetben a lemezek fűzése elmarad, tökéletes a fűrdőbiztosítás, egyrészt az átrogyás, másrészt a gyök-oldali levegővédelem szempontjából. Egy porpárnás mágnesasztal keresztmetszeti elrendezését a 137. sz. ábrán szemléltetjük.

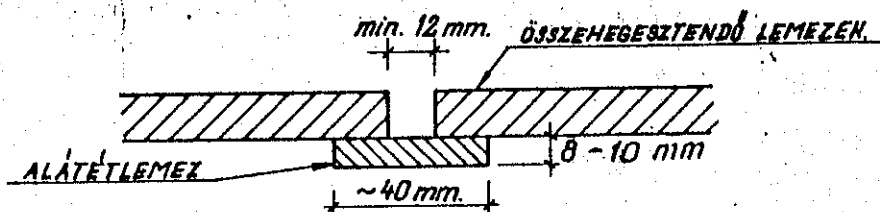


137. ábra

Porpárnás mágnesasztal keresztmetszetének elvi vázlata

Az acél-alátétlemezes varrat az előbbiekkel szemben egyszerűbb és olcsóbb, berendezést nem igénylő megoldás. Ezért a gyakorlatban - főként olyan nagy szerkezetek helyszíni varratánál (pl. hidak pályalemezénél) ahol a munkadarab forgatása nem megoldható, ill. ahol a fáradási szilárdság és a ridegtörés szempontjával megengedték - igen elterjedt.

A lemezeket itt nem szükséges lerézselni, az élek közötti hézag azonban legalább 12 mm kell legyen. Az alátétlemez vastagsága - a nagy áramerősségek miatt, szemben a kézi ívhegesztéssel (ahol 3 mm is elegendő) - 8-10 mm-re választandó (138. ábra).

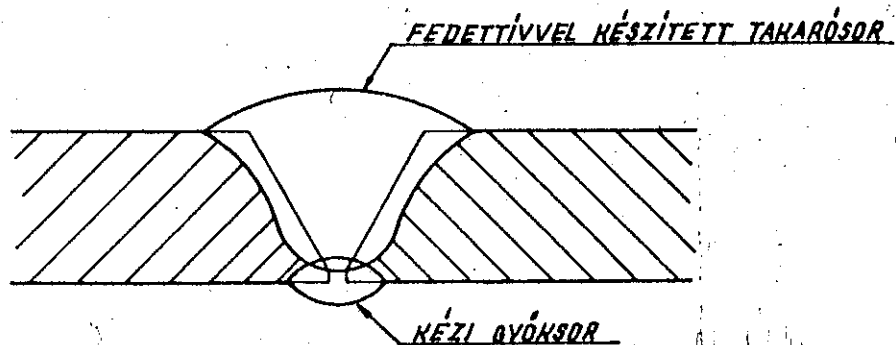


138. ábra

Varratelrendezés acél alátétlemezes fedettívű hegesztésnél

40 mm-nél nagyobb falvastagságú lemezek összehegesztésénél a hézag oly módon alakítandó ki, hogy az automata hegesztőfeje abba beleférjen.

A kombinált hegesztésre általában ott kerül sor, ahol más segédeszköz nem alkalmazható, vagy ahol a lemezelőkészítés gyengébb minőségű (tul. nagy az illesztési hézag). Ilyen esetben a gyöksort (sorokat) előre elkészítik kézi, vagy védőgázas lvhegesztéssel (139. ábra).

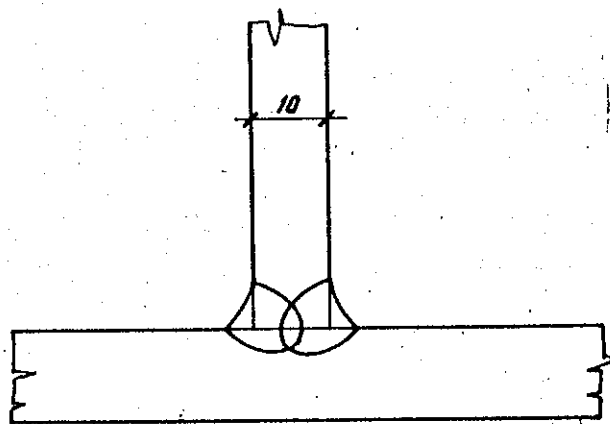


139. ábra

Fedettívű hegesztés kézi lvhegesztéssel készített támasztó gyöksorral.

6.2.4.3 A sarokvarratok (és K-varratok) hegesztése célszerűen vályu helyzetben történik. Ilyen esetben viszonylag nagy méretű varratokat ($a = 8-10$ mm) is lehet egy sorban készíteni, ha más szempontok pl. a repedés elkerülése, a finomabb szövet-szerkezet igénye - ezt ki nem zárják. Vízszintes helyzetben $a = 5$ mm-es varratnál nagyobb nem készíthető, mivel a függőleges falon erős szegélybeégés képződik és a varrat aszimmetrikus lesz.

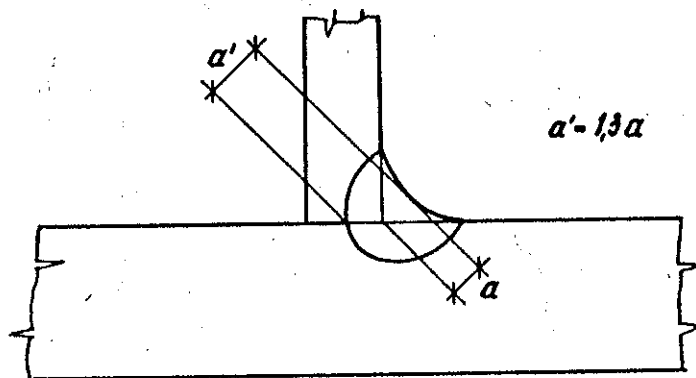
A mély beolvadás következtében a vékonyabb lemezeknél (8-10 mm) leélezés nélkül is készíthető K-varrat (140. ábra).



140. ábra

Leélezés nélküli lemezen fedettívű eljárással készített K-varrat

A terven szereplő, előírt "a" méret - ha a szerkezeti szempontok ezt megengedik - 1,3-al osztható, mivel a beolvadás tényleges mélysége - még kis áramerősség esetén is - ennél több (141. ábra).



141. ábra

Mélybeolvadási eljárással készült varratnál figyelembe vehető a' méret

6.2.4.4 A fedettívű hegesztésnél általában mindazok a külső és belső hibák előfordulnak, melyek az lvhegesztő eljárásokra jellemzők, magukon viselik azonban a fedettívű hegesztés sajátosságait.

A leggyakoribb hiba a gázlyukacsosodás, főként a gyökben végigmenő soros elrendezéssel (ilyenkor az összeropadás veszélye fennáll), de előfordulnak egyedi, nagyméretű gáztömlők is. Védekezés ez ellen elsősorban a lemezek tisztántartása, a fedőpor kiszárítása, esetleg a lemezek előmelegítése, vagy más huzal-por kombináció alkalmazása.

A másik jellegzetes hiba a repedés, mely hossz, vagy keresztirányban egyaránt előfordulhat. Megfelelő hegesztési munkarend és hegesztőanyag alkalmazásával elkerülhető. Előfordul végkráter-repedés, ezért célszerű azt a kezdőlemezre kivinni, vagy a krátert kiköszörölni.

Gyakori a gyökhiba, amit a paraméterek, esetleg az élképzés módosításával, szükség esetén gyökfaragással lehet elkerülni. A hegesztőfej ferde beállítása is okozhat gyökhibát.

Felületi hiba ritka jelenség, mivel a fedettívű hegesztés fő jellemzője a kiváló varratfelület. Ha mégis előfordul, paraméter-, esetleg fedőpor-változtatással lehet megszüntetni. Salakzárvány, és kötésihiba szintén nem jellemzőek a fedettívű hegesztésre.

6.2.5 Az eljárás előnye, hátrányai, alkalmazási területe

A fedettívű eljárás fő előnye a nagy teljesítmény, mely a varratkeresztmetszet növekedésével – a kézi és CO_2 -es hegesztéshez képest – egyre jelentősebb, a kéthuzalos eljárással (esetleg vaspár adagolással) még fokozható.

További előnye a kiváló varratminőség, mely egyrészt a varratfém mechanikai tulajdonságaiban (az S2 E minőségi fokozat is elérhető), másrészt a varratfelület síma,

egyenletes, a tárgyalt másik két eljáráshoz képest sokkal szebb voltában jut kifejezésre. Jelentős az is, hogy - főként nagyobb varratkeresztmetszetek esetén - viszonylag csekély deformációkat okoz. Fontos, hogy a gép kezelése könnyű munkát jelent, a fedett ív nem zavar.

Az eljárás hátrányai közé sorolható az, hogy igen igényes a varratélelőkészítés, a tisztaság és főként a hegesztés technológia elemeinek - elsősorban a huzal-por kombináció és a hegesztési paraméterek - helyes megválasztása tekintetében. Kedvezőtlen még a nehézkessége és az, hogy a viszonylag nagy traktor sok helyet foglal, szűkebb helyekre nem fér be. A fedett ívű félautomatikus eljárás e tekintetben kedvezőbb, de itt más oldalon sok hátrány jelentkezik (a pisztoly a nem látható ívben való, igen nagy figyelmet igénylő és nehéz munkát jelentő vezetése, a huzalelőtolás problémái stb.). Hátrány az is, hogy csak vályú és vízszintes helyzetben használható, illetve a pozícióhegesztéshez bonyolult költséges berendezések szükségesek. Végezetül a berendezés ára viszonylag magas (három-hatszorosa az egyszerű kézi áramforrásénak).

Az alkalmazási terület az előzőekből következik: minden hosszú (0,5-1 m feletti), egyenes sarok- és tompavarrat, különösen nagyobb varratkeresztmetszetek esetén (tompavarrat 6 mm-es lemezvastagság, sarokvarrat 4 mm-es méret felett) mind a 37-es, mind az 52-es szilárdsági kategóriába tartozó acéloknál célszerűen fedettívi eljárással készítenendő - amennyiben az ahhoz szükséges feltételek (hozzáférhetőség, élkiképzés, hegesztési helyzet stb.) biztosítottak.

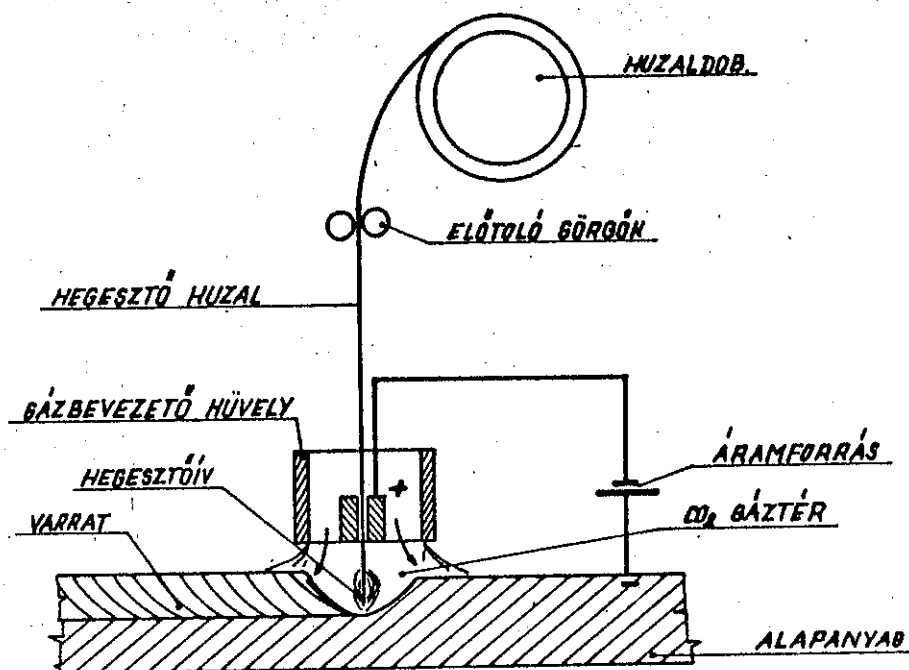
6.3 A CO₂ Védőgáz hegesztés

A széndioxid védőgáz hegesztésre már a harmincas években gondoltak, gyakorlati bevezetésére azonban csak az ötvenes évek elején került sor, amikor is - megfelelő huzalötvöztetés révén - sikerült megoldani a védőgáz oxigénjének passzíválását. Az eljárás számtalan előnye következtében gyorsan terjedt és terjed napjainkban is. Hazánkban az ötvenes évek végén került bevezetésre. Ma már a legtöbb nagy és középüzem rendelkezik CO₂ berendezésekkel, de sok még a tennivaló e szakterület szükséges szintű művelésének érdekében.

6.3.1 Az eljárás lényege

A CO₂-védőgáz hegesztés vázlatát a 142. ábra szemlélteti.

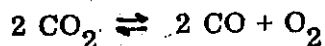
A hegesztőhuzalt görgők folyamatosan - azonos sebességgel - továbbítják a hegesztő ívbe. Ez CO₂-védőgázterben, jól láthatóan ég. Az áramot réz árambevezető fuvóka táplálja a huzalba, közvetlenül az ív előtt. Így viszonylag nagy áramerősségek (80-600 A) és áramsűrűségek (100-300 A/mm²) alkalmazhatók, ami kedvező leolvasztási teljesítményt (2-6 kg/ó) és beolvadási mélységet (1-3 mm) eredményez.



142. ábra

A CO₂ védőgázás hegesztés vázlata

Az eljáráshoz vékony húzott ($\varnothing$ 0,8-2,4 mm) alkalmazunk. Így viszonylag kisméretű hegfürdő keletkezik, ami egyrészt finomszemcsés szövetszerkezetet eredményez, másrészt pozícióhegesztést tesz lehetővé. A varrat felületén csak igen vékony, nem összefüggő, üvegszerű, könnyen eltávolítható salakréteg keletkezik. Az eljárás legfőbb jellemzője, hogy az ív védelmét CO₂ védőgázzal oldja meg. Ez a - szobahőmérsékleten semleges - gáz a hegesztő ívben szénmonoxidra és oxigénre disszociál:



A szabaddá vált oxigén reakcióba lép az ívben és fürdőben levő fémekkel és gázokkal. E kedvezőtlen hatású folyamat ellensúlyozására az eljáráshoz speciális, nagy Si (0,8-1%) és Mn (1-1,5%) tartalmú húzott használunk. Így megoldódik egyrészt a varratfém redukciója, másrészt gáz lyukacsosodásának elhárítása.

Kétségtelen azonban, hogy ezzel az eljárással a varratfém ötvözes szegényesebben biztosítható, mint a kézi ívhegesztésnél a bevonat, és a fedettívű hegesztésnél a fedőpor révén. Ez jelentkezik is a varratfém magasabb átmeneti hőmérsékletében. A CO₂-védőgázás hegesztés ezért általában csak a "B" minőségű, gondos technológiával mellett a "C" minőségű acélok hegesztésére alkalmas.

A hiányosságok kiküszöbölésére kifejlesztették a porbeles huzalokat. Ezeknél a cső keresztmetszetű huzal belsejében levő hegesztő por ötvöző hatása a varratfém mechanikai tulajdonságait kedvezőbbé teheti. A porbeles huzaloknak két típusa ismeretes:

a védőgáz és az önvédő. Ez utóbbiban a levegő távoltartásához szükséges védőgázt a huzalban levő por fejlesztli, így CO_2 gáz alkalmazása nem szükséges.

Porbeles huzallal történő hegesztéskor a varraton salaktakaró képződik. A porbeles huzalok kedvezőbb hegesztési tulajdonságokat is biztosítanak. Ez a nyugodtabb, kisebb fröcsköléssel járó hegesztőívben és a simább, kevésbé domboru varratalakban jut kifejezésre. Bár az ilyen huzalok ára kb. duplája a tömör huzalokénak, a felsorolt előnyök valószínűvé teszik elterjedésüket.

A CO_2 eljárás leginkább félautomatikus változatban (a huzal hegesztő ív felé történő továbbítása automatikus, a varrat tengelyében kézzel vezetik) terjedt el. Kiválóan alkalmas azonban automatikus, sőt teljesen automatizált (az emberi beavatkozás teljes kiküszöbölésével) hegesztés végrehajtására is.

6.3.2 Az eljárás berendezései és segédeszközei

Az egyszerű - félautomatikus - CO_2 berendezés fő részei az áramforrás, a vezérlő-szekrény, a huzalelőtoló készülék, esetleg a vízűtőberendezés, a hegesztőpisztoly a tömlőköteggel, a gázpalack a gázmelegítővel és nyomáscsökkentővel. Ezek legfőbb jellemzőit az alábbiakban részletezzük.

Az áramforrás kizárólag egyenáramu lehet. Főként a hegesztő egyenirányító van elterjedve, de ismeretesebbek a generátorok is (pl. az NDK gyártmányú Kjellberg KW 510 VC típusú igen kiváló).

A CO_2 hegesztés áramforrásaitól megköveteljük a vízszintes (laposan eső) jellegű görbét. Ez - hasonlóan a vékonyhuzalos fedettívű hegesztésnél elmondottakhoz - biztosítja az egyszerű ívgyújtást és a stabil hegesztő ívet.

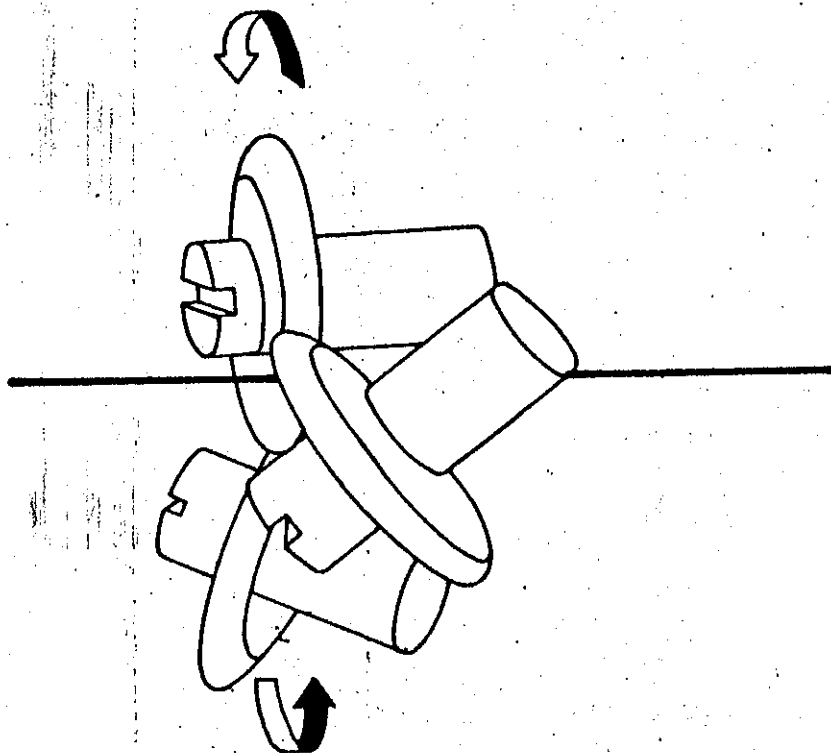
A gép dinamikus tulajdonságait ennél az eljárásnál különösen fontosak. A nyugodt, csekély fröcsköléssel járó és sima, egyenletes varratfelületet eredményező legkedvezőbb induktivitás ezért a CO_2 védőgáz hegesztés áramforrásain általában megfelelő fojtótekercsek révén, három negatív pólus-kivezetéssel van biztosítva. Ezek közül mindig az éppen alkalmazott paramétereknek legmegfelelőbbet kell kiválasztani. A túl kicsi induktivitás (az áram rövidzárás után túl lassan éri el a maximumot) erős fröcskölést, a túl nagy induktivitás nyugtalan ívet, egyenetlen varratfelületet eredményez.

A vezérlőszekrény feladata a hegesztés egyszerű, sikeres végrehajtásához szükséges műveletek szabályozása. A hegesztés indítása és leállítása ugyanis a - pisztolyon levő - egyenetlen kapcsoló segítségével történik. Ez - a vezérlőszekrényen keresztül - működteti a gázáramlást (mely a kellő ív-védelem érdekében az ívgyújtás előtt indul és a hegesztés befejezése után is tart még), a huzal továbbítást, a hegesztő áram be- és kikapcsolást, valamint - vízűtőes pisztoly esetén - a hűtővíz-cirkulációt.

A huzalelőtoló készülék (a huzaldob tartóval együtt) többnyire a vezérlőszekrénybe van beépítve. Ennek tartozéka a motor, a hajtómű, a huzalelőtoló görgők és a huzalelőtolás sebességét (ezen keresztül a hegesztőáram erősségét) fokozatmentesen szabályozó kezelőgomb, valamint a huzalcsévé tartó eszköz.

A hegesztő huzal (a félautomatikus berendezésnél) egy (általában 3 m hosszú) flexibilis csővön jut a hegesztő pisztolyba. Az egyszerű berendezések – tömör huzal esetében egy, porbeles huzal esetében két párhuzamos tengelyű, a motornál elhelyezett görgőpár segítségével – tölják a huzalt. Ez – a csőben és az árambevezető fuvókánál fellépő surlódási ellenállások, valamint a vékony huzal rugalmas kihajlásai miatt – gyakran akadozó huzalmazgással jár, ami a hegesztési folyamatot lehetetlenné teszi. A probléma kiküszöbölésére egyes cégek (pl. a svéd ESAB) olyan pisztolyokat építenek, melyekben (elektromos árammal, vagy sűrített levegővel működtetett) húzó motorok segítik a huzal továbbítást ("push-pull" rendszer). Az így kétségtelenül megoldott huzaltovábbítás azonban az amúgy sem könnyű pisztoly elnehezüléséhez vezet.

A Hobart cég a probléma megoldására újfajta rendszert vezetett be. Ennél két (30 dkg súlyú, 38 mm átmérőjű, 146 mm hosszú) elektromotor három, egymással szöget bezáró tengely körül forgó görgő segítségével azonos sebességgel tölja, ill. húzza a huzalt (143. ábra). Ezzel a rendszerrel – közbeliktatott motorok segítségével – a tömlőköteg hossza korlátlanul (akár 20–30 m-re is) növelhető, és így az eljárás mozgékony-sága jelentősen fokozható.



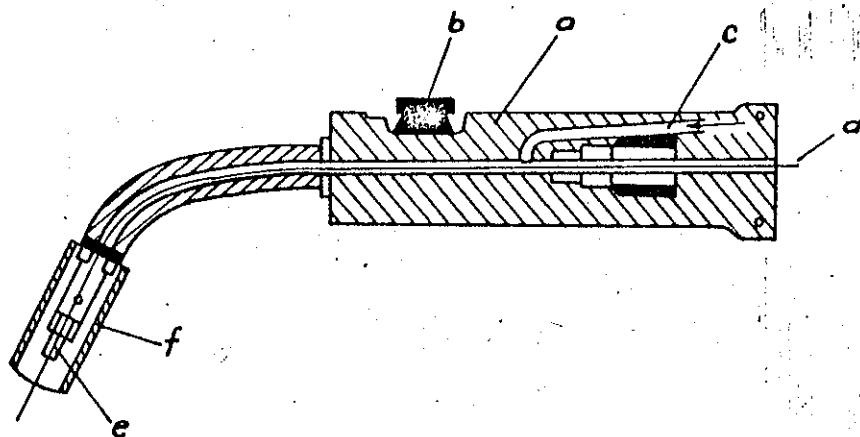
143. ábra

A "Linear" rendszerű huzalelőtolás vázlata

A huzalelőtolás problémájának másik megoldása, amikor a huzaltekeresztet a pisztolyba helyezik. Ez az út azonban csak vékonyhuzalos ($\varnothing 0,6-0,8$ mm) hegesztésnél, 0,5 kg-os huzalcsévék alkalmazása mellett járható, de akkor is kellemetlen a pisztoly viszonylag nagy mérete és súlya.

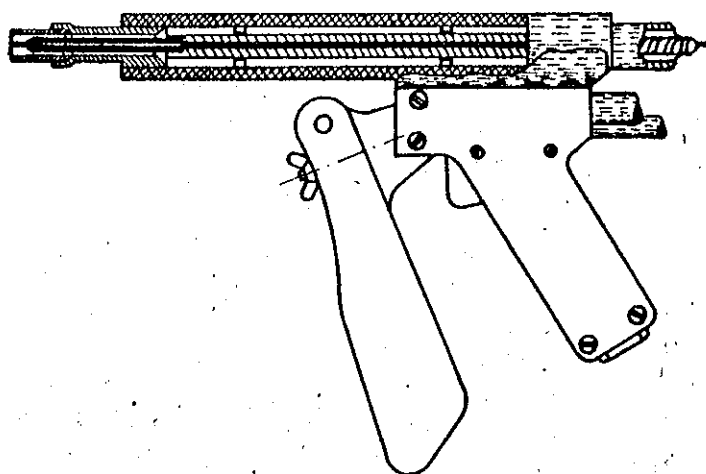
A vizhűtő berendezés 250-300 A feletti áramerősségek esetén szükséges a pisztoly túlzott felmelegedésének elkerülése céljából (az alatt a levegő, ill. a CO₂ gáz hűtőhatása elegendő). A hűtővizet elektromotorral működtetett szivattyú cirkuláltatja a tömlőkötegen át a pisztoly gázvezető hüvelyében. A rendszer meglehetősen bonyolult, meghibásodására hajlamos (tömítések, stb.), nehezíti a pisztolyt. Szerencsére az acélszerkezet építésben leginkább használatos 1,2; 1,6 mm átmérőjű huzaloknál alkalmazott áramerősségek mellett nem szükséges, így itt általában léghűtéses pisztolyokkal dolgozunk.

A hegesztőpisztoly kétféle kivitelben - az alkalmazandó huzalátmérők, ill. áramerősségek szerint - különböző méretekkel készül. Az egyik forma a pisztolyszerű (144. ábra), a másik - a gyakorlatban sokkal inkább elterjedt - "hattyunyak" alaku (145. ábra).



144. ábra

A "hattyunyak"-formájú CO₂ hegesztőpisztoly ("a": markolat; "b": működtető kapcsoló; "c": gázbevezetés; "d": huzalbevezetés; "e": árambevezető fuvóka; "f": gázvezető fuvóka)



145. ábra

A "pisztoly"-formájú CO₂ hegesztőpisztoly

A léghűtéses pisztoly fő részei a következők

- a markolat a működtető kapcsolóval (billentyűvel);
- az árambevezető fuvóka;
- a gázvezető hüvely.

A pisztolyok szétszedhetők, különösen az áramvezető fuvókát, de a gázvezető hüvelyt is viszonylag sűrűn kell cserélni. Ezeket szilikon-olajjal szokás bekenni, hogy a rájuk tapadt hegesztési fröcskölés könnyen eltávolítható legyen.

A tömlőköteg magában foglalja a huzalvezető csövet (többnyire acél-bowden cső) a hegesztőáram vezető kábelt, a vezérlő kábelt, a gázvezető csövet (műanyag) és - esetleg - a vízáramoltatás csöveit (műanyag). Így meglehetősen vastag és súlyos, ezért a korszerű berendezéseket "akasztófa"-szerű, könnyen mozgatható tömlőtartókkal szállítják, mely csökkenti a hegesztő terhét.

A gázpalack az oxigén palackhoz hasonló. Benne a CO_2 -gáz kb. 60 atm nyomással, cseppfolyós állapotban van. Csak a palack tetején képződik gáz. A nyomás mindaddig változatlan, amíg a palack ki nem ürül. Így a benne levő gázmennyiséget a nyomásmérő segítségével megállapítani nem lehet. Segít ezen, hogy a palack használat közben általában bederesedik addig, ameddig benne a folyadék felér. Megállapítható a gázmennyiség méréssel is (1000 l kb. 2 kg, a palack súlya fel van tüntetve).

A CO_2 -hegesztés reduktora gáznyomás mérő manométerből és nyomáscsökkentő szelepből, valamint szabályozó csavarral ellátott gázáramlás mérőből áll. Ez utóbbi l/perc-ben mutatja a gázfelvételt. (Általában 12-20 l/perc szükséges a hegesztéshez.)

A gázmelegítő a reduktorra szerelhető elektromos fűtőtest, mely a reduktornak a gáz expanziójával járó hűtőhatás miatti befagyását van hivatva megakadályozni.

A CO_2 hegesztés kitűnően alkalmas a legkülönbözőbb feladatok automatizált elvégzésére. Az USA-ban pl. csővezetékek tompa hegesztésére kifejlesztettek numerikus vezérlésű, teljesen automatikusan működő berendezést.

Egyszerű időrelé beiktatásával a közönséges félautomatikus CO_2 -es berendezés pont-hegesztésre alkalmassá tehető. Ezuton vékonylemez (1-2 mm) burkolatok kiválóan rögzíthetők a vázszerkezethez.

6.3.3 Hozaganyagok

A CO_2 hegesztés hozaganyaga a huzal. Ez általában az alábbi összetétellel készül:

C :	0,1%
Mn:	1,5%
Si:	1%
S:	0,03%
P:	0,03%

A magas Si és Mn tartalom a hegesztés során klég. A Vastpari Kutató Intézetben lefolytatott legújabb vizsgálatok rámutattak arra, hogy a hegesztett kötés szívósságának fokozása céljából - különösen az 52-es acéloknál - kedvezőbbek az alacsonyabb Si tartalmu (0,7 - 0,8%) huzalok.

A vegyi összetételre vonatkozó előírásokon túlmenően fontos, hogy a huzal azonos keresztmetszetű, tiszta, rozsdátlan felületű és gondosan felcsévélt legyen. A CO_2 huzalokat - a jobb áramvezetés és a korrózió elleni védelem céljából - rezezással szokták bevonni. A huzalokat közvetlen felhasználásra alkalmas módon, általában 10 kg-os tekercsekben, műanyag dobokra felcsévélve hozzák forgalomba.

Járatos huzalátmérők:

0,8; 1,0; 1,2; 1,6; 2,0; 2,4 mm,

Magyarországon a Salgótarjáni Acélárugyár gyárt huzalokat - eddig elég gyenge minőségben. A folyamatban levő rekonstrukció után ez a helyzet remélhetőleg gyökeresen meg fog változni. ESAB gépekkel nemcsak tömör huzalt, hanem (szovjet licenc alapján, PPAN 3 jelű védőgáz és PP AN 7 jelű önvédő) porbeles huzalt is fognak gyártani.

Eddig nagyrészt importra szorultunk huzal tekintetében. Az itthon ismertebb típusok az Oerlikon cég Carbofil, az ETARC cég NEG-55, az olasz Radelli, a Böhler cég EMK 6 jelű huzalja (ez utóbbi bár a legdrágább, de a legkisebb vegyi összetételbeli szórás következtében a legjobb varratminőséget adja). A porbeles huzalok közül az OERLIKON Fluxofil és a HOBART FABCO-55 jelűek ismertek.

A védőgázként alkalmazott széndioxid tisztasági foka 99,7% kell legyen, a H és N tartalom nem haladhatja meg a 0,15%-ot. Ha a gáz szennyezettsége magasabb, a varrat gázlukacsossá válhat. Ennek elkerülésére célszerű a palackból használatbavétel előtt kb. 50 l gázt kiengedni.

Magyarországon csak ezután fog a hegesztésre alkalmas CO_2 gáz szabványosítása megtörténni, utána remélhető majd a hazai gáz megfelelő minőségben történő előállítása.

6.3.4 Hegesztéstechnológia

A széndioxid védőgázos hegesztés a kivétel igényességét tekintve a kézi iv és a fedettív hegesztés között helyezkedik el.

A lemezéliképzést - az MSz 4292-66 előírásai szerint - fokozott gonddal kell elkészíteni, tisztaság és főként illesztési hézag tekintetében azonban nem olyan kényes, mint a fedettív eljárás. A félautomatikus kivételben, ill. a kézi vezetéssel jobban követhetők az éliképzésben esetlegesen mutatkozó eltérések is.

A tömlőköteg - általában 3 m-es hossza - a kézi eljáráshoz képest feltétlenül korlátozottabb mozgást tesz lehetővé, jóval mozgékonyabb viszont a fedettív automatikus eljárásnál.

A hozaganyag(huzal) kiválasztása itt a legegyszerűbb, legfeljebb azt kell eldönteni, hogy tömörhuzallal vagy porbelessel kívánunk-e dolgozni.

A CO_2 -gázt - a feladattól függően - 12-20 l/perc sebességgel kell áramoltatni. Ennél kevesebb nem veszi körül kellő mértékben az ívet és fürdőt, több viszont turbulenciát okozva szintén a levegő odajutását eredményezi. A huzat, ill. szél hasonló hatásu, ezért ez az eljárás szabadban (pl. szerelésen) nem, vagy csak kellő védelem mellett alkalmazható.

A berendezés karbantartása, főként az árambevezető fuvóka, a huzalvezető cső, a gázvezető hüvely tisztántartása, elég sok tennivalót igényel, ill. mellékidővel jár. Ennek elmulasztása viszont az egyenletes huzaladagolás, ezen keresztül az egész folyamat rovására megy.

A CO₂-eljárással szokás jobbra és balra hegeszteni. Ez utóbbi a gyakorlatban alkalmazott módszer, mert - főként ha enyhe dőlésszög mellett lefele hegesztünk - kedvezőbb (simább, laposabb) varratalak képződik - csekélyebb beolvadás mellett. Egyenes vonalú és ívelt pisztolyvezetés egyaránt alkalmazást nyer. A varratokat lehetőleg folyamatosan (tehát nem a kézi ivhegesztést utánozva, szakaszokban) kell készíteni.

Az eljárás alkalmas minden pozícióban való hegesztésre. Kényszerhelyzetben azonban csak kisebb huzalátmérővel (max. $\varnothing$ 1,2 mm), csekélyebb áramerősséggel lehet dolgozni. Igen kedvező varratalak érhető el függőleges, felülről lefelé való hegesztésnél.

A CO₂ eljárás kétféle módszerét szokás megkülönböztetni: a rövidívtű (merített ívtű) és a normál ívtű hegesztést. Ezek főbb jellemzőit - az ESAB cég adatai nyomán - a 146. ábra szemlélteti.

A rövidívtű eljárás kis áram és alacsony feszültség mellett, max. 1,2 mm huzalátmérőig, viszonylag csekély, hideg fürdővel, folyamatos rövidzáras cseppátmenettel dolgozik. Mindez kiválóan alkalmassá teszi gyök, vékonylemez-, és pozíció hegesztésre, valamint résáthidalásra.

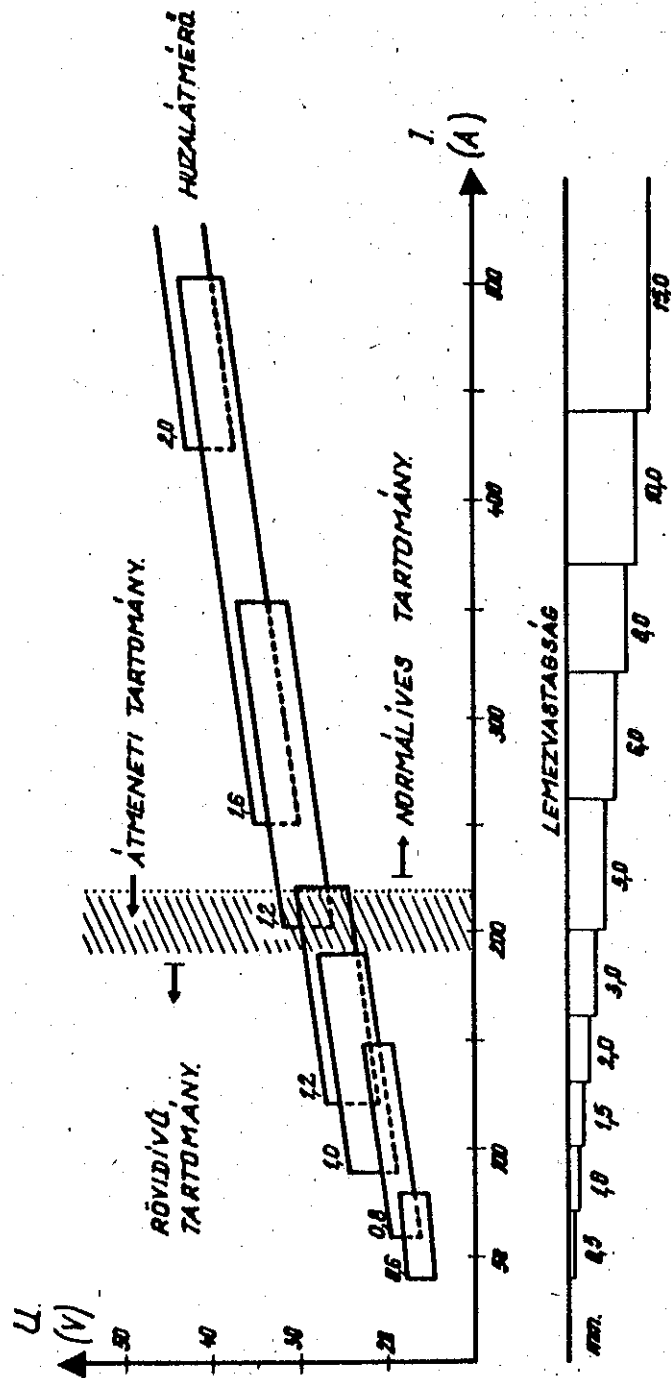
A tárgyalásaink körébe tartozó acélszerkezet gyártásban - jellegénél fogva - inkább a normál ívtű hegesztés terjedt el, ezért a következőkben ezt részletezzük.

Megfelelő varratminőség - az előzőekben részletezetteken túl - csak a hegesztési paraméterek helyes megválasztása mellett biztosítható. A legfontosabb tudnivalók itt az alábbiak.

Az áramerősség növelésével a leolvadás egyre finomabb cseppessé válik, az ív egyre stabilabb, a fröcskölés csökken, a beolvadási mélység és a varratdudor növekszik.

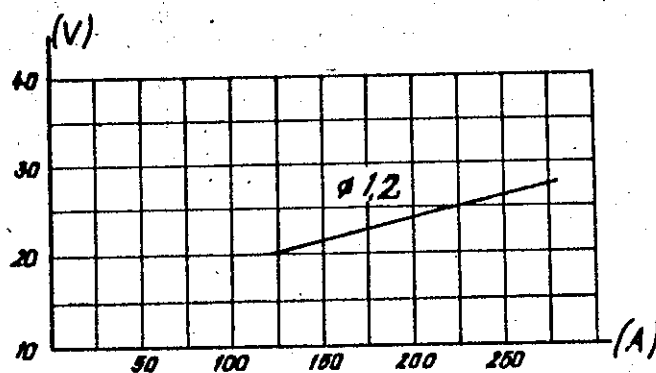
A hegesztési feszültség növekedése ellenkező hatású: a leolvadás egyre nagyobb (esetleg a huzalátmérő többszörösét kitevő) cseppekben egyre nyugtalanabb ívben, fokozódó fröcskölés mellett megy végbe, viszont a varrat laposabb, simább lesz.

Bár mindkét paraméter tág határok között változtatható, a megfelelő varratalak adott áramerősség értékhez adott ívfeszültséget rendel. A 147. és a 148. ábrákon grafikusán ábrázoljuk az $\varnothing$ 1,2 és $\varnothing$ 1,6 mm huzalokhoz tartozó értékpárokat.



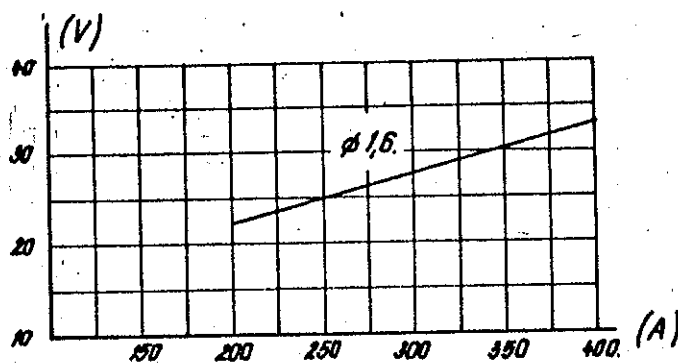
146. ábra

A "rövid ív" és a "normál ív" CO₂-es hegesztés alkalmazási tartományai a hegesztési paraméterek és a lemezvastagság függvényében



147. ábra

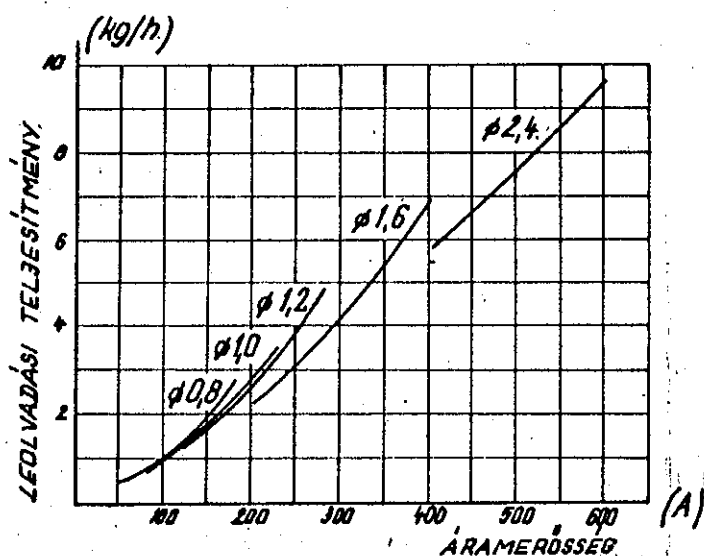
Összetartozó áramerősség-ívfeszültség értékek $\varnothing 1,2$ mm-es huzallal végzett CO_2 hegesztésnél



148. ábra

Összetartozó áramerősség-ívfeszültség értékek $\varnothing 1,6$ mm-es huzallal végzett CO_2 hegesztésnél

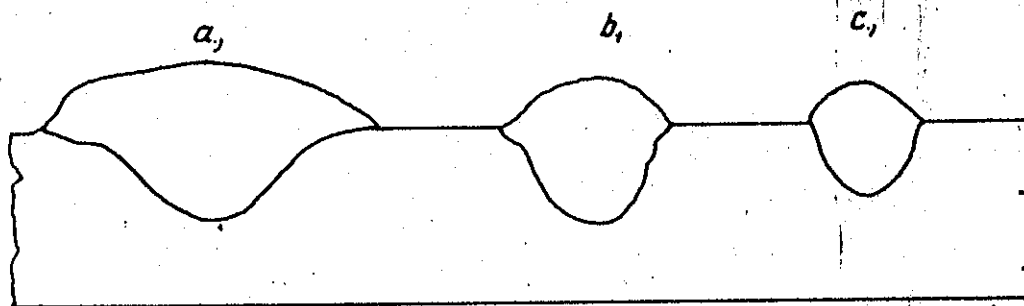
Az áramerősség növelésével jelentősen nő a leolvadási teljesítmény. Az erre vonatkozó összefüggést a 149. ábra szemlélteti.



149. ábra

Az áramerősség és a leolvadást teljesítmény összefüggése CO_2 -es hegesztésnél

A hegesztési sebesség növelésével jelentősen csökken a varrat szélessége, és kismértékben a varratdudor magassága és a beolvadási mélység (150. ábra).



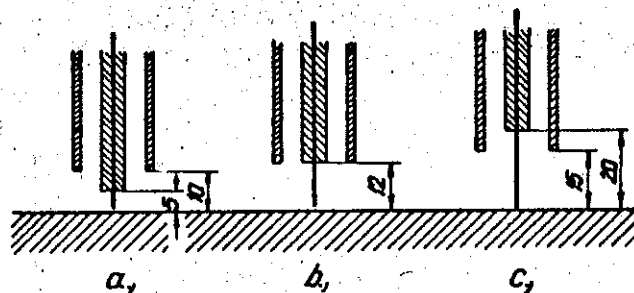
150. ábra

A hegesztési sebesség növelésének hatása a varratalakra ("a": 23 cm/perc; "b": 50 cm/perc; "c": 83 cm/perc - az egyéb paraméterek mindhárom esetben azonosak: $I = 400 \text{ A}$; $U = 33 \text{ V}$; huzalátmérő: 1,6 mm)

Fontos a szabad, áram alatti huzalhossz helyes megválasztása is. Erre vonatkozó irányértékeket az alábbiak adnak:

Áramerősség (A)	Szabad huzalhossz (mm)
50	5
100	6
150	8
200	10
250	12
300	14
350	17
400	20

A gázvezető hüvely távolságának, ill. a hüvely és az árambevezető fuvóka viszonyának - áramerősségtől függő - helyes megválasztását a 151. ábra szemlélteti.



151. ábra

A gázvezető hüvely és az árambevezető fuvóka alapanyagtól való helyes távolsága ("a": 50-150 A; "b": 150-350 A; "c": 350 A felett)

A polaritás szerepe is jelentős. Pozitív polaritás mellett kisebb a leolvadási teljesítmény, de kedvezőbb a varratalak (mélyebb beolvadás, kisebb varratdudor), csekélyebb a fröcskölés. Ezért CO₂-eljárásnál általában a pozitív pólust kötjük a munkakábelre.

6.3.5 Az eljárás előnyei, hátrányai, alkalmazási területe

Az eljárás fő előnye:

- a nagy teljesítmény (a kézínek két-háromszorosa);
- csekély alakváltozások;
- mély beolvadás;
- mozgékonyság;
- íves tengelyű és kényszerhelyzetű varratok készíthetősége;
- a hegesztő ív és a varratképzés látható;
- a berendezés kedvező ára (kb. duplája a kézínek).

Az eljárás fő hátrányai:

- a hegesztőre a három eljárás közül a legnehezebb fizikai igénybevételt rója;
- az iv fénye a legerősebb, legkedvezőtlenebb;
- a berendezés karbantartás-igényes;
- a szabadban való hegesztés csak korlátozottan történhet;
- a kézi hegesztéshez képest kisebb hatósugár és mozgékonyság;
- viszonylag kedvezőtlen varratfelület, nagy fröcskölés;
- a varrat mechanikai tulajdonságai - a másik két eljárással elérhetőhöz képest - gyengébbek.

Az említett előnyök, hátrányok nagyjából behatárolják az eljárás alkalmazási területét.

A CO_2 hegesztés főként ott nyer létjogosultságot, ahol a fedettívű hegesztés nem alkalmazható, tehát vékonylemezek hegesztésénél, ponthegesztésénél, kisméretű - ($a < 3 \text{ mm}$) rövidebb - ($l < 1 \text{ m}$), íves tengelyű-, kényszerhelyzetű varratok készítésénél, valamint olyan esetekben, ahol a varrathoz nem lehet fedettívű traktorral hozzáférni (pl. lemezes szerkezetek hossz- és keresztirányú merevítéseit bekötő sarokvarratok készítése).

A varratfém mechanikai tulajdonságai normál esetben a 37-es szilárdsági kategóriában a "B", kivételes gondossággal végzett hegesztésnél a "C" fokozatig terjedő minőségű acélok hegesztésére teszik alkalmassá az eljárást. 52-es acélok hegesztése erősen megkérdőjelezhető egyrészt a varratfém gyengébb szívóssága, másrészt - kisebb méretű varratok hegesztése, ill. kisebb fajlagos hőbevitel esetén - az átmeneti zóna fokozott edződési veszélye miatt.

Fáradási igénybevételnek, ill. ridegtörési veszélynek kitett szerkezeteknél nem kedvező a CO_2 hegesztéssel készült varratok viszonylag domboru, durván pikkelyezett felülete sem.

A porbeles huzalok alkalmazásával a fenti hátrányok csökkenthetők, de a huzal magasabb ára az eljárás gazdaságosságát rontja.

6.5 Az eljárás kiválasztásának műszaki-gazdasági kérdése

Az előzőekben ismertettük a hegesztett acélszerkezetek gyártásánál alkalmazott három eljárást, elemeztük előnyeiket, hátrányaikat és rámutattunk azokra a területekre, melyeken kedvezően alkalmazhatók. Ebben a pontban röviden összefoglaljuk azokat a szempontokat, melyeket az eljárás alkalmazásba vételénél célszerű figyelembe venni. Ezek két csoportra bonthatók: a műszaki és gazdasági jellegű szempontokra.

Műszaki vonatkozásban az alábbi kérdéseket szokás vizsgálni:

- a hegesztett kötés mechanikai tulajdonságai (főként az átmeneti hőmérséklet, mely el kell érje az alapanyagra előírt értéket);
- a varrat külalakja (varratalak, varratfelület, szegélybeégés stb.);
- a hegesztés kivitelezhetősége (hozzáférhetőség, hegesztési helyzet, íves varrat stb.);
- a készíthetőség;

- a lemezélikképzésre, a tisztaságra, a nedvességre, a légmozgásra való érzékenység.

Gazdasági vonatkozásban tulajdonképpen a varrategységre eső költségek összege a meghatározó. Ez az alábbi tényezőkből tevődik össze:

- az élikképzés;
- az összeállítás;
- a hegesztési fő és mellékdő;
- a hegesztőanyagok;
- a hegesztő berendezés (beszerzés és karbantartás);
- a hegesztéshez szükséges energia;
- a hegesztéssel kapcsolatos segédműveletek (gyökfaragás, salakolás, varratél le- munkálás, előmelegítés, utóhőkezelés, egyengetés, hibajavítás stb.);
- a hegesztéshez szükséges készülékek, berendezések költségei.

A műszaki szempontok általában elsődlegesek (pl. hiába olcsóbb egy eljárás, ha a vele készült kötés minősége nem éri el a követelményeket, vagy ha azon a helyen, abban a pozícióban nem alkalmazható stb.).

A gazdasági szempontok, melyek tulajdonképpen nagyrészt műszaki tényezőkre vezethetők vissza (pl. a CO₂ eljárásnál salakolás nincs, a fedettívűnél nem kell gyököt faragni, stb.), mérlegelése már nem ilyen egyértelműen meghatározó. Sok esetben akkor is alkalmazunk egy eljárást, ha a vele készült varrat összköltsége nem a legkedvezőbb. Domináns szempont lehet pl. a teljes átfutási idő, vagy csak a hegesztési főidő, esetleg mellékdő, az alakváltozások minimumon tartása, kapacitásviszonyok (gépi és emberi).

Mind egyik szempont figyelembe vétele egyedi gyártásnál csaknem lehetetlen. Más a helyzet széria gyártás technológiájának megtervezésekor. Ilyen esetben feltétlenül célszerű a legrészletesebb, mindenre kiterjedő elemzéssel kiválasztani az alkalmazandó eljárást (eljárásokat) és a mellérendelt segédműveleteket, berendezéseket. Ehhez a munkához az utóbbi időben (főleg az NDK-ban) már számítógépeket is igénybe vesznek. Az elemzés folyamatát ilyenkor a konstrukció kialakításánál kell kezdeni. Ezt ugyanis sokszor döntő módon befolyásolhatja az az igény, hogy a legkedvezőbb hegesztő eljárás alkalmazható legyen. A hegesztés és a vele kapcsolatos segédműveletek ugyanis a teljes gyártási átfutási időnek és költségének jelentékeny részét te-
tik ki.

7. HEGESZTETT ACÉLSZERKEZETEK GYÁRTÁSA

7.1 A gyártástechnológia szerepe és kidolgozásának módjai. A szakember feladatai.

A gyártási tevékenység legfontosabb irányítója a gyártástechnológia. Feladata a munka oly módon történő szabályozása, hogy az elkészült szerkezet töréssel szembeni biztonsága, valamint minősége, méretpontossága és alakhűsége a terveken előírt, ill. az üzemeltetési körülmények szabta követelményeket a lehető legalacsonyabb gyártási költségek mellett elégítse ki.

A gyártástechnológia meghatározó szerepe már a tervezés stádiumában kifejezésre kell jusson. Ugyanis gazdaságos termék feltétlenül igényli, hogy a tervezési munka mindjárt a kezdetben - a funkcionális és esztétikai igények figyelembevételével kialakított elképzelés első, általános tervi szintű megjelenése után - a technológiát követelmények állandó figyelembevétele mellett történjék.

Szakszerű és egyben gazdaságos gyártás kizárólag az üzemtől független technológián bázison nyugodva folyhat. Az üzemben a termékkel egyidejűleg készülő, az üzemi munka irányítói által "rögtönzött" technológia sohasem vezethet kedvező eredményre, mivel egyrészt az üzem adottságai nem teszik lehetővé az átgondolt munkát, másrészt ez elvonja az oda beosztottakat a kivitelezés egyéb feladataitól.

A technológiára épül ugyanis a programozás, az anyagbiztosítás, sőt bizonyos mértékig a munkavállalás is. A jó technológia a termék gazdaságosságát egyrészt közvetlenül - a kivitelezés lehetőségének optimális meghatározása révén - másrészt közvetve - a programozás bázisaként, a munkavégzés folyamatosságának révén - biztosítja. A technológia és a programozás egymásrahatása fordított irányban is érvényesülhet: egyes műveleteket esetleg azért nem az optimális gyártási utra, gépekre tervezik, mert azok az adott időpontban már egyéb munkákkal leterheltek.

A jó gyártástechnológia figyelemmel van a szerelésre is, alapját képezi a szakszerű, gazdaságos szerelésnek. Gyártástechnológia készítésekor tehát a szerelési tevékenységet is át kell gondolni és a gyártás egyes tényezőit (pl. a szerkezet üzemi összeállításának mértéke, szállítási-, szerelési egységek méretei, részegységek közötti kapcsolatok üzemi, vagy helyszíni elkészítése stb.) a szerelés technológiájának, adottságainak leginkább megfelelő módon kell meghatározni, hiszen a szerkezet gazdaságosságát végső fokon a gyártás és a szerelés együttes költségei határozzák meg.

A technológiának figyelembe kell vennie az üzem adottságait: a gépi berendezéseket, a teheremelést, mozgatók lehetőségeit, az ellenőrzés szöbajóhető módszerét, végül az irányító és kivitelező személyzet szakmai felkészültségét.

A technológia köteles munkavédelmi szempontokat is figyelembe venni, azaz egyes műveletek elvégzésének biztonságos feltételeit tanulmányozni, azok létrehozására a szükséges intézkedéseket megtenni, utasításokat kiadni.

A technológia a minőségellenőrzés kérdésével is foglalkozzék. Irja elő a részátvételi szempontjait, időpontjait, adjon utasítást a végátvétel módjára;

A technológia készítés döntő szempontja a termék darabszáma is. Ez ugyanis a készülékezés, gépesítés mértékére van fontos hatással. A darabszám növekedése a technológia jelentőségének egyidejű növekedését is magával hozza, hiszen a legcsekélyebb hiba, ill. az ebből eredő többletköltség megsokszorozódik. Nagyobb darabszám esetén minden egyes műveletet a legaprólékosabban elemezni kell a fő- és mellékidők csökkentése céljából; a készülékezés, gépesítés mértékét gazdaságossági számítások függvényévé kell tenni. Kellő darabszám új gépsor, vagy esetleg új üzemi létesítését is indokolttá teheti. Ennek az optimális technológiai folyamat igényei szerinti berendezése végső soron a gyártástechnológia tárgykörébe tartozó feladat, annak legfelső fokán történő művelését követeli meg. Az autógyártás jó példa erre, és egyben arra is, hogy a nagy darabszám óriási beruházások mellett is (illetve csakis azok mellett) alacsony önköltséget, olcsó terméket eredményez. Hiszen 1 kg autó ára kb. egyezik 1 kg daruszerkezet árával, noha annál lényegesen drágább alapanyagokból áll és előállítása jóval munkaigényesebb.

A hegesztett szerkezetek bevezetésével a gyártástechnológia szerepének fontossága jelentősen megnőtt.

A szegecselt szerkezeteknél ugyanis a gyártásnak meglehetősen kikristályosodott módszerrel voltak: elemek előrajzolása terv szerinti méretre, darabolás, lyukasztás, összeállítás, lyukak méretre dörzsölése, szegecselés. A gyártástechnológia szóba-jöhető variánsainak száma is csekély volt.

A hegesztett szerkezeteknél több olyan problémát kell a gyártás során megoldani, melyek azelőtt ismeretlenek voltak.

Az előrajzolás már nem a terv szerinti méretek szolgálati lemásolásából áll, hanem ügyelni kell a hegesztési zsugorodásokra. Ezért itt bizonyos ráhagyásokkal, a készre-hegesztett szerkezeti elem, vagy szerelési egység esetleges újbóli berajzolásával, majd lemunkálásával lehet csak a terv szerinti méretet biztosítani.

A szerkezeti, szerelési egységek sok esetben nem egyszerű síkbeli tartók (mint a szegecselt szerkezeteknél), hanem nagykiterjedésű, bonyolult térbeli szerkezetek, melyeknél az összeállítás, hegesztés, egyengetés, méretremunkálás fázisai többször is követhetik egymást, a szerelési egységeket tehát célszerű részekre bontani. Ennek szempontjai lehetnek pl.:

- készülékezhetőség,
- automatikus hegesztés alkalmazhatósága,
- kedvezőbb hozzáférhetőség, vagy hegesztési helyzet biztosítása,
- kisebb alakváltozásokra való törekvés,
- könnyebb egyengethetőség,
- egyszerűbb mérettartás,
- az átfutási idő csökkentése,

A hegesztéstechnológia főbb elemeinek - eljárás, hegesztőanyag, hegesztési munkarend - megválasztása, szakszerű kivitelezése, azaz a töréssel szembeállított biztonság feltételének kielégítése egy sor olyan - igen széles alapokon nyugvó szaktudást igénylő - intézkedést kíván, melyekhez nem is hasonlíthatók a szegecselés létrehozásánál támasztott követelmények.

Gyártást megelőző és gyártásközi, roncsolásos és roncsolásmentes vizsgálatok egész sorát igényli a hegesztett kötések biztonságos alkalmazása - az egyszerű szegecsvizsgálatokkal szemben.

Fel kell hívni a figyelmet arra, hogy helytelen az a törekvés, mely a hegesztéstechnológiát külön, a gyártástechnológia egészéből kiragadva kezeli. A hegesztés műveletét feltétlenül szerves és általában többször megismétlődő részét képezik a gyártás folyamatának. Jó kivitelezhetőségük alapvetően függ egyéb gyártási tevékenységtől (pl. élkiképzés minősége, illesztési pontosság, hozzáférhetőség, hegesztési helyzet stb.), ugyanakkor a hegesztést is alá kell rendelni bizonyos szempontoknak (pl. alak- és mérethűség biztosítása, stb.). A helyes megoldás feltétlenül az, hogy a gyártástechnológiát egységesen, különböző szakemberek közös munkájaként alakítják ki. Fontos szerepet kap ebben a kollektívában a hegesztőmérnök, aki a hegesztéstechnológia elemeit, valamint a zsugorodások, alakváltozások és legfőképpen a törési biztonság szabta követelmények érvényre juttatója. Szerepének fontosságát bizonyítja, hogy több külföldi szabvány hegesztőmérnök létehez és személyéhez köti hegesztett szerkezetek kivitelezésének engedélyezését.

Az elmondottakkal igyekeztünk némiképpen megvilágítani egyrészt a gyártástechnológia szerepét és jelentőségét, másrészt annak sokrétűségét.

A technológia kidolgozásának módja a gyártmány jellege, darabszáma, az üzem adottságai, a kialakult szokások szerint sokféle lehet. Az egyes üzemek gyakorlata e téren - országhatáron belül is - nemcsak a formában, hanem a kidolgozás mélységében is erősen eltér egymástól. Egyes helyeken különféle előregyártott és a feladat jellege szerint kitöltött táblázatok, műveleti utasítások sora, más helyeken a szerkezet fejlesztése rajzos ábrákkal, egy-egy mondatos utasítással van előírva, megint mások néhány ábrát tartalmazó összefüggő szöveggel látják biztosítva a célt.

Általános érvényű "receptet" adni a helyes technológia készítésére - éppen a feladat sokrétűsége miatt - igen nehéz. Iránymutatásként annyit mégis megemlítenénk, hogy többnyire célszerű a technológia készítést két fázisra bontani. Az elsőben a koncepciót kell - magasabb felkészültségi szinttel rendelkező szakembereknek - lerögzíteni. Ebben - az ún. "iránytechnológiában" - darabolás, összeállítás, hegesztés, egyengetés, méretre munkálás főbb fázisait, a méret és alakhelyesség biztosításának irányvonalát, a műhelyi előzetes összeállítás mértékét, a hegesztéstechnológia fontosabb elemét kell előírni. Az egyes részműveleteket - az iránytechnológiára épülve - külön utasítás dolgozza ki. Ebben már minden egyes elem elkészítésének módja, a műveletek sorrendjében elő van írva. Ehhez könnyen kapcsolható az anyag- és a gyártási normák kiírásának feladata is. Ezzel a módszerrel egyrészt a rendelkezésre álló - nyilván különböző képzettségi szintű - technológus gárda megfelelő módon terhelhető, másrészt az üzem irányítói is differenciáltan, áttekinthetőbb módon kapják kézhez a végrehajtás utasításait. Egy másik általános érvényű javaslat az, hogy célszerű a technológiát minél részletesebben - lehetőleg minden egyes elemmel végzendő minden egyes műveletre kitérően - elkészíteni, mert ez az előkészítő tevékenység a kivitel során többszörösen megtérül. Az ilyen részletes műveletelemzés a bérezés és a programkészítés legjobb alapjául is szolgálhat.

A technológus szakember feladatai - úgy gondoljuk - szintén kirajzolódtak az előzőek alapján. Döntő fontosságúnak ítéljük, hogy technológusként - legalábbis az irányítás-technológia készítőjeként - csak alapos elméleti tudással és nagy üzemi gyakorlati rendelkező szakembereket alkalmazzunk. Az ezzel való takarékoskodás igen súlyos ráfizetésekhez vezet! A szakember feladata - szorosan vett technológia készítésén túl - a tervek gyártási szempontból való felülvizsgálata, az üzemnek az általa készített technológia gyakorlati bevezetésében való támogatása, tapasztalatok gyűjtése, a technológiának ezek alapján szükség szerinti módosítása, valamint a szerelés a gyártás szempontjainak összehangolása. Röviden összefoglalva: alapos szakmai tudáson nyugvó, széleskörű koordináló tevékenység.

7.2 Főbb technológiai műveletek

7.2.1 Előrajzolás

Az előrajzolás feladata az ún. "sablon"-nak elkészítése, azaz a szerkezet minden egyes tételének 1 : 1 méretarányban való megrajzolása. Önálló tételt képez és tétel-számot kap a tételjegyzékben - vagy más néven a részletes anyagkivonatban - külön feltüntetendő minden olyan elem, mely a legcsekélyebb mértékben, tehát akár csak egy műveletben is eltér a többitől. (A tükrökép nem kap önálló tételszámot.) A szerkezeten belül egy-egy tétel tehát korlátlan darabszámban előfordulhat. Kézenfekvő, hogy kivitelezés szempontjából annál gazdaságosabban gyártható egy szerkezet minél kevesebb fajta és minél nagyobb darabszámban előforduló tételből áll. A rajzolás történhet közvetlenül az acéltanyagra (melyet a jelölések jobb láthatósága érdekében általában fehérre meszelnek), vagy - bonyolultabb esetekben - először papírból, vékony acéllemezből készült segédsablonra.

A tétel többi - mindenben azonos - elemére a sablonról a "jegyező" viszi át a szükséges megmunkálási utasításokat.

A sablonba be kell ütni, vagy rá kell festeni minden olyan jelzést, utasítást, amely az elem készregyártásához szükséges. Ezek többnyire: kontúrvonalak, élkiképzési előírások, lyukak helyzete és (előfurási) mérete, tételszám, darabszám esetleg adagszám, átvevő bélyegzője stb.

Az előrajzoló munkaeszközei többnyire igen egyszerűek rövid és hosszú mérőszalag, zsinag, egyenes és derékszög vonalzó, karctű, pontozó, beverőszámok és betűk, jelzőfesték, kalapács és - a hegesztett szerkezeteknél csökkent jelentőségű - gyök-húzó szerszám.

Nagyobb darabszám esetén speciális sablonokat, segédeszközöket készítenek, melyek a jegyezés műveletét kiküszöbölik. Ilyenek pl. a furósablonok, melyekben a lyukak helyére megfelelő átmérőjű acél furóperselyeket rögzítenek és a tétel többi elemét, kötegelt állapotban, ezen keresztül furják elő. A lyukasztás, ollón és fűrészen való darabolás, sokszor jegyezés mellőzésével ütközőrendszerek segítségével történik.

A korszerű lángvágó automaták - acél sablonról, rajzról, vagy lyukkártya vezérléssel - a legkülönbözőbb alakos elemek előrajzolás kiküszöbölésével történő darabolását teszik lehetővé.

A nagy szérlában készülő acélvázaz épületek elemeinek, főként a különféle idomacéloknak darabolására és a lyukaknak előfurására speciális, numerikus vezérlésű gépsorokat fejlesztettek ki, melyek az előrajzolás kiküszöbölése mellett igen nagy teljesítménnyel dolgoznak (pl. a Boulton and Paul, a Waagner rendszerek stb.).

Az egyedi gyártásnál és a speciális szerkezeteknél az előrajzolás továbbra is fontos művelet. Jelentősége, bonyolultsága a hegesztett szerkezetek bevezetésével növekedett. Itt ugyanis egyrészt nem a terv szerinti méreteket, hanem a zsugorodási, utánszabási ráhagyásokkal növelt méreteket kell felvinni (ennek meghatározására azonban nem a rajzoló, hanem a technológus feladata!), másrészt gyakran a kész, vagy félkész, térbeli szerkezeti egységeken kell az utólagos méretre munkálás, a lyukfúrás adatait berajzolni.

A fentiekből következik, hogy az előrajzolás magasszínvonalu üzemi tevékenységet képvisel. Felelőssége is jelentős, hiszen - különösen nagyobb darabszám esetén - a legcsekélyebb tévedés (mely többnyire csak jóval később derül ki) súlyos anyagi károkat okozhat. (Az elemek hibás volta nemcsak a selejtpótlás, hanem átmeneti hiányok révén a feldolgozó munka folyamatának akadályozása miatt is jelentős kihatásu.)

7.2.2 Darabolás

A darabolás legolcsóbb módszere - mind lemezek, mind idomacélok esetén - az ollózás. Hátránya, hogy csak egyenesvonalu darabolást tesz lehetővé, korlátozott méretek mellett. Nagyobb vastagságok esetén kedvezőtlenül ronsolja is a keresztmetszetet. A csapóollók csak merőleges vágásra, a görgős ollók V-varratalak kiképzésére alkalmasak.

Vékony lemezek, akár íves vonalu vágására is alkalmas, igen ügyes, sűrített levegős és elektromos meghajtásu kézi rezgőollókat fejlesztettek ki (pl. a TRUMPF cég).

Vastagabb lemezek hegesztési V-, vagy X-varratél kiképzésére nagyteljesítményű tárcsás ollókat fejlesztett ki a PULLMAX cég. Ezeknek két típusa különböztethető meg: a kisebb lemezek élét kézi vezetéssel fix gépen, míg a nagyobbakat a lemezél mentén mozgó géppel lehet megmunkálni.

A fűrészelés - főként körtárcsás, ritkábban szalag fűrészsel - idom-, kör-, lapos- és szélesacélok nem túl gyors, de olcsó és jó minőségű darabolásának igen régi módszere. Az eljárás ujabban reneszánszát éli, korszerű, nagy teljesítményű berendezések révén (TRENNJÄGER, WAGNER stb.).

A nagy fordulatszámú műanyag- és lágyvas-tárcsákkal, korongokkal való darabolás a fűrészelés területén alkalmazható, annál sokkal nagyobb teljesítményű, korszerű eljárás.

A darabolás legszélesebb körben alkalmazott módszere a lángvágás.

Az oxigénnek főként acetilén, de gyakran egyéb gázokkal (propán-bután, földgáz, városi gáz stb.) való keveréke - megfelelő pítstolyok, égőfejek segítségével létrehozott koncentrált lángsugárral - megolvasztja az anyagot; az olvadékot oxigénsugár égeti

el és fujja ki a vágási hézagból. Ez a folyamat bizonyos feltételekhez van kötve, mely az eljárást a szerkezeti és az öntött acélok területére korlátozza. (Ötvözött acélokat, öntöttvasakat, nemvas fémeket a költségesebb plazmavágással lehet darabolni.)

A lángvágás óriási előnye, hogy vele minden helyzetben, egyenes és görbevonalu (pl. fogaskerék), lemezfelületre merőleges és ferde síku vágás nagy teljesítménnyel és nagy pontossággal hajtható végre. A hő okozta alakváltozások és az ebből eredő vágási pontatlanságok a legtöbb esetben megfelelő technológiával kiküszöbölhetők.

Megemlítjük, hogy a tárgyalásaink körébe tartozó szerkezeti acélok minden további nélkül darabolhatók lángvágással, anélkül, hogy a vágott élek mentén a hőhatásnak kitett sávot utólag el kellene távolítani (mint ahogy azt régebbi szabványok előírták). A lángvágás ugyanis feltétlenül nagyobb fajlagos hőbevitellel jár, mint a korszerű ívhegesztő eljárás, ezért az edződéstől tartani nem kell. Célszerű azonban a vágási felület szénben kissé feldusult, valamint az oxid-rétegét köszörüléssel eltávolítani.

A lángvágás eszközei - melyek végső soron a minden esetben azonos elven működő, de különféle kialakítású pisztoly különböző fokú vezetését szolgálják - igen széles skálán mozognak.

A kézi vezetésű, általában görgőkre támaszkodó egyszerű lángvágó pisztoly a legolcsóbb, legmozgékonyabb, de egyúttal a leggyengébb minőséget, legkisebb teljesítményt nyújtja.

A félautomatikus szekátor egy néhány kilogrammos - általában elektromos meghajtású, sínen vezetett - kocsi, mely egy, esetleg két pisztolyt tart. Egyszerű, olcsó, mozgékony szerszám, mely kifogástalan vágási felületet biztosít, de többnyire csak egyenes vonalú, esetleg kör alakú vágásokra képes. Egyes gyárak (pl. Hobart) kifejlesztettek olyan szakátorokat, melyek speciális segédberendezésekkel a legkülönbözőbb feladatokat (körkivágások, íves vonalak menti vágások, csövek vágása, varrat-élezés stb.) kényszerhelyzetben is végre tudják hajtani.

A mágneskerekes vezérlésű automaták kb. 1 : 1 léptékű acélsablon után dolgoznak, esetleg több égőfejjel. A fénykereszt segítségével kézi uton vezérelt automaták 1 : 1 léptékű rajz alapján dolgoznak, esetleg több égőfejjel. Mindkettő azonos felépítésű berendezés. A darabolandó anyag felett sínen mozgó hídon vannak elhelyezve a vágófejek, mellettük azonos területen helyezkedik el a sablon, vagy a rajz. A berendezés helyigénye így a vágási terület kétszerese.

Az optikai (fotocella) vezérlésű automaták 1 : 1, 1 : 5, 1 : 10 léptékű rajzról dolgoznak, az utóbbi két esetben helyigényük az előző gépeknek csak kb. a fele. Hátrányuk azonban, hogy különleges pontosságú rajzot igényelnek (nedvességre nem táguló és hullámosodó papíron), mivel a hiba - különösen a nagyobb méretű munkadarabok esetén - sokszorozottan jelntkezik. Jobb a helyzet ha a rajzot lyukszalaggal vezérelt rajzgép készíti.

Az előző kettő hátrányait (nagy helyigény, vágási pontatlanság) kiküszöbölik ki a numerikus vezérlésű lángvágó automaták, melyek a vágófejek irányítását lyukszalag segítségével, számítógépes uton végzik. Ezek a gépek maximális pontossággal dolgoznak

(20-30 m-en is tartják a kb. $\pm 0,5$ mm-es tűrésmezőt). A legújabb berendezések - az elektronika tökéletesítése révén - már viszonylag egyszerű kiszolgálást igényelnek (egy gépet 2 fő lyukkártyakészítő, két fő vágó folyamatosan ki tud szolgálni). Egyetlen hátrányuk a magas beszerzési költség (kb. tízszerese az optikai vezérlésűnek).

7.2.3 Forgácsolás

A forgácsolás az acélszerkezet gyártás technológiai ágazatai között kisebb súllyal esik latba, mint pl. a gépészeti berendezéseknél. Az itt alkalmazott gépek többnyire egyszerűek, a viszonylag kis pontossági követelmények miatt sok nagy gyár is főként öreg gépekkel dolgozik. A leggyakrabban előforduló forgácsoló műveletek a következők.

A furás részaránya, jelentősége a szegecselt szerkezetek kiszorulásával erősen csökkent. A hegesztett szerkezeteknél nagyrészt csak a helyszíni illesztéseknél levő lyukak előfurása általában szárnyas furógépekkel történik (az idomacélokba kisebb vastagságok esetén lyukasztással). Az összeállított szerkezeti egységek illesztő lyukainak végleges átmérőre való feldörzsölése - ha a méretek megengedik - szintén szárnyas-, esetleg más, vagy hordozható, vagy mozgatható; optimális esetben daruszerűen mozgó, nagy hatósugaru furógépekkel; legrosszabb esetben - különösen nagy egyedi darabok nehezen hozzáférhető lyukainál - pneumatikus, vagy elektromos működtetésű, kis teljesítményű kézi furógépekkel történik.

Illesztő csavaros, vagy illesztő NF-csavaros kapcsolatok lyukait kézi vezérlésű furógépekkel nem lehet kellő pontossággal feldörzsölni. Ezért ilyenek tervezésekor mindig meg kell vizsgálni a kivitelezés lehetőségét is.

A gyalulás kisebb méretű elemeknél különféle keretgyalukon, hosszú anyagoknál élgyalukon történik. A gyalulás szerepe az utóbbi időben alaposan lecsökkent, mivel a varratél-előkészítést ma már többnyire egy műveletben (a darabolással együtt) biztosító lángvágó automaták nagy teljesítménnyel (több égőfejjel), jó minőségben, kellő pontossággal, gazdaságosabban megoldják.

A marás főként vízszintes tengelyű-, homlok és oldalmarást esetleg lyukfurást, esztergálást is végző - portálmárókkal történik. Elsősorban a már kész szerkezeti egységeken a gépészeti berendezések csatlakozásainak felfekvő felületét; esetleg egyéb, a szokványosnál nagyobb méretű, vagy felületi pontosságot igénylő szerkezeteknél; elvétele speciális (pl. U) varratkiképzésnél, különböző vastagságú elemek tompavarratai előtti átmenet kiképzésénél alkalmazzák a marógépeket.

A vésés szintén ritkán előforduló művelet, főként alakos bevágások kiképzésekor használják.

Az esztergálás acélszerkezeteknél inkább csak a marás kiegészítéséként, nagy darabok felületének, nagyméretű lyukaknak pontos méretre munkálása során, főként karusszel-esztergák segítségével történik.

7.2.4 Hideg- és melegalakítás

Elengedhetetlen segédesszöke az acélszerkezet gyártásának az egyengető henger. Feladata a - hőkezelés hatására a hengerműből többnyire hullámosan érkező - lemezek, lapos- és szélesacélok előzetes, majd a tompavarratok elkészülte után újból egyengetése. Jól alkalmazható T-, I-szelvények övlemezeinek előtörésére is (l. a 102. ábrát).

A korszerű hegesztett acélszerkezet gyártás legjellegzetesebb hidegalakító berendezése a nagyteljesítményű (600-1000-2500 t-ás 6-10 m hosszú) élhajlító gép. Segítségével különféle merev, kedvező inerciájú szerényeket lehet igen gazdaságosan, kevés anyag- és munkaráfordítással előállítani. Alkalmazzák más, pl. kupos, hengeres palástfelületek kialakítására is.

A jól felszerelt acélszerkezeti gyárból nem hiányozhatnak a különféle - mechanikai, ujabban hidraulikus működtetésű - sajtológépek. Segítségükkel hegesztés előtti hideg, vagy melegalakítás, hegesztés utáni egyengetés egyaránt végrehajtható (156. ábra). Igen jól alkalmazhatók a mobil klíméretű hidropneumatikus, vagy más elven működő sajtók, melyek megfelelő segédberendezésekkel a legkülönbözőbb hegesztett szerkezetek alakváltozásainak (157. ábra) megszüntetésére alkalmasak.

Melegalakításhoz nagyobb darabok esetén megfelelő kemence, egyszerűbb esetekben kovácstűz, kisebb daraboknál autogénpisztoly(-ok) segítségével hevítjük fel az acélt (többnyire 650° C körüli hőmérsékletre). A megkívánt alakot sajtóval, hengerrel, esetleg kalapálással hozzuk létre, gyakran segédesszökök, speciális sajtológészerszámok segítségével.

7.2.5 Részösszeállítás

Hegesztett acélszerkezetek gyártási folyamatában ritkán fordul elő olyan eset, hogy a szállítási-, szerelési egységet egyszerre állítják össze, majd hegesztik meg. Ennek elkészültét általában több összeállítási, hegesztési, egyengetési fázis előzi meg. Ilyenkor beszélünk részösszeállításról.

Szegecselt szerkezeteknél a részösszeállítás kétszeresen is egyszerűbb volt mint a hegesztett szerkezeteknél. Ott ugyanis egyrészt a lyukak kellő irányítást adtak (az éppen ezért csak betanított szintű) munkásnak a csatlakozó elemek helyét illetően, másrészt ezek ideiglenes rögzítése a lyukakon keresztül - fűzőtüskék, csavarok segítségével - könnyen megoldható feladat volt.

A hegesztett szerkezeteknél az elemek helyét többnyire csak egyedi bemérés egyszerűbb-bonyolultabb eszközök segítségével kell a (terv alapján dolgozó, magasan kvalifikált) szakmunkásnak meghatározni, az elemet beállítani, legtöbbször a hegesztési zsugorodások hatását is figyelembevéve, tehát az elemeket nem terv szerinti távolságra elhelyezve, vagy terv szerinti helyzetbe beállítva.

A részösszeállításhoz megfelelő sík alátámasztó asztal, vagy síkot adó tartók, bonyolultabb szerkezetekben egyéb, a pontos bemérést lehetővé tevő bázisfelületek szükségesek. Hegesztett szerkezetek gyártásához tehát nem alkalmas a szegecselt szerke-

zeteknél általánosan bevált egyszerű "sínbakos" rendszer, mely sík felületet nem biztosít. (Erre azonban a szegecselt szerkezeteknél nincs is szükség, hiszen a jól előfűrt lyukak révén a szerkezet többnyire terv szerinti alakra hozható.)

Az elemek ideiglenes rögzítése általában rövid varratszakaszokkal, ún. "fűzővarratokkal" történik. Igen fontos ezek méretének, mennyiségének helyes meghatározása és a minősége. (Az edződésre hajlamos acéloknál fűzéshez is elő kell melegíteni az alapanyagot !)

Könnyebbséget ehhez a munkához csak a nagyobb darabszámoknál szóbajöhető összeállító készülékek adhatnak. Ezek speciális esetekben nemcsak az összeállítás munkáját segítik, hanem az elemek ideiglenes hegesztés előtti és alatti rögzítését, esetleg előfeszítését is elvégzik, így elmaradhat a fűzés is.

Lemezek tompavarratainak elkészítéséhez szükséges összeállítás is általában fűzéssel történik. Itt különösen célszerű ügyelni - a varratalak és hegesztő eljárás függvényében meghatározandó mértékű - előtörésre (a szögzsugorodás kedvezőtlen hatásának kiküszöbölése érdekében). Fontos segédeszköze lehet az összeállításnak a mágneses rögzítő, az ún. "Magnetor". A porpárnás, vagy más fűdőbiztosítású mágnesasztal a legfejlettebb eszköz erre a célra.

Itt említjük meg, hogy a végigmenő tompa és sarokvarratok két végén ún. "kráter" ("kifutó- vagy "kezdő"-) lemezeket kell elhelyezni a metallurgiai és metallográfiai szempontból egyaránt kedvezőtlen varrat kezdések és végződéses kiküszöbölése érdekében. Ez különösen fedettívű hegesztés esetén elengedhetetlen.

7.2.6 Hegesztés

A hegesztési munkákról, azoknak egyrészt kényes, másrészt a szerkezet törési biztonságát alapvetően meghatározó voltáról - különböző szempontok szerint - az előzőekben már sokat beszéltünk. Ezért e helyen csak e fejezet nézőpontjából legfontosabb néhány szempontot említjük meg.

A hegesztést kizárólag előre meghatározott technológia szerint, megfelelő eljárással, hegesztőanyagokkal és hegesztési munkarenddel, megfelelő minősítésű szakmunkásoknak, megfelelő képzettségű szakvezető (hegesztőmérnök, -művezető, -csoportvezető) állandó irányítása és ellenőrzése mellett szabad végrehajtani.

Fontos, hogy a hegesztést lehetőleg vályu, vagy vízszintes helyzetben, a minimális feszültségeket és alakváltozásokat előidéző sorrendben végezzék. Célszerű bedöntő-, forgató-, előfeszítő készülékek alkalmazása.

Az első ellenőrzést a hegesztő maga hajtja végre, éspedig közvetlenül a varrathernyő lerakása utáni salakoláskor, ill. fedettívű hegesztésnél folyamatosan a salak dermedését követően (ehhez esetleg segítőre lehet szükség), vagy CO₂ hegesztésnél egy-egy szakasz elkészültével. Az észlelt hibák javítását is azonnal, az azt elkövető hegesztő végezze el !

Tompavarratok gyökének kímunkálása korábban pneumatikus szerszámmal történt, ezt a hangos, nehéz fizikai igénybevételt jelentő módszert felváltotta első sorban a szénelektrodával dolgozó elektromos ívgyalu (kézi, vagy gépi vezetéssel, ez utóbbinál kézi vagy elektronikus vezérléssel), vagy a speciális szerszámmal, acetilén-oxigénlánggal működő autogén gyökgyalu és a műanyagtárcsás gyorsfordulatu köszörű. Ez utóbbi a legkevésbé termelékeny.

7.2.7 Egyengetés

Az egyengetés különböző hideg és meleg uton végrehajtható módszereiről, valamint az egyengetési munka csökkentését célzó megelőző intézkedést lehetőségekről részletesen beszéltünk az 5. fejezetben. Ezért e helyen csak azt hangsúlyozzuk ismételtten, hogy a szakszerű gyártástechnológia az egyengetés - egyébként igen költséges, szélső esetben el sem végezhető - munkáit minimumra szoríthatja.

7.2.8 Hőkezelés

Az acélszerkezet építésben ritkán előforduló feszültségmentesítő és szinte soha sem alkalmazott normalizáló hőkezelésről, azok különböző hatásairól, végrehajtásának módjáról a 2. 4. és 5. fejezetben is szóltunk.

E helyen csak összefoglalva a lényegét, újra megemlítjük, hogy feszültségmentesítésnek az acélszerkezetépítésben csak a következő esetekben van értelme:

- ha a ridegtöréssel szembeni biztonság ezt megköveteli, pl. ha a korrelációs rendszerek szerint az adott szerkezet a rendelkezésre álló anyagminőség-ből készítve hegesztett állapotban nem felel meg;
- gépészeti berendezések, főként utólagos megmunkálásra kerülő olyan elem (pl. hajtóműház, forgattyusház stb.), melyeknél néhány tízedmilliméteres mértékű - megmunkálás utáni - alakváltozás sem engedhető meg.

Hőkezeléshez a szerkezetet megfelelő módon ki kell merevíteni, nehogy saját súlyának hatására alakot változtasson.

7.2.9 Teljes összeállítás

Teljes összeállításnak szoktuk nevezni azt a műveletsorozatot, melynek során a külön-külön legyártott szerkezeti részeket a gyártó üzemben, vagy előszerelő telepen összeépítik. Ennek különböző változatai lehetségesek a szerkezet jellege, ill. a gyártó üzem és a helyszíni szerelés adottságainak figyelembevételével kialakított gyártástechnológiai módszer szerint.

Olyan szerkezetek, melyek helyszíni szállítása egy darabban történik (ezek a szállítási-, szerelési adottságok függvényében őrlások is lehetnek), a gyártó üzemben (esetleg egy erre a célra létesített, megfelelően berendezett és daruzott előszerelő telepen) teljes összeállítást nyernek, összes kapcsolataikat (függetlenül attól, hogy ezek milyen megoldásuak) véglegesen elkészítik.

Más szerkezetek gyártó üzemi teljes összeállítása csak a végleges méretek meghatározása, esetleg ellenőrzése, a szerelési kapcsolatok előkészítése (illesztő lyukak

végleges átmérőre való feldörzsölése, varratélek pontos méretre munkálása stb.) céljából történik, azt összeállítás és beszámozás után újból szállítási szerelést egységekre kell bontani. Ilyen esetek fordulnak elő pl. hidak főtartóinak, pályaszerkezetének, vagy épületszerkezetek oszlopainak, keretállásainak kifektetésekor. Az előzetes gyári munka szorítkozhat csak a szerkezet egyes fő síkjainak, de kiterjedhet egy résznek, vagy az egész szerkezetnek a térbeli összeállítására is.

A technológia kidolgozásának alapvetően fontos tényezője ilyen esetekben annak meghatározása, hogy a szerkezet gyári összeállítása milyen mértékű legyen. A gyári összeállítás ugyanis igen költséges munka, mely nem minden esetben térül meg az általa egyszerűbbé váló szerelésnél.

A teljes összeállítás során kell biztosítani a szerkezet végleges, a tervezettől csak tűréshatáron belül eltérő alakját, méreteit. Ez előzetes terv (pl. mérőlap) szerint, igen gondos, folyamatosan végrehajtott mérőmunkával, esetleg sablonok segítségével történik. A ráhagyással gyártott szerkezeti részek méretre munkálására is többnyire teljes összeállításkor kerül sor. A szegecsel, csavarozott helyszíni illesztések lyukait a szerkezet teljes összeállítása, alak és mérethelyességének ellenőrzése után lehet végleges átmérőjűre feldörzsölni. Abban az esetben, ha a helyszíni illesztések hegesztettek, a szerkezet összeállításához ideiglenesen különféle segédeszközöket - pl. rövid, merevített szögacéladarabokat, esetleg ún. "huzató füleket" (152. ábra) - kell felhegeszteni.

A szerkezet üzemi átadása - amennyiben ilyen elő van írva - ebben a fázisban szokásos.

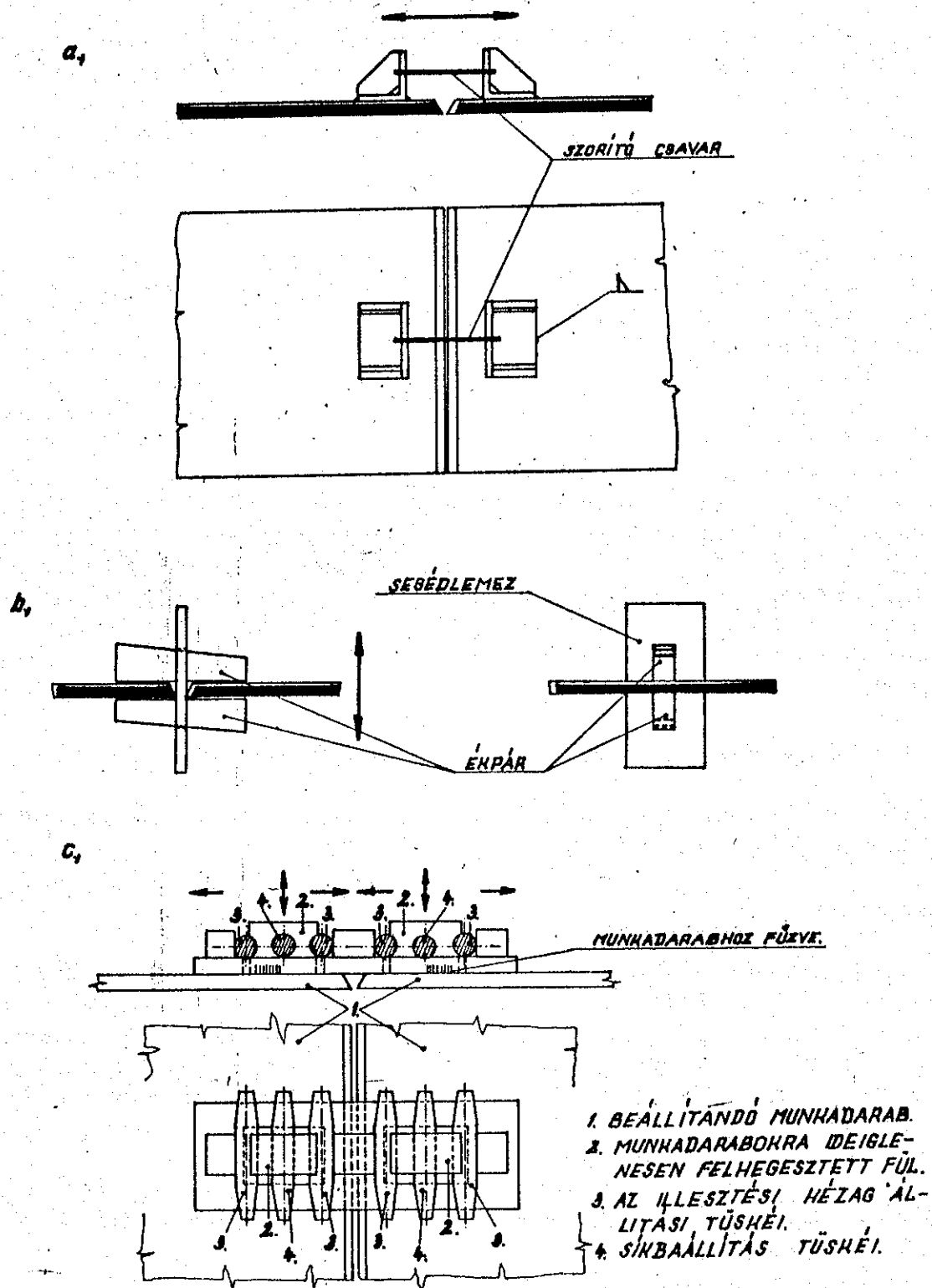
Összeállított állapotban történik a szállítási egységek - bonyolultabb esetekben külön terv alapján való - beszámozása is.

7.2.10 Korrozíóvédelem

Hagyományos gyártásmód mellett az acélszerkezetek korrozíóvédelmét kiszállítás előtt kezdik meg. Végrehajtása kézi, esetleg gépi drótkéfézés, raskétázás útján történő felülettisztításból és egy-két réteg ólomminium alap felhordásából áll. A helyszínen - felszerelés után - a sérült alapot kijavítják és a szerkezetet két három réteg fedőmázzal látják el. Gondos végrehajtás mellett ez a megoldás 15-30 évig is kellő védelmet nyújt.

Az ólomminium felhordása azonban csak kézi mázolóssal, meglehetősen nehéz, lassu és az egészségre káros munkával történhet. Száradása $+20^{\circ}\text{C}$ esetén 24 óra, 0°C alatt hónapokig is eltarthat. Ezen túlmenően a festék legfontosabb alapanyaga, az ólom egyre drágább és nehezen beszerezhető.

A felsorolt okok érthetővé teszik azt a törekvést, hogy az ólomminiumot kiküszöböljék. Csakhogy míg az ólomminium vegyileg kötődik az acélhoz és igénytelen a felület-előkészítéssel szemben (gyakorlatilag csak a lemezes vakrozsdát és a revét kell eltávolítani), a pótlására bevezetett, legnagyobbbrészt cínkalapu festékek (pl. a cínkkromát, horgepál) fémtiszta felület (K_1) követelnek. Előnyük ezzel szemben, hogy gyorsan,



152. ábra

Segédeszközök síklemezek tompavarrat készítéséhez való ideiglenes rögzítése céljából ('a': szögacélpár lemezek összehúzásához; 'b': ékpár lemezek síkba állításához; 'c': un. "emelő-húzó"-rendszer a lemezek síkbaállításának és közelítésének együttes elvégzésére

kényelmesen (szórópisztollyal is) felhordhatók, alacsonyabb hőmérsékleten is pár óra alatt száradnak. Még kényesebb a felületelőkészítésre a fémszórásos (cink, vagy alumínium, esetleg a kettő kombinációja) alapozás, vagy a tűzi horganyzás.

A korszerű felületvédelem ma már mindenütt nem a szerkezet kész állapotában, hanem az anyagnak az egyengető hengerlés előtti vagy utáni szemcsetisztításos ún. "előrevétlenítés"-ével kezdődik. Ezt a felületet átmenetileg a hegesztést nem zavaró védőbevonattal (pl. shop-primer) látják el. A szerkezet elkészülte után erre felhordhatók különféle végleges alapozó és fedő rétegek. Amennyiben ezek - pl. a fémszórás, tűzi horganyzás - fémtisztaságu (K_0) felületet igényelnek, a szerkezetet utólagos szemcseszórásnak, ún. "utórevétlenítés"-nek kell alávetni.

A helyszíni munka a korábbihoz hasonló: az alapozás kijavításából, majd a - főként műanyagálapu, vízi műtárgyaknál kátrány alapu - fedőrétegek felhordásából áll.

Általánosságban megállapítható, hogy a korszerű korrózióvédelem jóval drágább a hagyományosnál, ugyanakkor többnyire nem nyújt hosszabb védelmet. Előnye viszont, hogy gyorsabban, kedvezőbb munkafeltételek mellett készíthető el.

Korszerű acélszerkezeti üzem ma már nem nélkülözheti az előrevétlenítőt. Egy modern berendezés előszáritást, szemcsetisztítást, festést, utószáritást, emberi kéz érintése nélkül, nagy teljesítménnyel (kb. 50 t/műszak), automatikusan végez el. Az előrevétlenítést - szükség esetén - az egyengetés előzi meg (ez egyuttal megtöri és könnyebben eltávolíthatóvá teszi a revét) és az automatikus lángvágás művelete követi (a lángvágás jó minőségének feltétele a revétlen állapot). Ilyen gyártásmód mellett elmaradhat a hegesztési helyek fémesre köszörülése. A felsorolt berendezésekkel rendelkező korszerű üzem termelékenysége kb. duplája a hagyományosnak (40-60 ó/t szemben a 80-120 ó/t-val).

7.2.11 Jelölés, szállítás

Az egyes szerelési egységeket - az illesztések, illesztő elemek összeszámozásán túl - jól látható, általában nagyméretű számokkal, betűkkel kell ellátni. A jelölésről tervet kell készíteni. A nagyobb darabokra célszerű felfestetni az emelendő súlyt, a kötés vagy megfogás helyét, esetleg a súlypontot. Gyakran külön ídelglenes emelőfüleket és egyéb merevítéseket terveznek és hegesztenek fel a szállításához. Ezek a gyári és helyszíni mozgatásnak is fontos segédeszközeik szolgálnak.

A szállítás megfelelő szállítási terv, az ún. "konszignáció" szerint kell végrehajtani. Ebben minden egyes önálló (a szerkezetben nem rögzített) elemet, szerkezeti egységet külön fel kell tüntetni. Ellenkező esetben a szerelést akadályozzák az örökös hiányok, keresés, a szerkezeti részek összecszerelése.

A szállítás közuton, vasuton, hajón esetleg usztatással, kivételesen helikopterrel történhet. A szállítási egységek méreteinek, súlyának - már tervezéskor történő - meghatározása során gondosan ügyelni kell a szállítás adta lehetőségekre.

Nagyobb darabok szállítása a technológiai tervezés igen fontos feladatát jelenti. Ennél meghatározó paraméterek a műhely, ill. az összeállítás területén levő emelőeszközök,

az üzemből való kiszállítás módja, a szállító eszköz, a szállítást utvonat, a szállítási és tárolásti lehetőségek, valamint a beemelési eszközei a szerelés területén.

A szállítási egységek optimális méreteinek meghatározása az objektum megvalósítási költséget jelentős mértékben befolyásolhatja. Speciális esetekben – megfelelő gazdaságossági számítások és műszaki megfontolások alapján – különleges eszközökhöz érdemes folyamodni. Pl. kis darukapacitás esetén vágány felett kellő magasságu maglyán állítjuk össze a szerkezetet, melyet elkészülte után sajtókkal eresztenek az utólag odatolt vagonra. Hasonló módon történhet a trailerre való csusztatás is.

A közúti szállítás 2,5 m szélességig, 10–20 m hosszal nem okoz különösebb gondot. Szélesebb darabokat egészen 6–7 m szélességig utvonatengedéllyel, rendőri biztosítás mellett szállítanak. Speciálisan hosszú, vagy magas szállítmányok szintén a teljes szállítási utvonat gondos tanulmányozását, megválasztását, esetleg provizórikus átalakítását (pl. villamos vezetékek ideiglenes lebontása stb.), külön utvonat engedély és rendőri biztosítás beszerzését igénylik.

A vasúti szállítás a rakszelvény (159. ábra) méretein belül kb. 18 m hosszal nem okoz gondot. Az úrszelvényen belül külön utvonat engedéllyel, 18 m feletti hossz esetén speciális forgózsámolyos vagonok és védőkocskák adhatnak megoldást.

A legnagyobb méretű szállítmányok vízi uton, hajóval, esetleg – nagyméretű szekrényes, zárt, vagy ideiglenesen zárttá tett szerkezetek – usztatással is a beemelési helyére juttathatók, ha az a vízben, a víz felett, vagy közvetlenül a víz partján van. A hajóra, vagy a vízre juttatás kérdését külön meg kell vizsgálni. Jó példa erre a hajók sójátéki összeépítése és hossztengeleyükre merőleges irányban igen egyszerű eszközökkel való vízre juttatása. Ujabban az összeépítés speciális csarnokokban, tető alatt történik és az elkészült részt szakaszonként olyan dokkba tölják, melyet a hajó elkészültével vízzel elárasztanak.

A helikopterrel való szállítás utatlan területen, magas hegyek közötti szerelésnél (pl. távvezetékoszlopok, kötélpályák oszlopai stb.) jöhet számításba. Problémát okozhat ez esetben a finomemelés, ill. lehelyezés kérdése.

7.3 Készülékezés

A készülékezés az acélszerkezet gyártásban tulajdonképpen a hegesztett szerkezetek bevezetésével lett nagyjelentőségű.

A készülékek megtervezése a technológia készítés szerves részét képezi. Amennyiben a készülékeket külön szakember tervezi (bonyolultabb esetekben ez mindig így történik), az alapvető, a készülékkel szemben támasztott követelményeket (funkciókat stb.) a technológus kell megadja. A tárgyalásunk körébe tartozó acélszerkezeteket azonban általában egyszerű készülékekkel szokás legyártani, csak nagyobb szerelők "bírnak el" a bonyolultabb, szerszámszerkesztő által tervezett készülékeket.

A szögecselt szerkezeteknél inkább csak furó-, esetleg daraboló-sablonok alkalmazására volt szükség, az egyes elemek helyének meghatározása, szerkezeti egységek összeállítása, alakhelyességének biztosítása általában megoldható volt az előre

kifurt lyukak segítségével.

A hegesztett szerkezeteknél az elemek helyének meghatározására, ideiglenes rögzítésére, hegesztéshez kedvező helyzetbe való beállítására, előfeszítésére még egyedi gyártás, kis darabszám esetén is érdemes készülékeket alkalmazni. Ezek természetesen egyszerű mechanikus, olcsón kivitelezhető - de a célnak általában így is megfelelő - készülékek. A nagy szériák drágább - a szállítást, mozgatót, beállítást, rögzítést, hegesztést, forgatást sokszor hidraulikus, pneumatikus, elektromos eszközökkel megoldó - készülékek, készüléksorok költségeit is elbírnák, ill. indokoltá teszik azok alkalmazását.

A készülékben végzendő műveletek szerint megkülönböztetünk:

- állító,
- rögzítő,
- előfeszítő,
- bedöntő,
- forgató,
- hegesztő,
- egyengető,
- mérő, ellenőrző

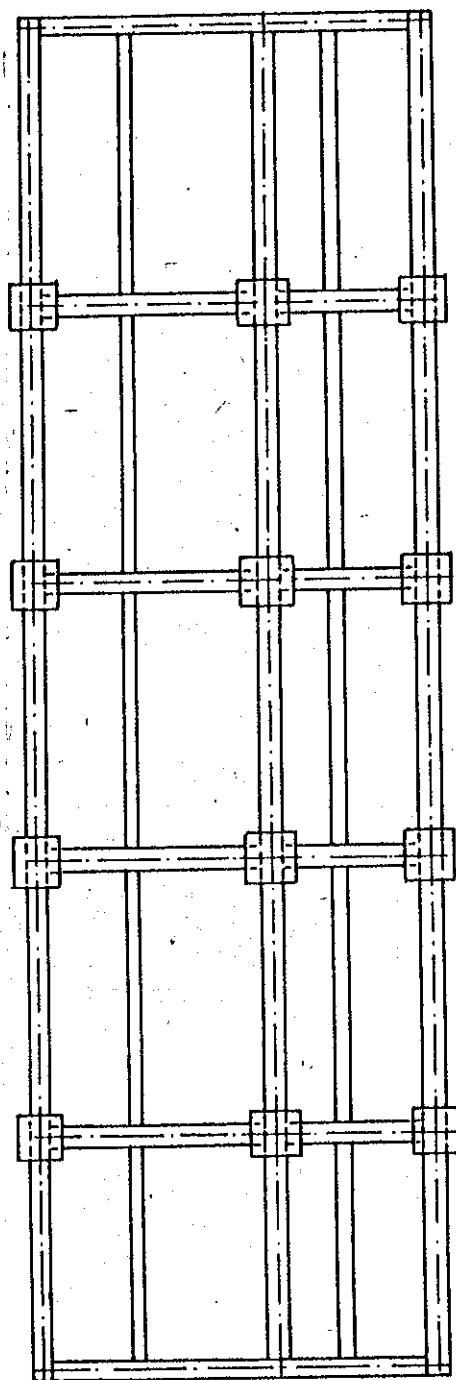
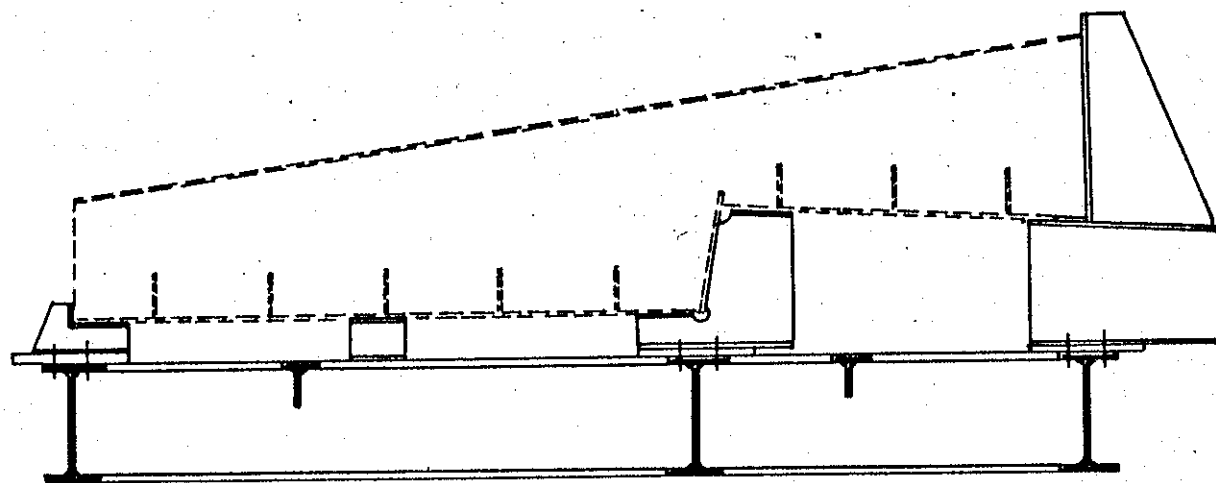
készülékeket.

Az állító készülékek lehetnek egyszerű sík asztalok, vagy felfekvő felületek, melyek fő feladata az alakhelyesség biztosítása. Magasabb fokozatot jelent ha bizonyos ütközőket, helyzetjelzőket, ideiglenes rögzítőket szerelünk a készülékre, mely az elemek helyzetét - bemérés nélkül - meghatározza, fűzés alatt biztosítja (153. ábra).

A rögzítő készülékek - melyeket önállóan, vagy állító készülékekkel kombinálva alkalmaznak - egyszerűbb esetekben csavaros, ékes excenteres, bonyolultabb esetekben hidraulikus, pneumatikus megoldással működő szorítók, kengyelek, szoktak lenni (154. ábra):

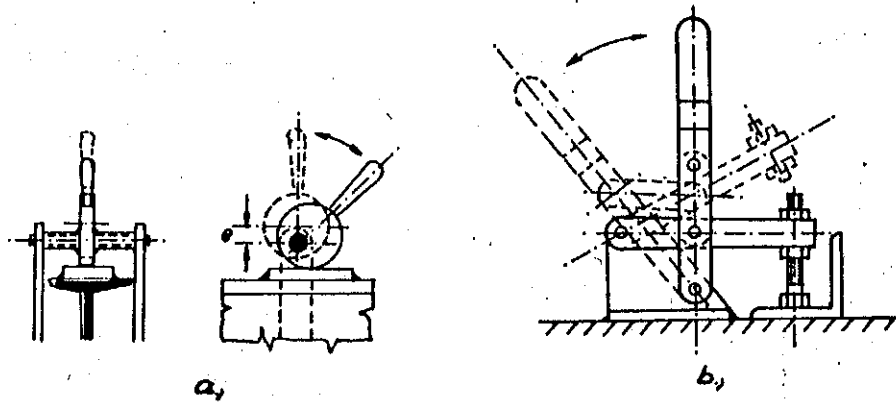
Az előfeszítő készülékek kisebb keresztmetszetű, főként rud alakú elemek esetén csavarral működő kenyeles szorítók, nagyobb keresztmetszet esetén megfelelő merevségű asztalszerű berendezések (155. ábra).

A bedöntő készülékek egyszerű támasztó bakok, esetleg asztalok, melyek 30-45°-ra bedöntött szerkezetek megtámasztását, esetleg előfeszítését is biztosítva, lehetővé teszik a sarokvarratok vályu helyzetben történő hegesztését (156. ábra).



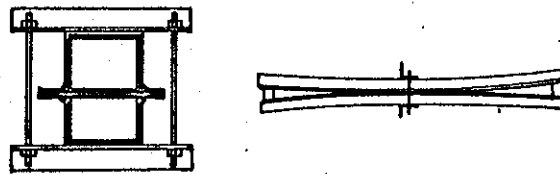
153. ábra

Állító asztal (ortot-
róp hidpályaegység
összeállításához)



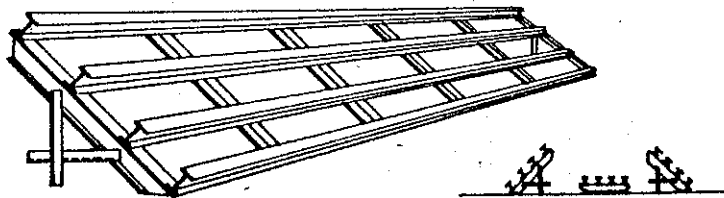
154. ábra

Excenteres ("a") és emeltyűs ("b") szorító



155. ábra

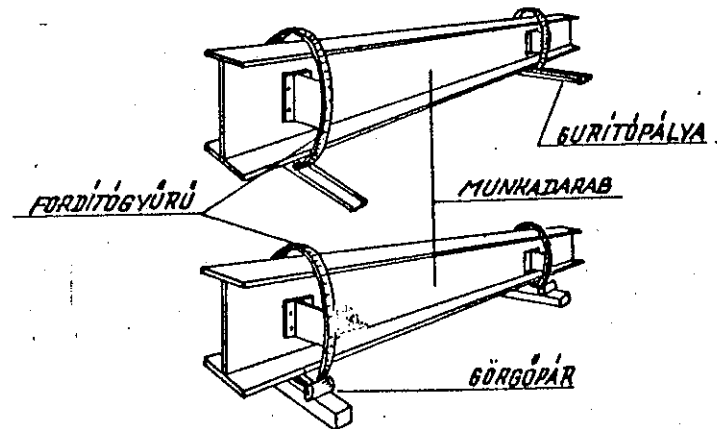
Kengyeles előfeszítő



156. ábra

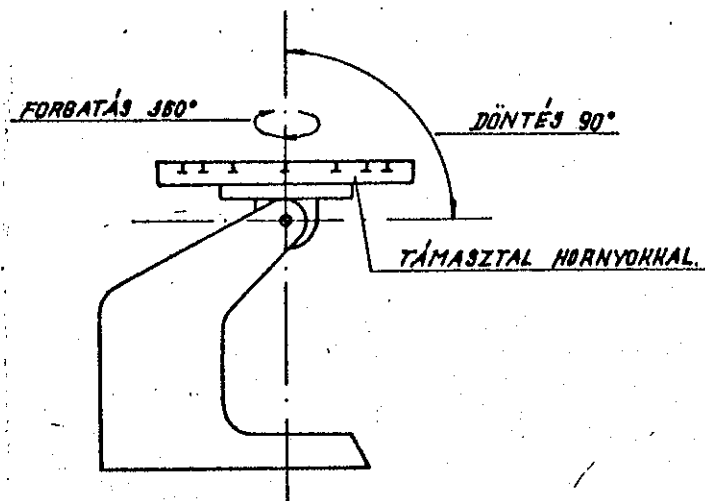
Bedöntő-előfeszítő asztal

A forгатó készülékek a bedöntőknél általában bonyolultabbak, összetett munkadarab varratát vízszintes vályu helyzetű hegesztésének céljából 90° - 360° -os forгатást, esetleg előfeszítést is megoldanak. A forгатók sokfélék lehetnek: főként gyűrűs, vagy görgős szerkezeteket, tengely körül forgó asztalokat használnak acélszerkezet építésében (157. ábra). Univerzális - minden helyzetet biztosító, egyben előfeszítést is lehetővé tevő - asztalok az ún. "manipulátorok", melyek 0,5-50 t-ás darabok felfogására, a legkülönbözőbb méretekben nyernek kialakítást (158. ábra).



157. ábra

Gyűrűs forгатó



158. ábra

Manipulátor

A hegesztő készülékek variációs lehetősége óriási: félautomatikus, automatikus és teljesen automatizált hegesztést tesznek lehetővé, védőgázos vagy fedettívű eljárással. Feladat, ill. kialakítás szerint szorítkozhatnak a munkadarabtól szétválasztottan csak a hegesztőfej, vagy a komplett hegesztőberendezés mozgatására, működtetésére, de lehetnek a forgató esetleg előfeszítő, vagy összeállító berendezés egészének szerves részét is.

- Az egyengető készülékek általában különféle kialakításu, álló vagy mozgó keretek melyek a munkadarabot, vagy annak részelt körülforgatva egyengető sajtók, amerikánerek stb. megtámasztását, ill. működtetését biztosítják. Kialakításuk lehet univerzális (többcélu), de készülhetnek egyedi formában is speciális szerkezetek egyengetésére.

- A mérő, ellenőrző készülékek a szerkezetek összeállításához, vagy a kész szerkezetek méreteinek, alakjának létrehozásához, ellenőrzéséhez szolgálnak.

7.4 Minőségellenőrzés

A minőségellenőrzés az acélszerkezet-gyártás fontos tevékenysége, mely - a szerkezet készítését, az első művelettől az utolsóig végig kísérve - biztosítékul szolgál a terv és technológiai utasítás szerinti kivitelnek, azaz gyakorlatilag a technológiai fegyelem legfőbb őre. A minőségellenőr az anyag hengerművi átvételétől kezdve a kész szerkezet kiszállításáig minden műveletnél ott van, segít, figyelmeztet, ellenőriz, átvesz, vagy visszautasít, megállapítja a hibát, dönt a hibás termék sorsáról. Fontos tehát, hogy a minőségellenőrzést végző dolgozók jól képzettek, lelkiismeretesek legyenek. A rosszul képzett és hanyag, vagy esetleg tulbuzgó műszaki ellenőr jelentős károkat okozhat az üzemnek.

A szerteágazó feladatokat a minőségellenőrzés szervén belül szakterületekre osztják. A főbb területekre: anyagátvitelre, anyagvizsgálatra, az egyes gyártási műveletekre (forgácsolás, hegesztés, lakatosmunka, korrózióvédelem, végellenőrzés, átadás) külön szervezet, ill. szakembereket kell állítani.

A minőségellenőrzés főbb feladatai röviden az alábbiak:

- áttanulmányozza a technológiai utasítást, szükség esetén közreműködik annak elkészítésében,
- részt vesz az előzetes technológiai próbák elkészítésében, elvégzi azok roncsolásmentes, roncsolásos vizsgálatát, kiértékeli az eredményeket,
- közreműködik az alapanyag művi átvételénél, őrködik afelett, hogy a szerkezetbe a tervben előírt minőségű anyag kerüljön beépítésre,
- átveszi az előrajzolóktól a "sablon"-t, különösen nagyobb darabszám esetén részletesen ellenőrzi azt,
- átveszi, ellenőrzi a legyártott elemeket,
- átveszi, ellenőrzi a részösszeállított szerkezeti egységeket hegesztés előtt,
- ellenőrzi a hegesztést, a hegesztéstechnológia eleminek betartását,
- szemrevételezéssel, roncsolásmentes és roncsolásos vizsgálatokkal ellenőrzi a hegesztési varratokat,

- méret, alakhelyesség szempontjából ellenőrzi a szerelési egységeket,
- a teljesen összeállított szerkezeteket ellenőrzi, átveszi és átadja,
- a korrózióvédelem munkáit (a felület előkészítését, a festékrétegek felhordásának minőségét, a rétegvastagságot, a rétegszámot) ellenőrzi,
- ellenőrzi a szállításba adott szerkezeteket minőség és szállítólevél szerint,
- kiállítja a szükséges bizonylatokat, mérőlapokat, vizsgálati jegyzőkönyveket és a szerkezet egészéről a minőségi bizonyítványt.

7.5 A számítógépes acélszerkezet gyártás

Az eddigiekben elmondottak javarészt a hegesztett acélszerkezetek gyártásának hagyományos módon történő kivitelezésére érvényesek. A szerkezetépítés azonban a közelmúltban második forradalmán esett át. Ez alkalommal csaknem olyan jelentős változásokon ment keresztül, mint a szögecselt szerkezetekről való áttérés idején. Ez az átalakulás az NC vezérlésű lángvágógépek bevezetésével kezdődött. Mai formájában már messze túlment a lángvágás technológiájának korszerűsítését jelentő első fázison, gyakorlatilag a tervezés, a gyártáselőkészítés és a gyártás egész folyamata megreformálódott. Az új "számítógépes acélszerkezet gyártás" főbb jellemzőit röviden az alábbiakban lehet összefoglalni.

Az újszerűség egyik fő tényezője az, hogy a lyukszalagos vezérlés - a korábbi rajzolásos módszerekkel szemben - bármilyen hossz (20-40 m-en is) $\pm 0,5$ mm pontos ságu vágást tesz lehetővé. További jelentős újdonság, hogy ezek a gépek - hasonló tűrésmezővel - jegyezni tudnak.

A méretpontos darabolás követelményeként a sok elemből álló szerkezet (pl. lemez-szerkezet hossz- és keresztmerezítésekkel) utólagos méretvágása elmaradhat, hiszen az illesztések mentén az elemek pontosan (egy síkban, tervezett hézaggal) csatlakoznak. Ezt segíti a gép által végzett pontos jegyezés is. Ennek további előnye az, hogy a gyakran nagyszámu csatlakozó elemet tartalmazó szerelési egységeket (pl. egy ortoróp hidpálya-egység négy szomszédjához 30-60 elemmel - pályalemezzel, hossz és keresztmerezítővel - csatlakozik!) nem szükséges egymás mellé helyezni összeállításhoz. Azoknak az illesztéseknek való megfelelő csatlakozását - a pontos méretek mellett - a gépi jegyezés alapján történő összeépítés is biztosítja.

A hegesztési zsugorodások szerepe nem jelentős. Azt előre megbecsülve, a darabolásnál figyelembe veszik. A szerelési egységeknél ezen túl mutatózkodó eltérések - ha szükséges (pl. egy hosszú hidnál, vagy hajótestnél, stb.) - egyetlen ráhagyással gyártott tag utólagos méretre vágásával korrigálhatók.

A fentiek következményeképpen elmarad a hagyományos gyártásnál szokásos előrajzolás, a lángvágás utáni forgácsolás, a szerelési egységek összeállításakor az egységek egymás mellé való helyezésének művelete (az ehhez szükséges hely megtakarítható), a hegesztés utáni igen költséges méretre rajzolás, vágás, a varratélek utólagos kiképzése, vagy az illesztések furatainak ugyancsak utólagos elkészítése.

Az újszerű technológia másik alapvető jellegzetessége az egész gyártási folyamat - részben az előzőekben leírtakból fakadó - reformja. E szerint a - számítógéppel tervezett - raktározás, ill. anyagadagolás után automatikus előrevétlenítés és átme-

neti korrózióvédelem következik (teljesen elmarad tehát a hagyományos gyártás alapját képező előrajzolás). Második fázis a végleges méretre történő darabolás, élkiképzés és gépi jegyezés (kevés kivétellel elmaradnak a korábbi technológia előforgácsolási műveletei). A darabolt, szükséges azonosítást számokkal ellátott alkatrészek megfelelő csoportosítás, esetleg raktározás (számítógépes tervezéssel) után jutnak az összeállítás helyére. A gyártási részegységek az összeépítés, a hegesztés, az egyengetés műveletén áthaladva jönnek létre. Ezek szerelést - szállítást egységekké épülnek, majd - szükség szerint - gyári előszerelés következik. Átadás után, kiszállítás előtti utolsó művelet a korszerű (nem kézzel felhordott mintumos) korrózióvédelem elkészítése.

Az újszerűség harmadik fő jellemzője, hogy - megfelelő kapacitású számítógép és adatbank segítségével, a lángvágó gép vezérlésén túlmenően - az egész gyártási folyamatot számítógéppel tervezik, ill. szervezik.

A munka a konstrukció készítéséig nyúlik vissza. Az elemek, a gyártási részegységek, ill. összeépítési egységek kialakításánál figyelembe veszik az előzőekben leírt technológiából fakadó igényeket, sőt esetleg a legkedvezőbb megoldást számítógéppel választják ki. Majd - egyedi gyártás esetén is - igen részletesen kidolgozott technológia és alkatrész-jegyzék, továbbá - ennek alapján, számítógép és lyukszalaggal vezérelt nagykapacitású rajzgép segítségével - szabásterv készül. Ez nemcsak az anyag-takarékos daraboláshoz, hanem az anyagraktározáshoz, rendeléshez nyújt kiváló bázist. A vágási, jegyezési hosszakat a gép regisztrálja, és a vágási és ezt követő műveletek (összeállítás, hegesztés, gyökfaragás stb.) időszükségletét is pontosan meghatározza. Mindezek az anyagrendeléstől kezdve a gyártási folyamat minden egyes fázisára olyan konkrét adatszolgáltatást jelentenek, melyek alapján - akár éves távlatban is - pontos programozás készíthető.

Magyarországon ez a rendszer eddig még csak a Magyar Hajó és Darugyárban került bevezetésre, ill. van kialakulóban.

8. ACÉLSZERKEZETEK HELYSZINI SZERELÉSE

Az acélszerkezet-építésben az elmúlt évtizedekben végbement – forradalmiának nevezhető – változások legjelentősebbek a szerelés területén voltak. Kétségtelen, hogy a mai igények – a könnyű munka, kedvező körülmények, csekély munkaigényesség, gyors átfutás – a hagyományos szerelési módszerekkel (kis darabokból állványon történő, hosszadalmas összeépítés) messze nem teljesíthetők. A technika legújabb vívmányai ezen a vonalon nagy lehetőségeket teremtettek: az állványozás elmaradt, a szerelési egységek hatalmassá (gyakran több ezer tonnássá) váltak, a helyszíni építés ideje lerövidült, egyidejűleg a munkakörülmények kedvezőbbé váltak.

A helyszíni szerelést az ún. "organizációs terv" koordinálja. Ez magában foglalja a munkavégzés összes feltételeit, a szociális igények teljesítésétől kezdve, a helyszíni anyagtárolás és szállítás feladatain keresztül, a szereléssel közvetlenül összefüggő kérdések megoldásáig bezárólag. A következőkben ennek az igen szerteágazó szakterületnek csak néhány – célkitűzéseink szerinti témakört közvetlenül érintő – részével foglalkozunk.

8.1 A tervezés, gyártás, szerelés komplexitása

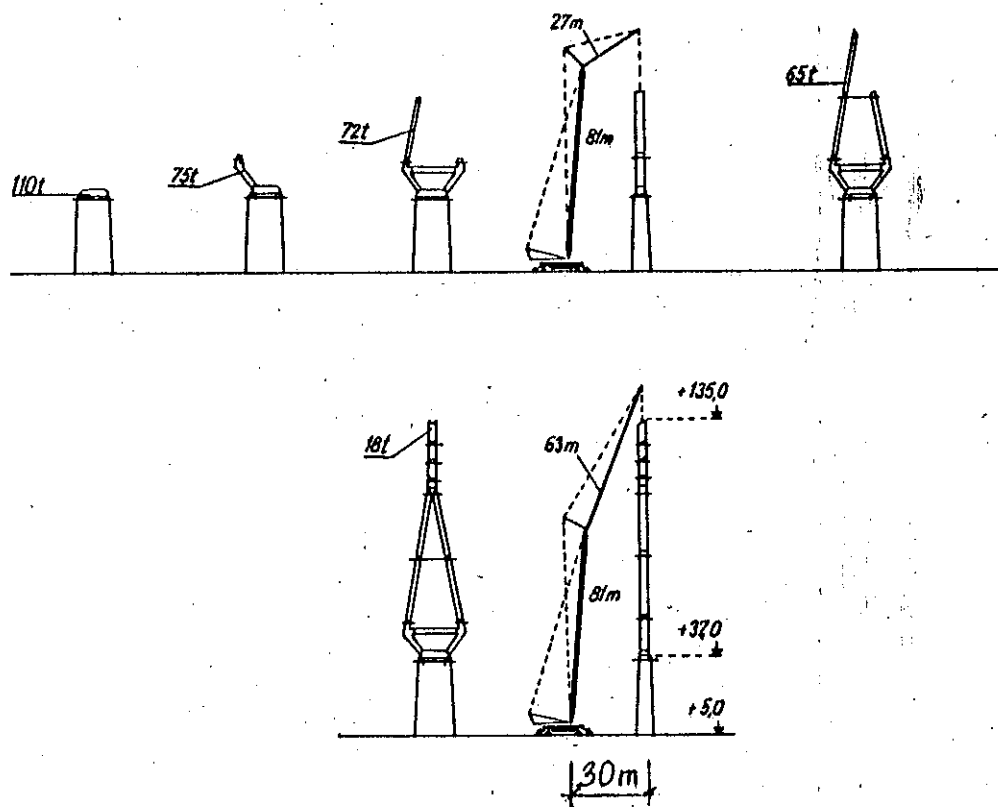
A korszerű szereléstechológia fokozottan megköveteli azt, hogy a szerelés kérdéssel már a tervezés legkorábbi időszakában behatóan foglalkozzunk, gyakorlatilag az organizációs tervezés az általános terv kialakításával egyidejűleg beinduljon.

Egy szerkezet gazdaságosságát, megvalósításának átfutási idejét általában döntő módon befolyásolja a gyártás (gépi felszereltsége, kapacitása), az előszerelés (a gyárban, külön erre a célra kijelölt területen, vagy a szerelés helyén), a helyszíni történő szállítás, a helyszíni beemelés lehetőségeinek megfelelő figyelembevétele, ill. kiaknázása.

A gyártásról szóló fejezetben már hangsúlyoztuk a gyártási technológia igényeknek érvényesítésével kapcsolatos kérdések fontosságát. Ezek azonban többnyire csak a részleteket befolyásoló szempontok. A szerelés ennél nagyobb horderejű: sokszor magát a koncepciót is meghatározza, a szóba jöhető alternatívák közül az kerül kiválasztásra, melynek szerelése a legkedvezőbb. Sőt ma már nem ritka az olyan eset, amelynél szereléstechikai szempontok vezetnek újszerű konstrukciókhoz.

A korszerűség feltétlen igénye a nagy darabokban, állványozás nélkül, ún. "szabad-szerelés"-i technológia széleskörű alkalmazása. Jó példa erre a századfordulón épült régi és a hatvanas években újjáépült Erzsébet-híd. Mindkettő azonos rendszerű (függőhíd), azonos vonalvezetésű szerkezet. A régit (lánc-híd rácsos merevítő tartóval) kb. 1 t-ás egységekben – mintegy 11,000 m³ (!) faanyag felhasználásával – teljesen beállványozva építették. Az újat (kábel-híd hegesztett ortotróp pályaszerkezettel, tömörgerincű merevítő tartóval) állványozás nélkül szerelték, a pilon alsó részét 50 t-ás darabokban uszódaruval, a többi egységet 25 t-ás darabokban toronydaruval, míg a merevítő tartót 100 t-ás egységekben két uszódaruval.

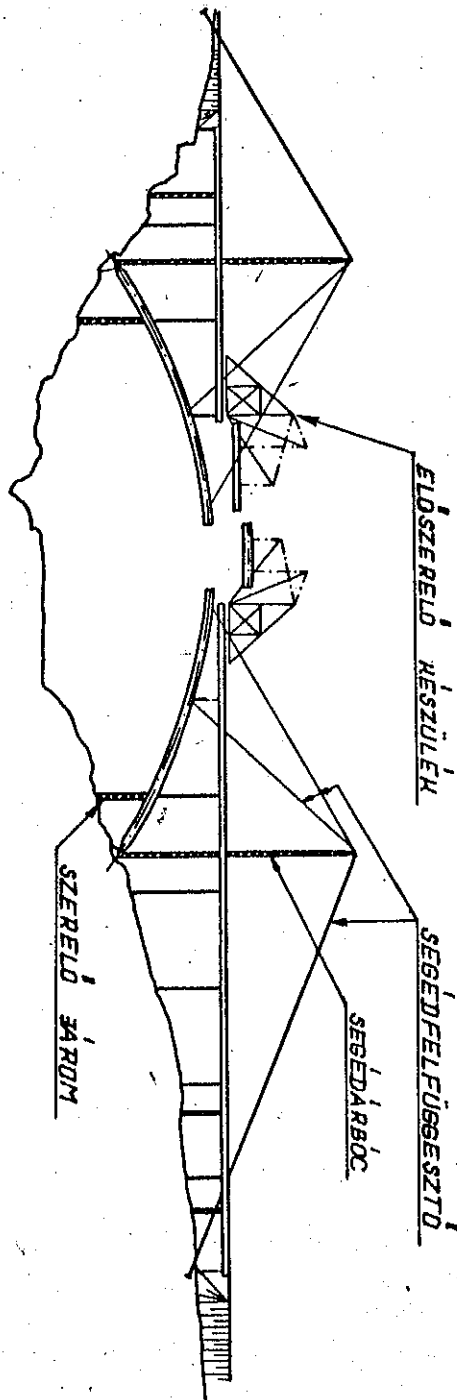
A tervezés, gyártás és szerelés összhangjára, korszerű kivitelére jó példa a néhány évvel ezelőtt épült hamburgi Köhlbrand-Brücke. A gyártás-szerelés összes fázisát számítógépes programozás irányította. Az acélszerkezet gyártása három helyen történt. A szállítási egységek meghatározása, ill. a szerkezetek gyárok közötti megosztása a gyári teheremelő kapacitás és a szállítási lehetőségek (közúton, vízen) szerint történt. Az újszerű kialakításu, igen esztétikus pilon szerelési egységet a szerelést végző autódaru (1000 t - 7000 tm, teheremelőképeség !!! 202 m max. emelési magasság) kapacitása szabta meg. Ennek alapján - 30 m gémkinyúlás mellett - az alsó darab 110 t, míg a legfelső 18 t súlyu lehetett (159. ábra).



159. ábra

Köhlbrand-Brücke pilonjának szerelése autódaruval

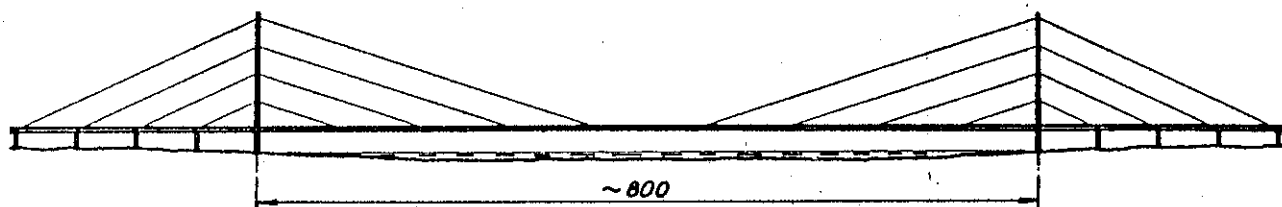
A merevítő tartó parti szakaszait 600 t-ás autódaruval, a víz felettieket 1000 t-ás uszódaruval szerelték. A legkorszerűbb ún. "ferdekábelos" rendszerű híd típus kialakításához kizárólag szerelési szempontok vezettek. A szabad szerelés ugyanis igényli a konzolos szakasz felfüggesztését (160. ábra). Az erre a célra ideiglenesen létesített rendszerek (tartók, kötelek, bekötések) tetemesen növelik a szerelési költségeket.



160. ábra

Ivhlid szabadszerelelése segédárbóc és kikötő kötelek segítségével

Ha ezeket a végleges teherviselés szolgálatába is állítjuk a költségek csökkennek és a ferdekábelos rendszerekhez jutunk, mely elvileg mintegy 800 m-es nyílástig alkalmazható (161. ábra) és állvány nélkül szerelhető.



161. ábra

A ferdekábelos rendszerrel áthidalható legnagyobb nyílás

Ennek a rendszernek másik előnye a hagyományos függőhidakkal szemben az, hogy - mivel a kábelok itt magában a pályaszerkezetbe és nem a földbe vannak lehorgonyozva - a hídak akár hossz- (pl. építés közben), akár pedig keresztirányban (kész állapotban) el lehet tolni. (Példa erre a 600 m hosszú, 12000 t súlyú Düsseldorf-Oberkassel-i híd keresztirányban 47,5 m-re való elcsusztatása!).

A többszintes épületek szerkezeti koncepcióját meghatározó új technológia szerint a szerelést felülről lefelé végzik: az előre - acélból vagy vasbetonból elkészített épületmag tetejéről, hidraulikus emelőkkel - felhúzzák a földön, fordított sorrendben összeállított és folyamatosan összekapcsolt födémszerkezeteket. A huzással egyidejűleg a szakipari munkák is elvégezhetők. Ily módon tízezer tonnát meghaladó súlyokat is emeltek már. Ugyanez nyomással működő rendszerrel is megoldható.

8.2 A szerelésgépesítés kérdése

Az előzőekben leírtak természetesen csak igen magasfoku gépesítés mellett valósíthatók meg. Ennek költségei - különösen egycélú berendezések esetén - az összköltségek tetemes hányadát képezhetik. Ennek fejében viszont az élőmunka-ráfordítás és a szerelést átfutási idő nagyságrendekkel csökkenthető.

Hazánk - kicsi ország lévén - e területen meglehetősen elmaradt. A közismert munkaerő-hiány azonban bennünket is a gépesítés erőteljes növelésére kényszerít. Ennek érdekében 1972-ben OMFB tanulmány is foglalkozott a helyzettel. Megállapításai szerint az ún.:

$$\text{"technikai felszereltségi szint"} \quad \left(\frac{\text{állószerkezetérték}}{\text{szerelő létszám}} \right)$$

akkoriban 30 eFt/fő körül mozgott az acélszerkezeti szakmában. Az 1975-re előirányzott értéket 70. -eFt/főt valószínűleg már túlhaladtuk. A tanulmány 100 eFt/fő értéket szabott meg közvetlen fejlesztési célként. A mai igény azonban már jóval magasabb.

Gémkinyulás	Gémhossz (hidraulikus)					Gém- hosszabbítás
	13,3 m	21,8 m	30,3 m	38,8 m	47,3 m	59,3 m
Téherbírási						
m	t	t	t	t	t	t
3,5	140	-	-	-	-	-
4	133	84	60	-	-	-
5	108	80	60	35	30	-
6	94	74	56	35	25	-
7	82	68	52	35	22	-
8	70,4	62	48,3	32,5	19	18,0
9	61,2	56	45	30,5	18,5	16,4
10	53,9	51	42	28	18	15,1
12	43,2	41	35,6	24,5	17,5	12,9
14	-	31,2	30	21,5	16,5	10,8
16	-	23,6	25	18	15,5	9,0
18	-	18,4	19,7	15	14	7,7
20	-	-	15,8	13,5	13	6,7
22	-	-	12,7	11,5	11,5	5,9
24	-	-	10,3	10	10,1	5,2
26	-	-	8,3	8,5	8,8	4,5
28	-	-	-	7,5	7,8	3,9
30	-	-	-	6,1	6,6	3,4
32	-	-	-	5	5,7	3,0
34	-	-	-	4	5	2,6
36	-	-	-	3,1	4	2,3
38	-	-	-	-	3,1	2,0
40	-	-	-	-	2,6	1,6
42	-	-	-	-	2,1	1,4
44	-	-	-	-	-	1,1

30. táblázat

A technikai felszereltségi szint állóeszköz értékébe beleszámítanak mindazok a gépek felszerelések, melyek a helyszíni munkát szolgálják, mint pl.:

- emelőgépek,
- munkahelyi szállító eszközök,
- helyközi szállító eszközök,
- szerelő állványok,
- hegesztő és lángvágó berendezések,
- helyszíni hőkezelő berendezések,
- szerelési megmunkáló gépek,
- szerelési kisgépek,
- szerelési speciális gépek és berendezések,
- anyagvizsgáló berendezések,
- mérőműszerek és berendezések,
- hírközlő berendezések stb.

A korszerű szerelés legfontosabb előfeltételét kétségtelenül a teheremelő berendezések jelentik. Ezért ezekkel külön pontban foglalkozunk.

8.3 Az acélszerkezet szerelés teheremelő berendezései

A teheremelő eszközöket több szempont szerint lehet csoportosítani. Mivel az alábbiakban a berendezés mozgásszabadságát (gyakorlatilag hatósugarát) vesszük a felosztás alapjául.

8.3.1 Szabadon mozgó emelőberendezések

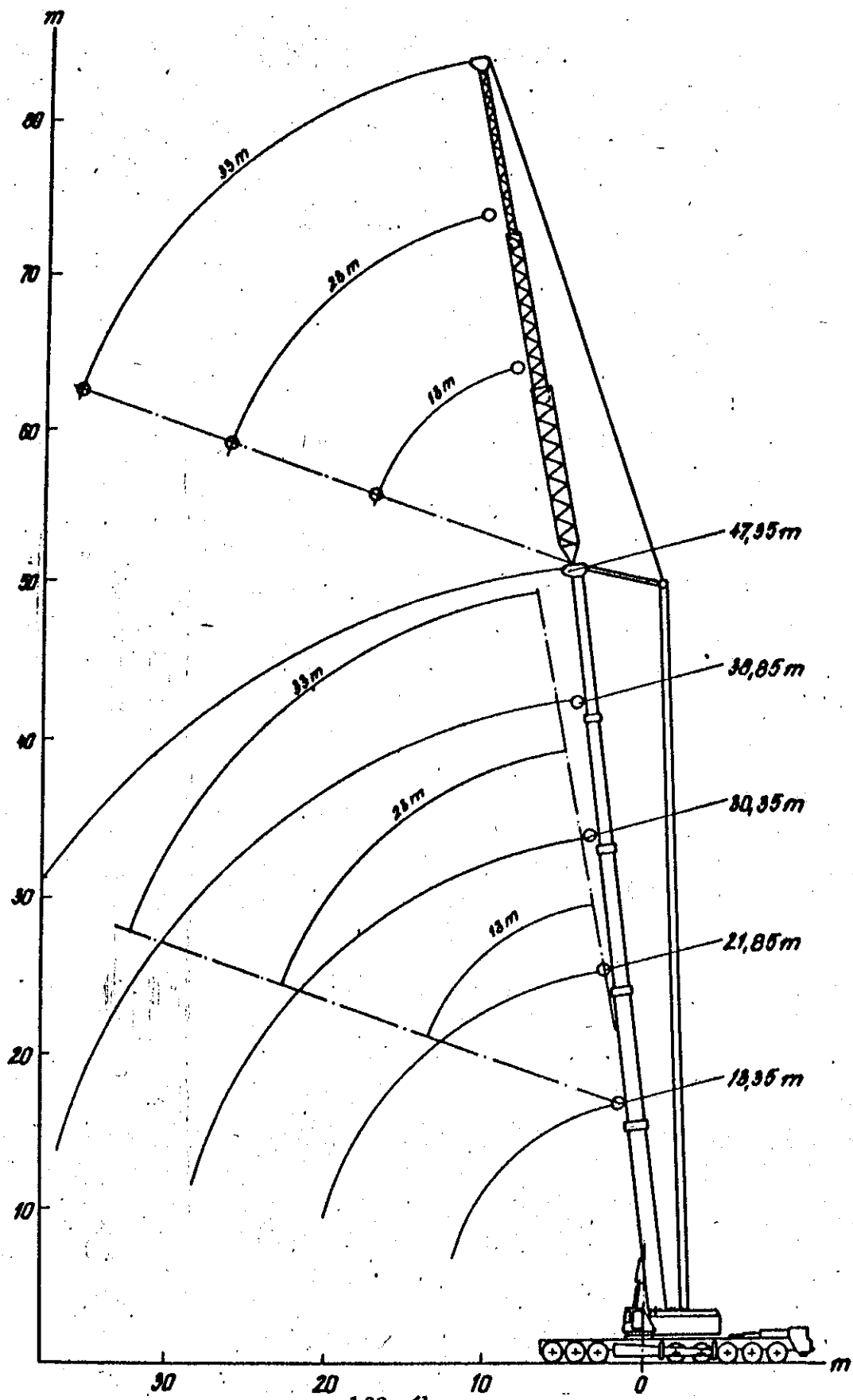
A korszerű szerelés - utóbbi években kifejlesztett - legfontosabb eszköze az autódaru. Oriási előnye a gyors, egyszerű helyváltoztatási képesség és az univerzális alkalmazhatóság, továbbá az azonnali, vagy gyors üzembehelyezhetőség.

Az autódarukon belül két csoportot kell megkülönböztetni:

- hidraulikus,
- szerelt gémes

tipusokat.

A hidraulikus gémműködésű daruk kétségtelenül a praktikusabbak. Helyközi közlekedésben mozgékonyak (általában 60-80 km/óra sebességgel haladhatnak), a helyszínen azonnal üzemképesek, gémjük (a típus adta korlátokon belül) egyszerűen a szükséges hosszra állítható, ill. a megfelelő szögben dönthető és 270-360°-ban forgatható. Az előttünk ismert legnagyobb hidraulikus autódaru a DEMAG (NSZK) HC 500-as típusu, 500 tm teljesítményű daruja. Ennek hatósugarát a 162. ábra, teheremelő képességét a 30. táblázat szemlélteti.



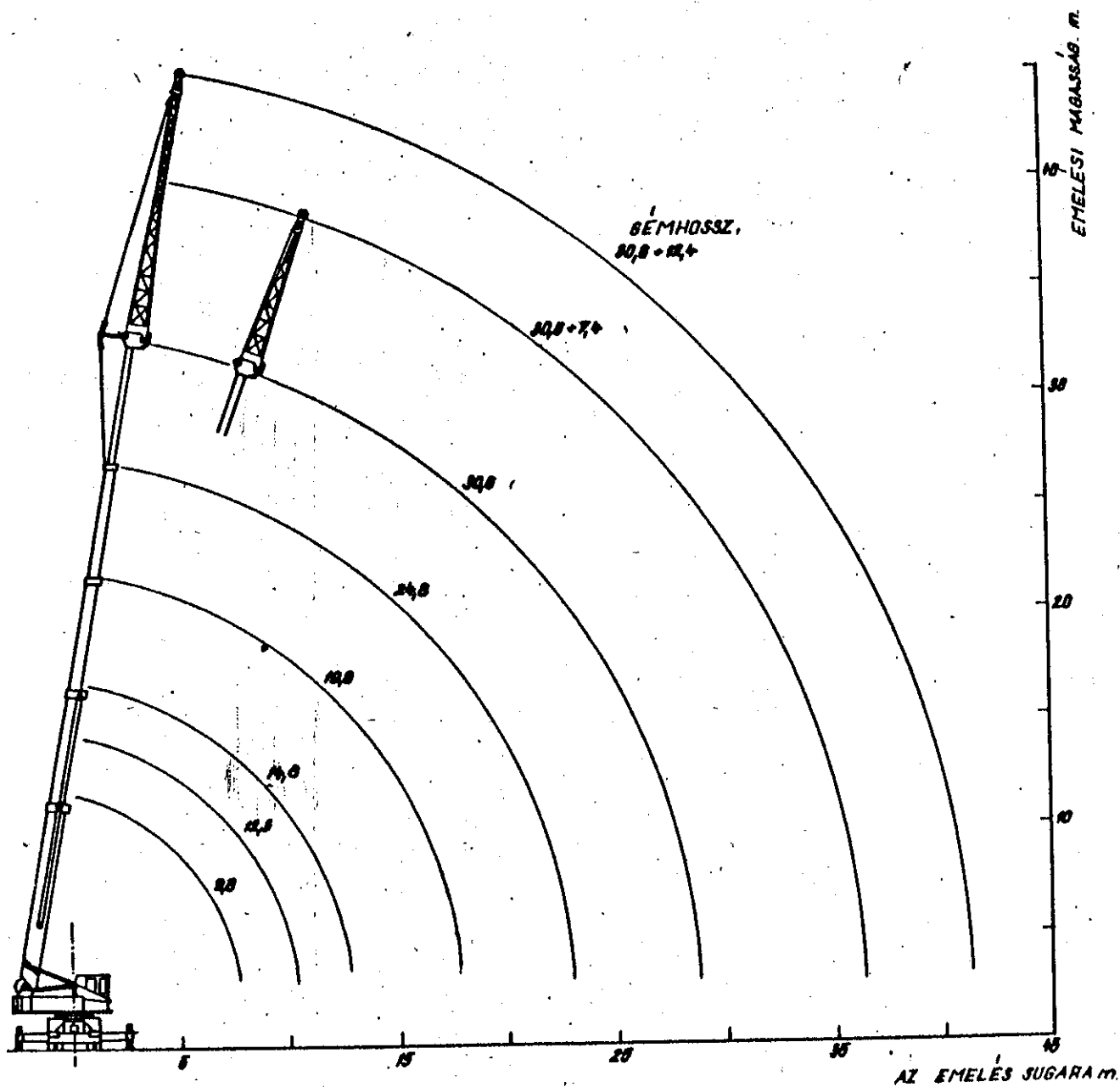
162. ábra

A Demag HC 500 típusú hidraulikus autódaru hatósugara

gémhossz	9,8	12,3	14,8	19,8	24,8	30,6	30,6+ 7,4	30,6+ 12,4	12,4
emelés sugara m	emelőképeség (t)								
3	36	30,8	22,5						
3,5	30	28,1	22,5						
4	26,9	25,8	22,5						
4,5	24,6	24,0	22,5	19,0					
5	22,6	22,1	21,4	19,0	11,5				
5,5	21,1	20,4	19,6	18,5	11,5				
6	18,2	17,9	17,6	18,0	11,5				
7	13,5	13,2	13,0	13,6	11,5	7,0			
8		10,3	10,1	10,6	9,5	7,0			
9		8,30	8,05	8,60	8,90	7,0			
10		6,80	6,60	7,10	7,40	6,90	4,00	2,00	
11			5,45	5,95	6,25	6,50	3,90	2,00	
12			4,60	5,05	5,30	5,60	3,80	2,00	
13				4,30	4,55	4,85	3,70	2,00	2,00
14				3,70	3,95	4,25	3,60	2,00	2,00
15				3,20	3,45	3,75	3,50	2,00	1,95
16				2,75	3,00	3,35	3,45	2,00	1,85
17				2,40	2,65	2,95	3,25	2,00	1,75
18					2,30	2,65	2,95	2,00	1,70
19					2,00	2,35	2,65	2,00	1,60
20					1,75	2,10	2,40	2,00	1,55
22					1,35	1,70	1,95	1,90	1,45
24						1,35	1,60	1,75	1,35
26						1,05	1,30	1,45	1,30
28							1,05	1,20	1,15
30							0,85	1,00	1,05
32							0,65	0,80	0,85
34							0,55	0,60	0,70
36								0,45	0,50

31. táblázat

A LOKOMO (finn) cég 351 NS típusu darujának, amelyből több példány is működik hazánkban, hasonló adatait a 163. ábra ill. a 31. táblázat szolgáltatja.



163. ábra

A Lokomo 351 NS típusu hidraulikus autódaru hatósugara

A szerelt gémes autódaruk hátránya, hogy a - rácsos kialakításu - gép külön szállítandó. Összeszerelése - az igényeknek (ill. a daru kapacitásának) megfelelő hosszban - a helyszínen történik. E hátrány miatt az ilyen darukat akkor használják, ha egy munkahelyen sok emelés történik, ill. ha az emelési igény (súly, magasság, távolság) hidraulikus daruval már nem elégíthető ki. A szerelt gémes daruk ugyanis a kedvezőbb statikai rendszerben (segédárbóccal ill. kihorgonyzással és könnyebb rácsos tartóval) kialakított gép miatt messze túlszárnyalják hidraulikus rokonaikat. Tájékoztatásul közöljük a DEMAG TC 3000 típusu, 3000 tm teljesítményű autódarujának hatósugarára és teherbírására vonatkozó adatokat (164/a, b ábra).

Ez egyébként az ezidő szerint szériában készülő legnagyobb szerelt gémes autódaru. Egyedi darabok azonban már jóval nagyobb (7000 tm) kapacitással is készültek.

A vízi építkezés leggyakrabban alkalmazott eszközei az uszódaruk. Hazánkban 100 t-ás uszódarukkal építjük hidjainkat (József Attila, Ady Endre), de ismereteseek jóval nagyobbak is (pl. Japánban 3500 t teherbírásuak).

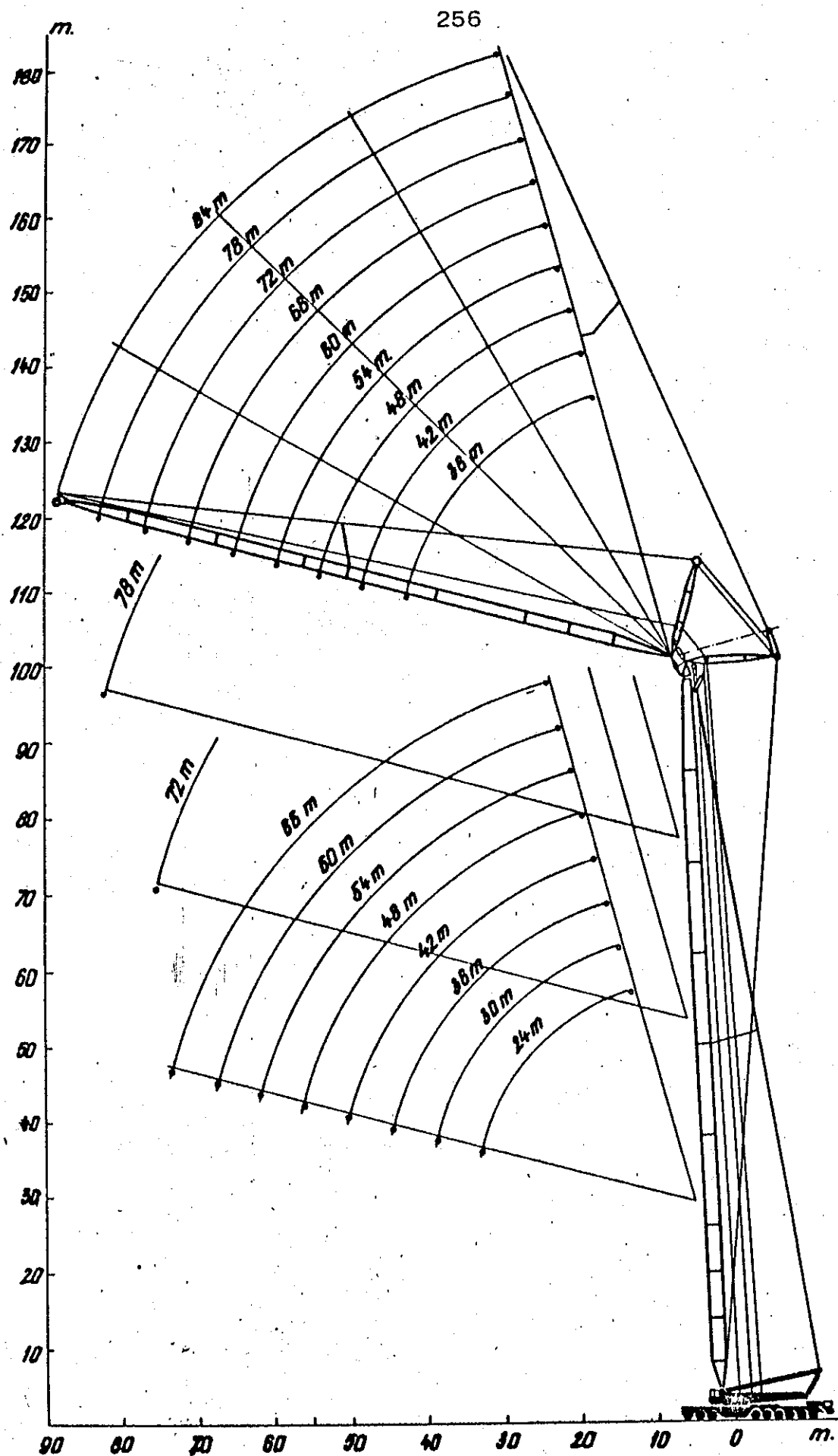
A legmozgékonyabb teheremelő eszköz kétségtelenül a helikopter. Ennek kapacitása ezidő szerint azonban csak néhány tonna. Továbbá hátránya, hogy ún. "finomemelés"-re nem alkalmas. Mindazonáltal uttalan terepeken (pl. távvezeték oszlop, magashegyi kötél-pályák stb.), vagy magas tornyok szerelésénél ma már nélkülözhetetlen eszköz. Így szerelték pl. Toronto-ban a világ legmagasabb tornya (553 m) felső, acélszerkezetből készült részét (7 t-ás egységekben).

8.3.2 Pályán mozgó emelőberendezések

A pályán mozgó emelőberendezések - egyrészt a pálya, másrészt a berendezés felépítésének hosszadalmassága miatt - az acélszerkezet építésből egyre inkább kiszorúlnak. Ide soroljuk a következőket:

- toronydaru
- bakdaru
- futódaru
- kábeldaru
- vágánydaru
- Derrick daru (kocsira szerelve)

A 165-169. ábrák szemléltetik a felsorolt darukat. (A Derrick daru kivételével.)

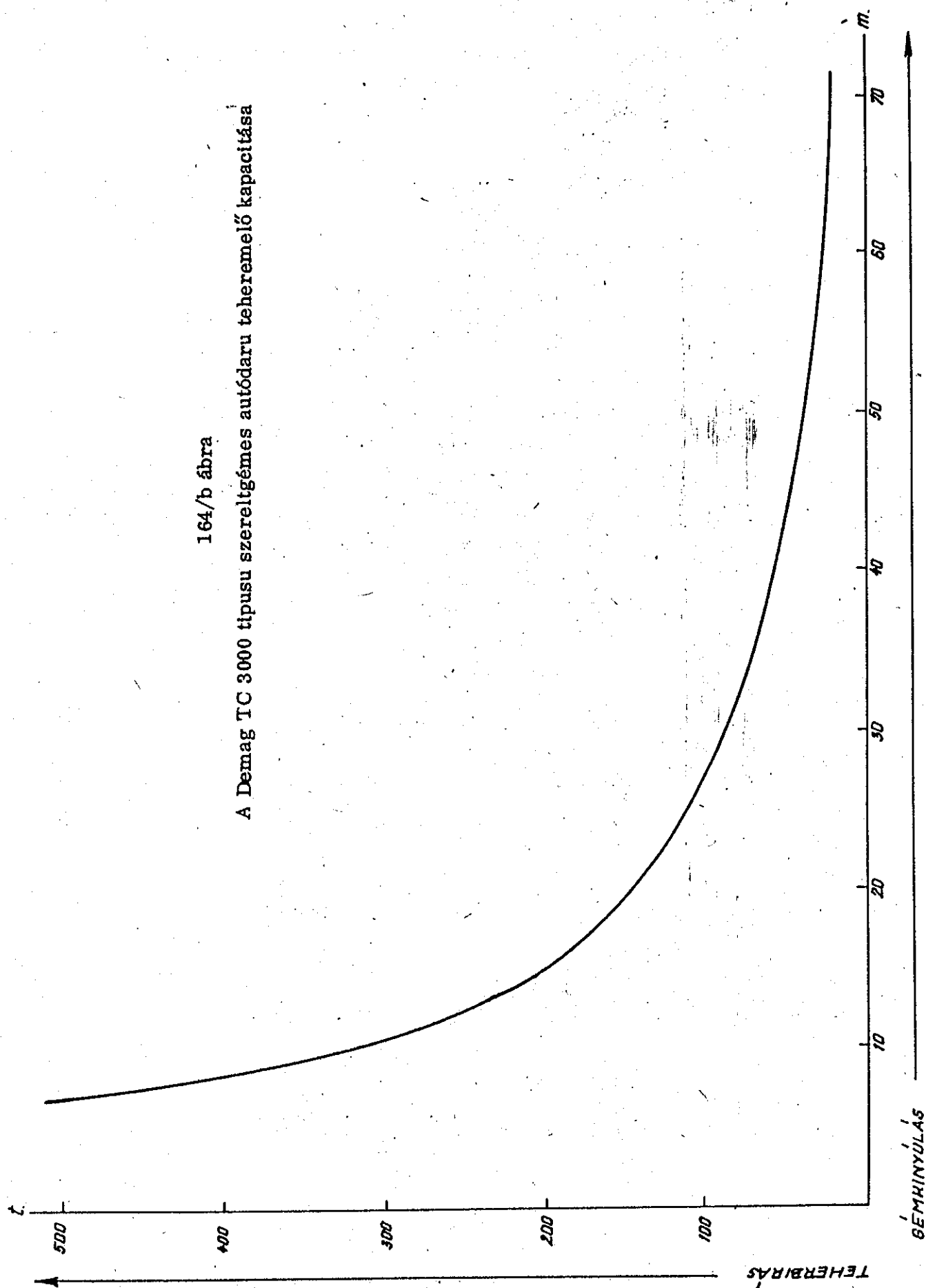


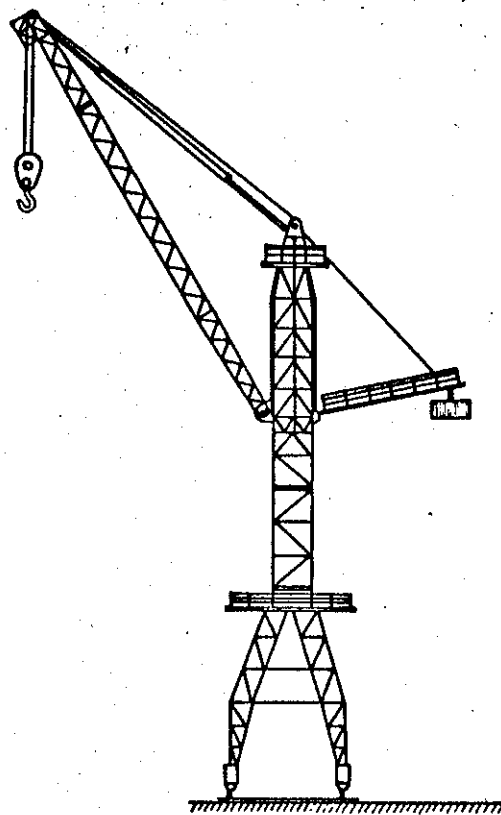
164/a ábra

A Demag TC 3000 típusú szereltgémes autódaru hatósugara

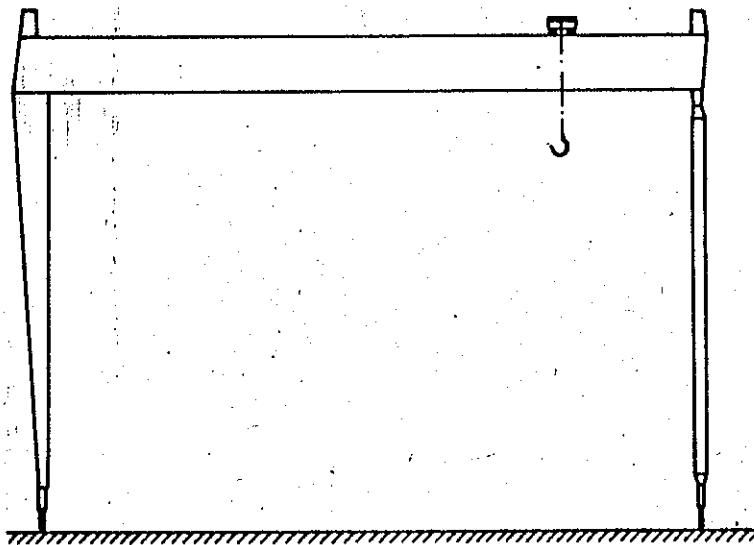
164/b ábra

A Demag TC 3000 típusú szereltgémes autódaru teheremelő kapacitása

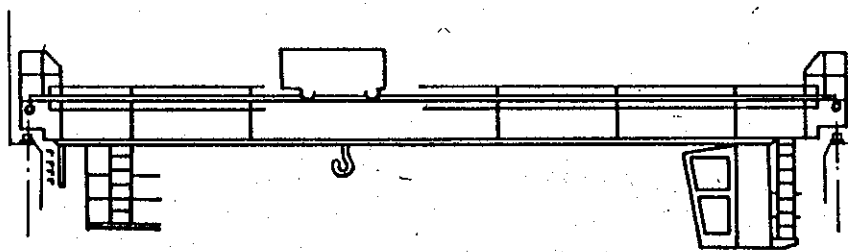




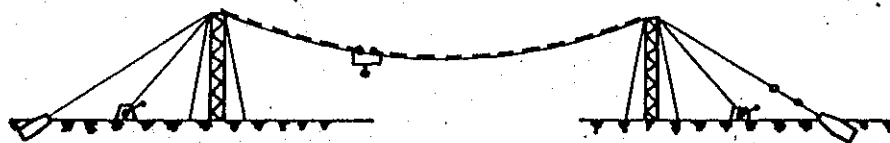
165. ábra
Toronydaru



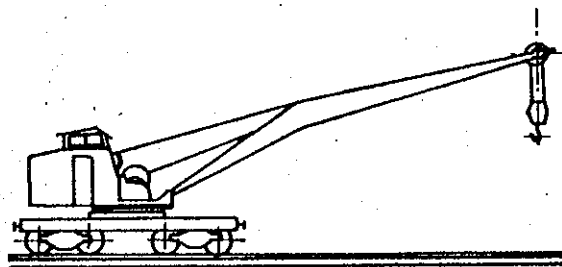
166. ábra
Bakdaru



167. ábra
Futódaru



168. ábra
Kábeldaru



169. ábra
Vágánydaru

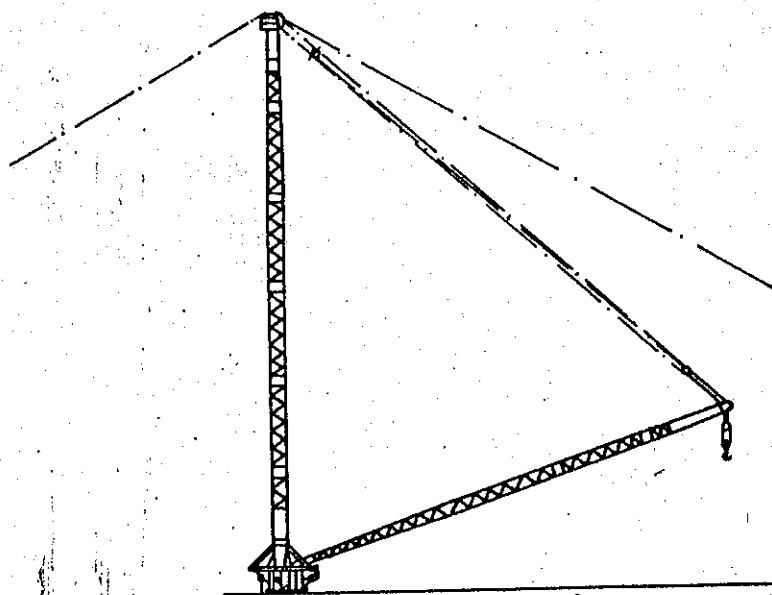
8.3.3 Fix emelőberendezések

Ezek még az előző pontban felsoroltaknál is kisebb területen, főként akkor alkalmazhatók, ha egyetlen állásban viszonylag sok szerelési feladat végezhető el (pl. egy hengeres tartály közepébe betelepített zászlós bikkal az egész palástrész megszerelhető).

A fix emelőberendezések közé soroljuk a következőket:

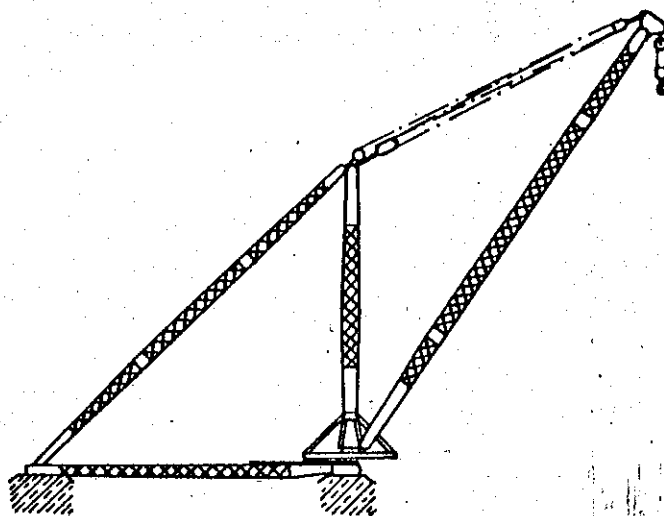
- zászlós bika (360°-os hatóterület)
- Derrick daru fix alapra szerelve (120°-os hatóterület)
- árbócdaru (egészen szűk hatóterület)

A 170-172. ábrák szemléltetik a felsorolt emelőberendezéseket.

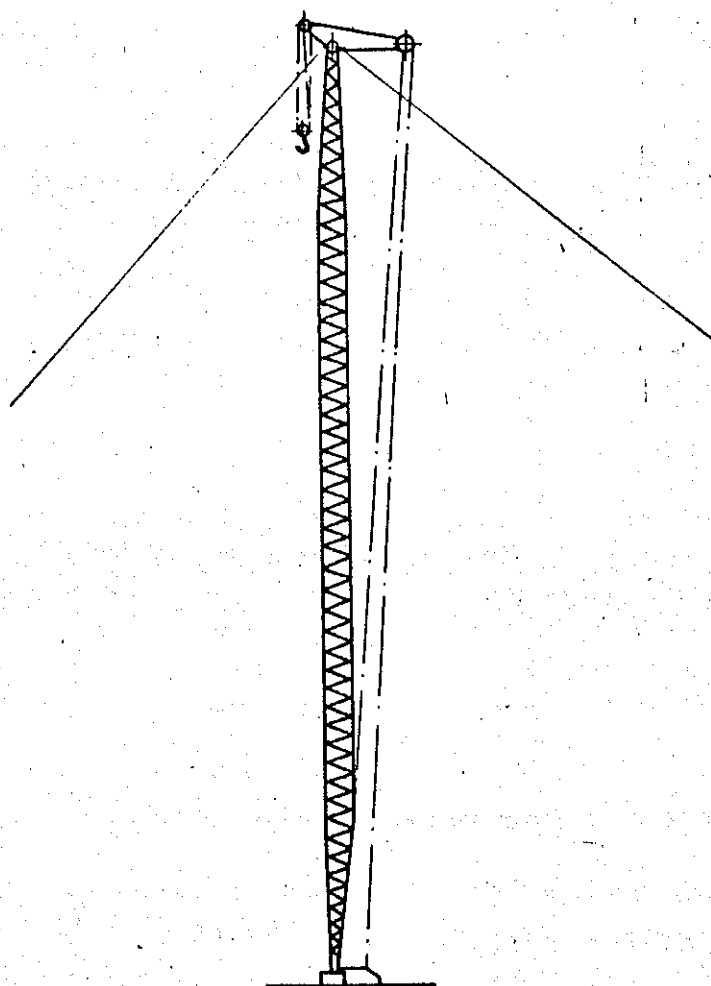


170. ábra

Zászlós bika



171. ábra
Derrick daru



172. ábra
Árbócdaru

8.3.4 Különleges egyedi emelőberendezések

A korszerű szereléssel szemben támasztott követelmények kielégítésére az utóbbi időben számtalan olyan speciális emelőeszközt fejlesztettek ki, melyek egyedi feladatok végrehajtására alkalmasak és általában igen nagy terhek emelésére, mozgatására képesek. Ezek alapját általában különféle hidraulikus berendezések adják. Ide soroljuk az alábbiakat:

- hidraulikus sajtó
- hidraulikus huzókészülék
- hidraulikus csörlők
- hidromechanikus szinkronemelők
- hidrosztatikus hajtóművű szerelőcsörlők

A hidraulikus sajtók általában teheremelésre, de segédberendezésekkel sokféle feladatvégrehajtására alkalmasak, 10-1000 t teherbírású, 1000 mm-ig terjedő (lökett) sajtók kaphatók.

A hidraulikus huzókészülékek 20 t feletti terhek hosszú szakaszon (10-100 m) való mozgatására (pl. hidszerelő berendezés), kötélpályák sodronyköteleinek megfeszítésére szolgálnak.

A hidraulikus csörlők 100 t feletti kötélerek esetén a dob forgatását lépcsőzetesen, hidraulikus nyomóhengerek segítségével végzik.

A hidromechanikus szinkronemelők nagy (100 t feletti) terhek több ponton való egyidejű emelésének kiváló eszközei.

A hidrosztatikus hajtóművű csörlők kisebb terheknek (100 t alatt) fokozatmentesen szabályozható sebességű finomemelésére alkalmas berendezések.

Ide soroljuk még a kuszó darukat is. Ezek főként magas, toronyszerű szerkezetek szerelésének különleges egyedi emelő berendezései. Mozgatásuk (kuszásuk) általában hidraulikus úton "lépegetve" történik, míg a terhet többnyire valamilyen csörlő emeli.

8.3.5 Emelést segédeszközök

Az acélszerkezet szereléshez - az előzőekben felsoroltakon kívül, azok kiegészítése-képpen - általában szükség van kisebb kapacitású egyszerűbb teheremelő - mozgó berendezésekre is. Ilyenek pl.:

- a kézi, elektromos és dízel-meghajtású csörlők,
- a különféle láncstigasorok,
- a kötélnyelők és kilincsműves (racsnis) emelők,
- a hévérek.

8.4 Hegesztett szerkezetek helyszíni kapcsolatát

A hegesztett szerkezetek elemének gyártó üzemben elkészített kapcsolatát csaknem kizárólagosan hegesztéssel készítik. Az egy darabban a helyszíni szállított és

beemelt egységek szerelési kapcsolatainál azonban már jóval ritkábban alkalmazzák a hegesztést.

A helyszíni kapcsolat lehet:

- hegesztett
- szögecselt
- csavarozott.

A következőkben az egyes kapcsolatokat, azok lényegét, elkészítési módját, előnyeit, hátrányait röviden ismertetjük. Bár a leírtak többnyire általános érvényűek, a kérdést a helyszíni kapcsolatok szempontjából tárgyaljuk.

8.4.1 Hegesztett kapcsolatok

A hegesztett kapcsolatok kialakításáról, elkészítésének technológiájáról és tulajdonságairól az előzőekben már bőven volt szó, ezért e helyen csak összehasonlítást teszünk a másik két kapcsolati móddal.

A hegesztett (helyszíni) kapcsolatok előnyei a következők:

- statikus teherbírása az alapanyaggal azonos, semmiféle gyengítéssel nem kell számolni, általában (tompavarratos kötéseknel) hevederezés sem kell; így jelentős anyagmegtakarítással jár;
- fáradási teherbírása (helyes szerkezetkialakítás esetén) az összes kapcsolati mód közül a legkedvezőbb;
- homogén kapcsolatot létesít, teljes víz és gázzárással;
- a modern szerkezet egységét, vonalvezetését, esztétikus megjelenését a kapcsolatok nem zavarják.

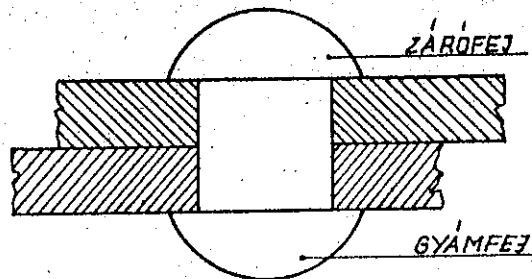
A helyszíni hegesztés hátrányai a következők:

- a szerelési egységek gyári előzetes és helyszíni ideiglenes rögzítéséhez külön erre a célra felhegesztett és utólag eltávolítandó segédeszközökre van szükség,
- a szerelési egységek, ill. ezen belül a helyszíni illesztések (hézagok) tűrésezése a legszigorubb,
- a helyszíni hegesztés munkaigényes, lassu,
- a kapcsolat ellenőrzése többnyire (pl. a radiográfiát) lassu és költséges,
- a helyszínen legtöbbször csak a kisteljesítményű kézi ívhegesztés alkalmazható, az automatikus eljárások általában bonyolult berendezéseket igényelnek, a CO₂ eljárás szelet, huzatot nem tűr,
- a helyszíni varratokat sokszor kényszerhelyzetben kell elkészíteni, ami egyrészt a szakmunkásokkal szemben fokozott követelményeket támaszt, másrészt a minőség és a teljesítmény rovására megy,
- a hideg időszakban (edződésre hajlamos acélokna! mindig) előmelegítésre van szükség,
- a helyszíni hegesztések alakváltozásokkal járnak, növelik a szerkezet belső feszültségét, energiatartalmát és - különösen edződésre hajlamos acélok esetén - a ridegtörési veszélyt; a helyszínen feszültségmentesítő hőkezelést alkalmazni csak különleges és költséges berendezésekkel lehet, így legtöbbször annak hatásával

számolni nem lehet, ami az anyagminőséggel szembeni követelményeket fokozza.

8.4.2 Szögecselt kapcsolatok

A szögecskötés a hengerelt acélból készült szerkezetekkel egyidős. Az átlapolással, vagy hevederezéssel összellesztett elemeket átfurják és a - szögecs névleges átmérőjénél 1 mm-rel nagyobb átmérőjűre furt - lyukakba világos vörös izzó állapotban bevert szögecskékkel kapcsolják össze. A szögecsorsó egyik végén a gyári, a másik végén pedig - az általában sűrített levegővel működtetett szerszámmal kialakított - zárófej helyezkedik el (173. ábra). A szögecseléskor beduzzasztott orsó kitölti a szögecslyukat és hűléskor zsugorodva az összekapcsolt elemeket - a fejek segítségével - összeszorítja. A közöttük levő súrlódást azonban, annak nem követhető mértéke miatt, nem veszik számításba.



173. ábra

Szögecskapcsolat

A szögecskapcsolat statikus teherbírását az orsók nyírószilárdsága, vagy - bizonyos lemezvastagság alatt - a palástnyomás szabályzatokban megadott értékek határozzák meg, a szögecs és az alapanyag szilárdságának, ill. annak függvényében, hogy egyszer, vagy kétszer nyírt kapcsolatról van-e szó.

A szögecskék tengelyirányú húzó, az ún. "pattintásra" történő igénybevétele általában nem, vagy csak igen kis feszültségekre megengedett.

Az alapszabály teherbírását az egy keresztmetszetben elhelyezkedő lyukak össz területének levonásával kell számolni. Részint ez, részint pedig az illesztéshez szükséges átlapolás, ill. hevederezés a hegesztett szerkezetekhez képest tetemes anyag-többletet (15-25%) igényel.

A szögecskapcsolatok fáradásbírása a lyukak és a hevederek erővonal-iránytöréseket okozó feszültséggyűjtő helyek következtében gyengébb a hegesztettnél. Számítással ez pontosan nem követhető, ezért ilyen igénybevétel esetén kísérleti tapasztalatokon alapuló fáradási tényezőkkel kell számolni. A szerkezet gazdaságossága fáradás esetén is jóval alatta marad a hegesztettének.

A szögecselt kapcsolatok ridegtörés szempontjából csak a feszültséggyűjtő helyek következtében kedvezőtlenek, de az anyag hegesztéssel járó szövetszerkezeti átalakulásai ill. feledződése és az ebből fakadó repedésveszély, valamint a saját feszültségek keletkezése és az ezek révén a szerkezetben felhalmozódott energia itt nem jelentkezik. Ezért a szögecselt szerkezetek (még a hegesztett gyári, de szögecselt helyszíni kapcsolataik is) a hegesztettekénél ridegtörés szempontjából kedvezőbbek. Ez a magyarázata annak, hogy szegecselt szerkezeteknél a ridegtörés csak elvétve fordult elő, és ebből fakad az is, hogy a szögecselt szerkezetek anyagainak repedés-érzékenysége, ridegtörési érzékenysége csak elenyésző szerepet játszik.

A (helyszíni) szögecselt kapcsolatok előnyei a következők:

- a szerelési egységek gyári és helyszíni összeállítása a végleges kapcsolat segítségével olcsó eszközökkel (fűzőtűske, fűzőcsavar), gyorsan, könnyen történhet;
- a szerelési egységek tűrésezése igénytelenebb, (a kisebb illesztési hibák a hevederes kapcsolatok lyukainak utólagos feldörzsölése során kiküszöbölhetők);
- a helyszíni kapcsolat elkészítése alakváltozásokkal, saját feszültségekkel nem jár;
- nem ismer "kényszerhelyzet"-et, minden helyzetben jól kivitelezhető;
- helyszíni munka nem igényel különös feltételeket (hőmérséklet, huzatmentesség stb.);
- az ellenőrzés (szögecsvizsgálat) egyszerű, gyors és olcsó;
- a ridegtörés veszélye csekély, az anyagminőséggel szemben támasztott követelmények mérsékeltek.

A (helyszíni) szögecskapcsolatok hátrányai a következők:

- statikus teherbírása az alapanyag ép szelvényénél jóval kisebb, emiatt és a hevederek folytán a hegesztett kapcsolathoz viszonyítva, jelentős anyag többletet (15-25%) igényel, illetőleg a szögecskapcsolatok előtti szelvényvastagságnövelés gyártási többletköltséggel jár;
- a kapcsolatok előkészítése (lyukfurás, méretre dörzsölés) és maga a szögecselés munkalgényes, lassu, viszonylag nagy hely-, ill. megfelelő állványigénnyel (kétoldali hozzáférhetőség) járó művelet;
- külön időszakos ellenőrzést (szögecsoszerét) követel;
- a víz és gázzárás igen nehezen biztosítható;
- a modern szerkezetek síma, homogén felületein a szegecskapcsolatok esztétikai hatása gyakran zavaró.

8.4.3 Csavarkapcsolatok

Hegesztett szerkezetek helyszíni csavarkapcsolatait:

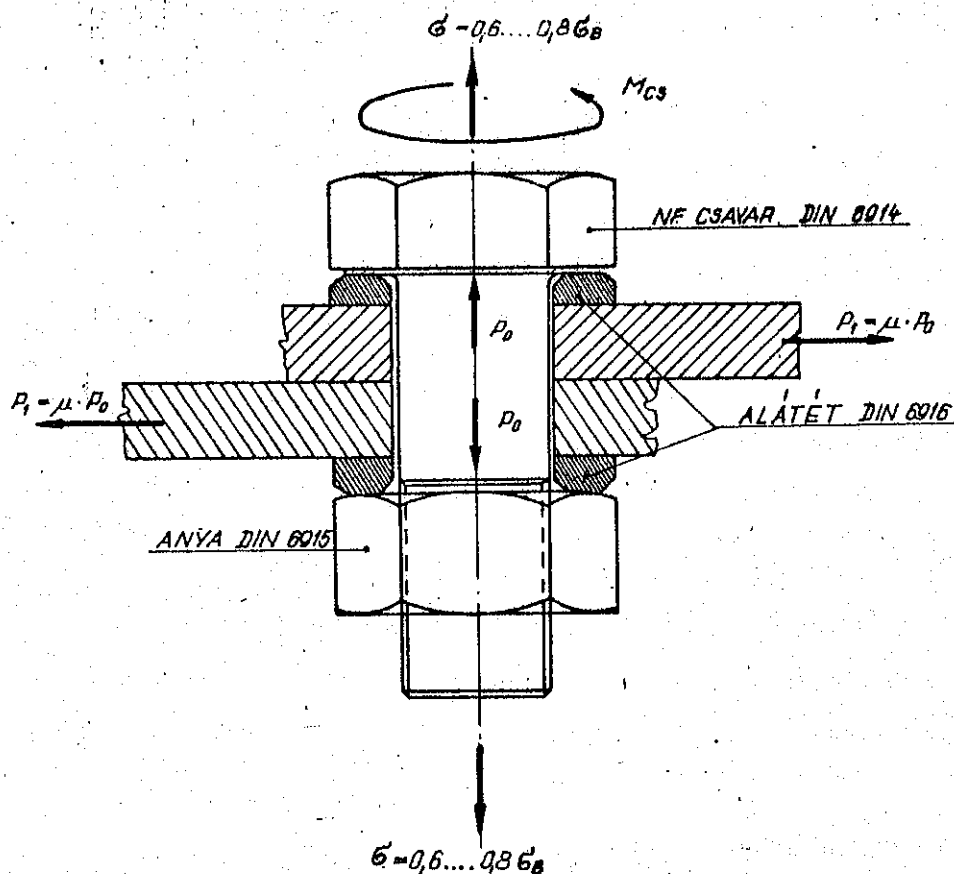
- NF csavarral, esetleg
- egyéb (nyers, fényes, illesztett) csavaros kapcsolattal szokás kivitelezni.

Feszített csaváros kapcsolatok

A nagyszilárdságú feszített (NF-) csaváros kapcsolatokat a harmincas években az USA-ban kezdték alkalmazni, mert kivitelezésük költsége alatta volt a szögecskötésének. Ott kezdetben szögecselt típusu, tehát nyíráásra, palástnyomásra dolgozó NF csaváros kapcsolatokat alkalmaztak, gyakran gyári kapcsolatként is.

Európában az 50-es években - különösen az NSZK-ban folytatott kísérletek és ezek nyomán született méretezési és kiviteli előírások - alapján kezdett terjedni, helyszíni kapcsolati megoldásként. Itt azonban az amerikaitól eltérő - az összeszorított felületek surlódásán alapuló - kötésként alkalmazták és alkalmazzák ma is. (Azóta az USA-ban is elterjedt ez a típus is.)

A kapcsolat működésének lényege, hogy nagyszilárdságú (Cr, Mo, Ni, V ötvöztű, 100 kp/mm^2 szakítószilárdságú) csavarokkal (speciális anyagu és kialakításu alátétek és anyák segítségével) az összekötendő elemeket hevederes kötésekkel olyan nagy erővel szorítják össze, hogy az erőátadás a felfekvő felületek surlódása révén történik (174. ábra). A csavarorsókba a meghatározott nagyságú szorító erőt az anyák meghatározott mértékű, nyomatékmérő kulcsokkal történő meghuzása révén juttatják.



174. ábra

"NF"-csavarkapcsolat

A kapcsolat működésének alapfeltétele a felfekvő acélfelületek kellő érdessége. Az ennek alapján figyelembe vehető surlódási tényező (μ) szabja meg az alkalmazandó csavarok számát. Nagyságát hazai szabályzatok 37-es acélnál 0,45; 52-es acélok-nál 0,55-ben írják elő.

A felület megkívánt érdességét

- lánggereztyéssel (oxigén-acetilén lánggal);
- szemcsetisztítással (homokfuvással, vagy acélszemcsével);
- tüskézéssel (sűrített levegővel működtetett acélhuzal köteggel);
- a fentiek kombinációjával,

újabbán:

- alumíniumszórással;
- alkálszilikátos festékbevonattal,

egyes javaslatok szerint:

- az érintkező felületek közé juttatott nagykeménységű fémszemcsék révén biztosítják.

A hazai gyakorlatban eddig leginkább bevált módszer a szemcsetisztításos gyári előrevétlenítés és a - védelem nélkül hagyott - felület helyszíni drótkéfézés utáni lánggereztyés kezelése.

Külföldön ezt ma már elterjedten alkalmazzák a legkülönbözőbb, főként híd és épület-acélszerkezetek helyszíni kapcsolataként. Újabbán kezd elterjedni az illesztett NF-csavar is, melynél a csavar nyírású teherbírása is számításba vehető, így kevesebb csavar szükséges.

Magyarországon NF csavaros kapcsolatokat először 1961-ben a Taktaharkányi hídon, azóta több hídszerkezeten (Tiszafüredi Tisza-híd, Kistarai Tisza-híd, Győri Rába-híd, algyői vasúti Tisza-híd stb.) került alkalmazásra, import, vagy import alapanyagú csavarokkal.

A hazai - német alapokon - nyugvó előírásokat a KPM KF 2 (2 sz. Különleges Feltételek a közúti hidak nagyszilárdságú feszített (NF) csavaros kötéseinek készítéséhez), valamint az ÉVM ME 125/1-75 ("Nagyszilárdságú feszítőcsavarok építőipari alkalmazása" 1. surlódásos kapcsolatok) és az ÉVM ME 125/2-77 ("Nagyszilárdságú feszítőcsavarok építőipari alkalmazása. 2. huzottosavaros kapcsolatok") tartalmazzák.

A csavarminőségekre vonatkozóan hazai szabvány nincs, ezért az eddigiekben DIN előírások szerinti csavarokat alkalmaztunk (alapanyag: DIN 267/3; csavarorsó: DIN 6914; anya: DIN 6915; alátét: DIN 6916);

Az NF csavaros kapcsolat előnyei a következők:

- anyagtakarékos, mert lyukgyengítéssel nem, vagy csak csökkentett mértékben kell számolni;
- a kapcsolat fáradási szilárdsága kedvező, mert a felületen történő erőátadás nem jár feszültségcsúcsokkal (mint a szegecselt kapcsolatoknál);
- a kapcsolat a ridegtörési biztonság szempontjából kedvező, mert elkészítése nem okoz az alapanyagban szövetszerkezeti változást, felkeményedést, saját feszültségeket (mint a hegesztés);

- a kapcsolat működése az összecsavarozott elemek elmozdulás (elosuszás) mentességén alapul, tehát hegesztéssel kombináltan is alkalmazható (ellentétben a szegcskötéssel);
- a lyukak 1-2 mm-el nagyobbak lehetnek csavar orsóátmérőjénél, ezért a szerkezet és az illesztő lyukak tűrésezése viszonylag nem kell szigorú legyen;
- a gyári előszerelés és a helyszíni összeállítás a hevederes kapcsolatok révén nem igényel segédeszközöket (mint a hegesztettnél), könnyen végrehajtható;
- a kivitelezés gyorsan megy, nem igényel sok helyet.

Az NF csavaros kapcsolatok hátrányai a következők:

- a csavarok ára (tőkés import) igen magas (ezidő szerint kb. 150,- Ft/készlet);
- a felület érdesítése meglehetősen hosszadalmas, költséges, bonyolult, kényes a korrózióra (tehát közvetlenül szerelés előtt készítenendő el), ezért a surlódási tényező elérése bizonytalan, szórása nagy (külföldön ezt a problémát úgy oldják meg, hogy alacsonyabb surlódási tényezővel számolnak, így több csavar kell ugyan, de a helyszíni előkészítés - gyári szemcseszórásos, esetleg megfelelően védett felületek esetén - elmaradhat);
- az előírások szabta különféle megelőző és gyártásközi próbák elkészítése, vizsgálata hosszadalmas és költséges.

Egyéb csavaros kapcsolatok

Az egyéb csavarok az acélszerkezet építésben ritkán, csak alárendeltebb, vagy speciális esetekben kerülnek alkalmazásra (fő területük a gépszerkezetek).

A nyers (új megjelölés: MSZ 2360-72 "HtIf" III. pontossági osztály) csavar olcsó, de csak kis szilárdsági értékkel vehető számításba. Alárendeltebb esetekben (pl. távvezeték-oszlopok, egyszerű épületszerkezetek) történő alkalmazásakor a szerkezeten a lyukátmérőt a csavarorsó átmérőjénél 1 mm-rel nagyobbra szokás furni. Az anya meglazulása ellen menetroncsolással védekeznek.

Előnye, hogy olcsó, gyorsan, könnyen kivitelezhető, a szerkezetben alakváltozást, belső feszültséget nem okoz, ridegtörési veszéllyel nem jár. Hátránya a lyukgyengítés, mely különösen az alacsony szilárdsági értékből következő magas csavarszám miatt jelentős, továbbá a kilazulás veszélye, amely miatt időszakos ellenőrzést igényel. A kötés fáradási szilárdsága szintén csekély. A nyers csavaroknak jelentős szerep jut a szerkezetek gyári és helyszíni összeállításakor az ideiglenes kapcsolatok létrehozásában.

A fényes csavarok (új megjelölés MSZ 2461-72 "HtIf" II. pontossági osztály); anyagban különböznek a nyers csavaroktól, hogy a jobb anyagminőség kisebb csavarszámot eredményez, ezért - bár jóval drágább - a tervezők ezt kedvelik.

Az illesztő csavar (MSZ 2457-72; MSZ 2460-72) nagy előnye az, hogy ez az egyetlen olyan kapcsolati mód, mely az előszerelt állapotban történő beállítással tökéletesen azonos, elmozdulásmentes helyszíni összeállítást tesz lehetővé. Ezért, ahol ez igény (pl. gépészeti jellegű szerkezeteknél) nélkülözhetetlen.

Az illesztett csavaros kapcsolat költséges, egyrészt a csavar, másrészt a lyuk tízed-milliméteres tűrésigénye miatt. Nagyobb szerkezeteknél, melyek nem helyezhetők furógép alá, a lyukak megfelelő pontosságu (H 7, esetleg H 11 tűrésezésű) előállítás-gondot okoz. Több lépcsőben kell felfurni és dörzsölni.

Korszerű megoldást nyújt az elmozdulásmentes kapcsolat kivitelezésére az NF és az illesztő csavarok kombinációja: illesztésenként négy-négy illesztő csavart és az erőátvitelt biztosító számú NF csavart alkalmaznak.

8.4.4 A helyszíni kötéstípus kiválasztásának műszaki-gazdasági szempontjai

Az előzőekből látható, hogy mindhárom módszernek vannak előnyei és hátrányai. Ezek együttes mérlegelése az objektív műszaki és költségtényezők, ill. a kivitelező szubjektív adottságainak figyelembevételével érlelheti meg a döntést.

A helyszíni hegesztés lassu és kényes szakmunka volta, a szögecselés nehéztesti-munkaigényessége és anyagigényessége, ill. az NF csavaros kapcsolatok gyors elkészíthetősége, kedvező műszaki paraméterei általában az utóbbi javára billentik a mérleget. Szép számmal előfordul azonban a másik két kötésmód is, sőt a három kombinációja egy szerkezeten (de nem egy kötésen!) belül.

9. ACÉLSZERKEZETEK TERVEZÉSE

A korszerű hegesztett acélszerkezettől - mint ahogy azt már a Bevezetés-ben is le-
rögzítettük - megköveteljük:

- a funkció célszerű betöltését;
- az esztétikus megjelenést;
- a töréssel szembeni biztonságot;
- a gazdaságosságot.

Az első két igény megfelelő kielégítése csaknem kizárólag tervezői feladat, míg a második kettő a tervező és kivitelező együttes munkájától függ. Nyilvánvaló tehát, hogy egy szerkezet sikere, vagy kudarca döntő módon a tervezési tevékenységen mu-
lik. Alapvető a megoldás koncepciójának helyes megválasztása, de nagyjelentőségű a részletek szakszerű kidolgozása is, a gyárthatóság, szerelhetőség - a rendelkezés-
re álló lehetőségek figyelembevételével történő - optimális biztosítása.

A tervezői tevékenységet felölelő óriási területből e jegyzetben - célkitűzéseinknek megfelelően - csak egy kis részt: a kivitelezéssel kapcsolatosan figyelembe veendő különböző szempontokat tárgyaljuk. Az előző fejezetekben - mindig a szóbanforgó témakör szemszögéből - folyamatosan részleteztük azokat a feladatokat is, melyeket tervezéskor kell megoldani. E helyen már csak - a kivitelezéssel kapcsolatos egyik legfontosabb terület - a szerkezetalakítás néhány kérdésével foglalkozunk, a teljes-
ségre való törekvés igénye nélkül.

9.1 Szelvényalakítás

A szerkezettervezés igen jelentős feladata az alapszelvények megválasztása. Itt cél-
szerű az alábbi szempontokat figyelembe venni:

- kevés elemből álljon (a legkedvezőbbek ebből a szempontból a hengerelt szelvények);
- kevés hegesztést igényeljen (fontos a varratfajta helyes megválasztása - pl. K-var-
ratot ne tervezzünk oda, ahol sarokvarrat is megfelel; a varratméret - statikai
és szerkezeti szempontból - a szükséges minimum legyen; ahova lehet, szaka-
szos varratot tervezzünk);
- az anyag- és varrat-elrendezés lehetőleg két tengelyre, de legalább egy tengely-
re szimmetrikus legyen (az alakváltozások elkerülése, ill. csökkentése érdeké-
ben);
- a szelvények gyári és helyszíni illesztése, valamint az illesztés egyszerűen el-
lenőrizhető legyen;
- a szelvény alkalmas legyen - az igénybevételnek (statikus, fárasztó) megfelelő -
könnyen kivitelezhető csomópontok kialakítására.

A továbbiakban ilyen szempontok szerint tesszük vizsgálat tárgyává a leggyakrabban
alkalmazott szelvénytypusokat. Előre bocsátjuk, hogy a korszerű hegesztett acélszer-
kezetek zöme tulajdonképpen két szelvénytypus:

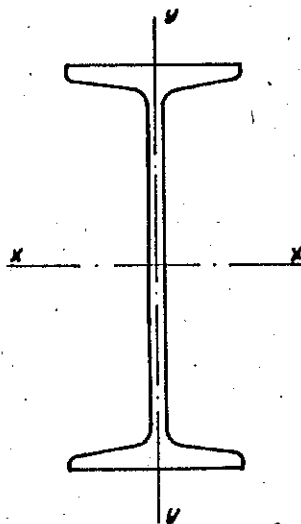
- az I-tartók és
- a bordákkal merevített lemezszerkezetek különböző variációival kialakítható.

Ezért ezekkel részletesebben foglalkozunk.

9.1.1 I-tartók

Az I-tartók azért terjedtek el olyan széles körben, mert az előbb felsorolt szempontok mindegyikét kielégítik.

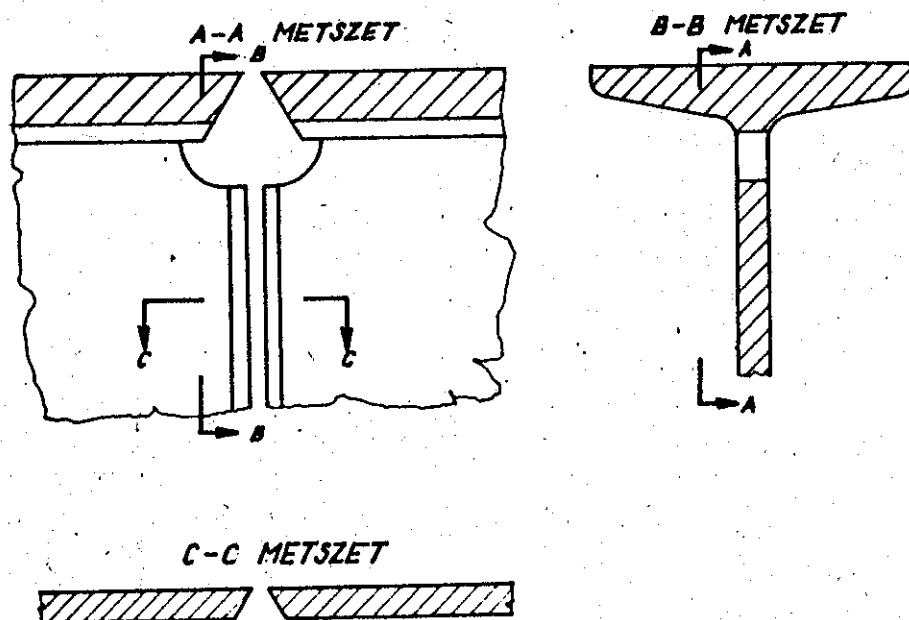
A legelőnyösebb természetesen, ha az I-tartót hengerelt szelvényként nyerjük. Sajnos hazánkban a lehetőségek e téren igen korlátozottak, mivel csak egyetlen szelvény-típust (MSZ 325-51) gyártunk (175. ábra). Ez pedig az y-tengelyre kedvezőtlen inerciájú, továbbá a ferde talp nehézségeket okoz az illesztéseknél, csomóponti kiképzéseknél, esetleges bordázásnál stb.



175. ábra

Hengerelt I-szelvény (MSZ 325-51)

Ha a tartó illesztését hegesztéssel oldjuk meg, ennek elkészítése különösen a nyak tájékán nehézkes. Az öveket belülről kell élezni, hogy a gyökfaragás kívülről könnyen elvégezhető legyen. A gerincillesztés öveknél levő végének gyöke azonban nemigen faragható ki semmilyen módszerrel. Célszerű ezért itt a gerincet kivágni (176. ábra).

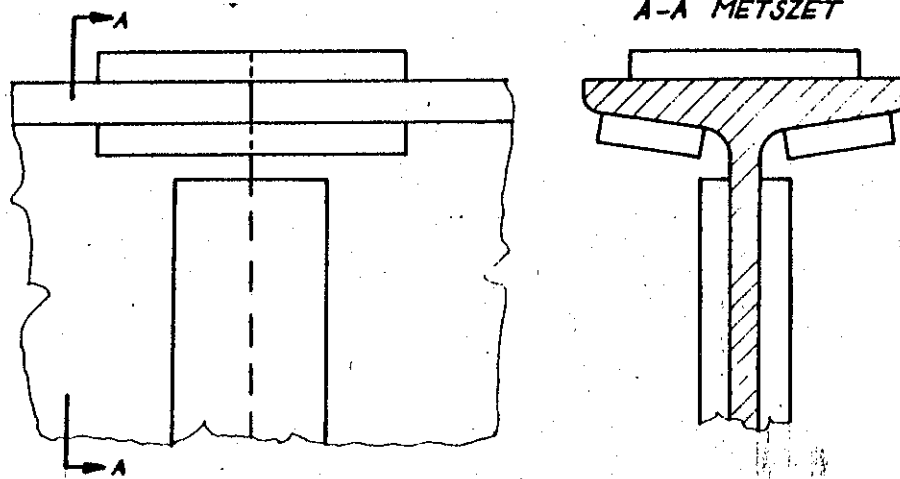


176. ábra

Hengerelt I-szelvény kialakítása tompa hegesztéssel történő illesztéshez

A hegesztett tompakötés csillapított acéloknál nyújt teljes értékű megoldást. A oszláplátlanoknál a dusulások miatt csak csökkentett értékkel vehető számításba.

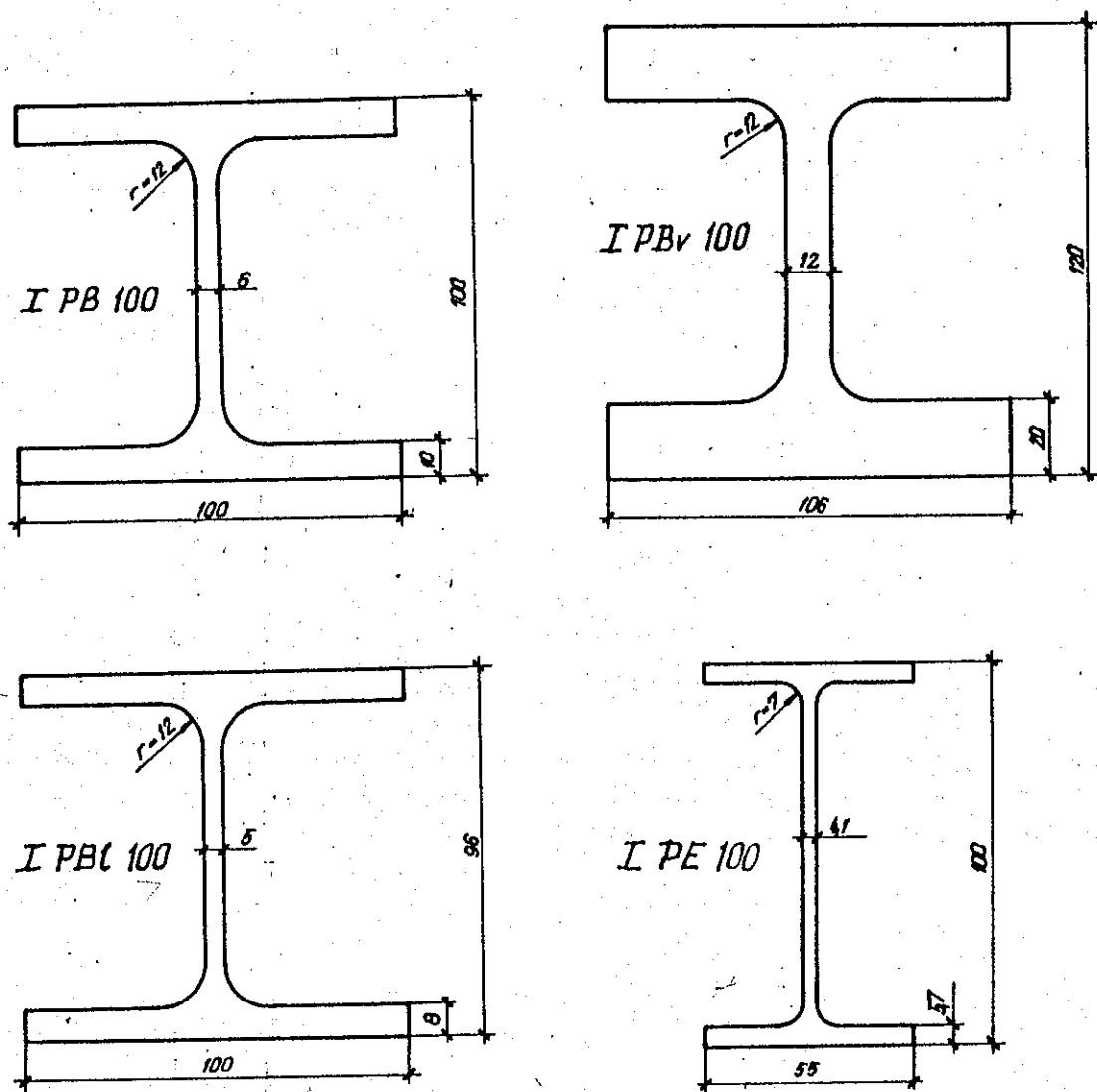
A hevederes illesztés készülhet hegesztéssel (esetleg tompa illesztéssel kombinálva), szögecseléssel vagy csavarozással (177. ábra). A hegesztett hevederes kapcsolat azonban fáradásnak és ridegtörési veszélynek kitett szerkezeteknél, de kivételtechnikai és esztétikai szempontból is igen előnytelen, ezért lehetőleg kerülni kell.



177. ábra

Hengerelt I-szelvény hevederes illesztése

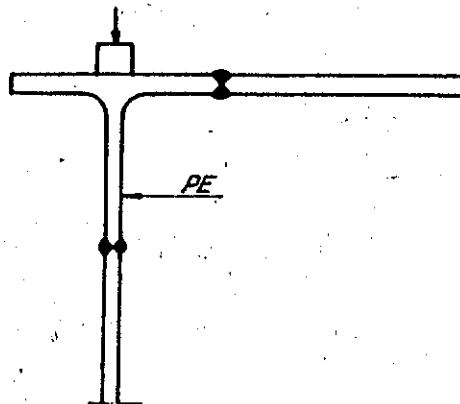
Lényegesen előnyösebbek és jóval szélesebb körben alkalmazhatók a párhuzamos öv-
síku I-tartók. Az NSZK-ban a DIN 1025/63. szerint pl. négyféle, un. "Peine" tartót
hengerelnek, igen széles méretskálával (178. ábra).



178. ábra

Különféle "Petne"-tartók

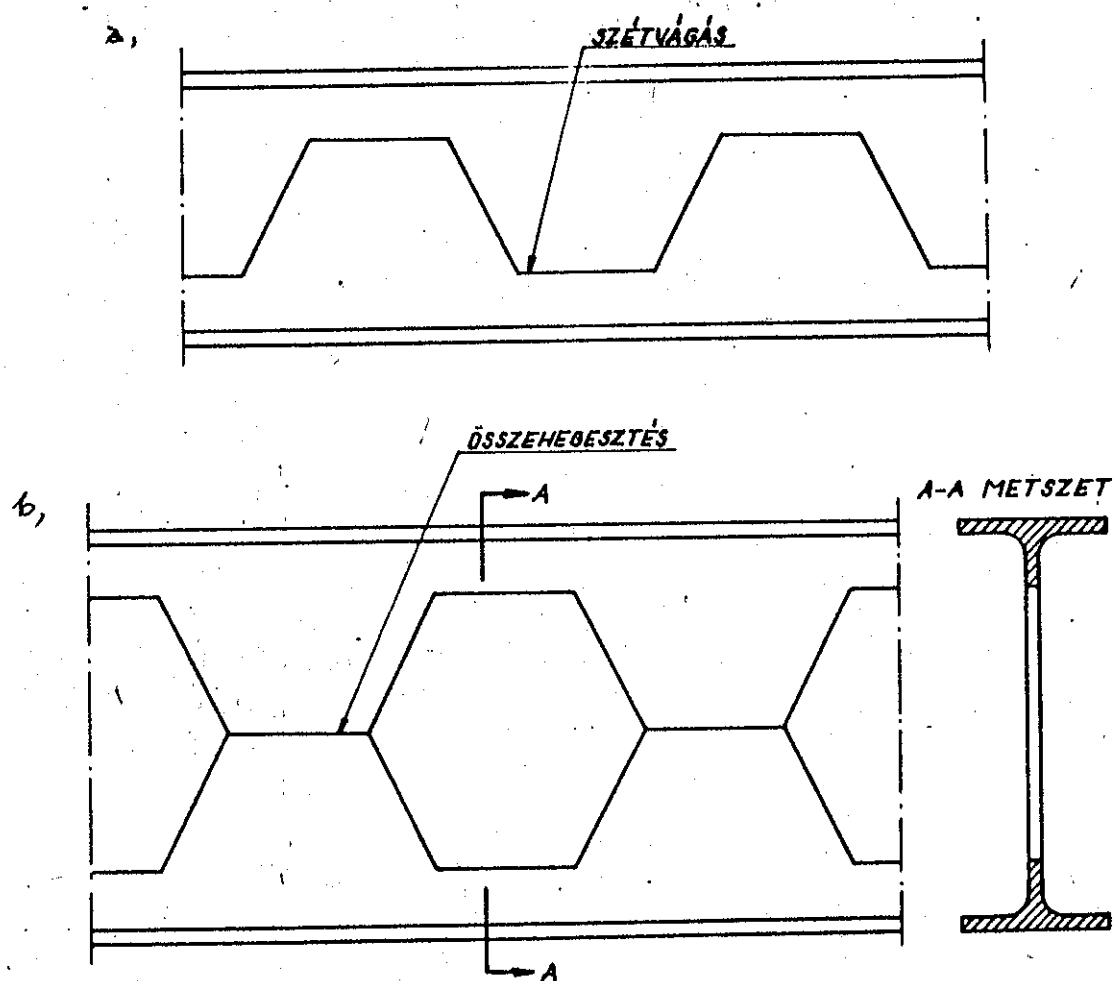
Ezeket a tartókat félbevágva, sok célra jól alkalmazható T-szelvényeket nyerünk. Használhatók ezek pl. rácsos tartók öveként, lemezes szerkezetek - főként keresztirányú - merevítő bordájaként, esetleg olyan szekrényes, vagy hegesztett I-tartók részeként, ahol a nyakvarrat - pl. nagyterhelésű darusínek alatt - nem kívánatos (179. ábra).



179. ábra

Félbevágott Pelne-tartó futódaru szekrényes keresztmetszetű acél-szerkezetének elemeként alkalmazva

Szokás a hengerelt I-tartók X-tengelyi inerciáját - többletsúly nélkül - oly módon növelni, hogy a gerincet törtvonal mentén elvágják és egy periódussal történt eltolás után összehegesztik (180. ábra). Ez az ún. könnyített I-tartó ('Wabenträger').

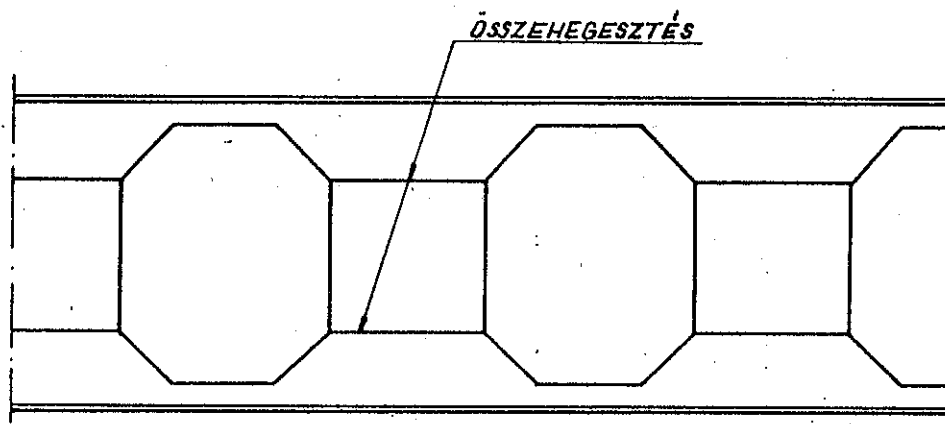


180. ábra

Szétvágással és összehegesztéssel nyert magasgerincű
könnyített I-szelvény ("Wabenträger")

E megoldás azonban csak akkor fizetődik ki, ha erre viszonylag munkalgényes tartóra automata gyártósort állítunk be. (Hazánkban a MEZŐGÉP Tröszt szolnoki gyárában erre berendezkedtek.)

További lépés az inercianövelés irányában, ha a gerinc illeszkedő szakaszai közé téglalap alakú toldaléklemezeket hegesztenek be (181. ábra). Ez az ún. "Litzka"-tartó.



181. ábra

Toldaléklemez behegesztésével nyert könnyített, magasított gerincű I-tartó ('Litzka'-Träger)

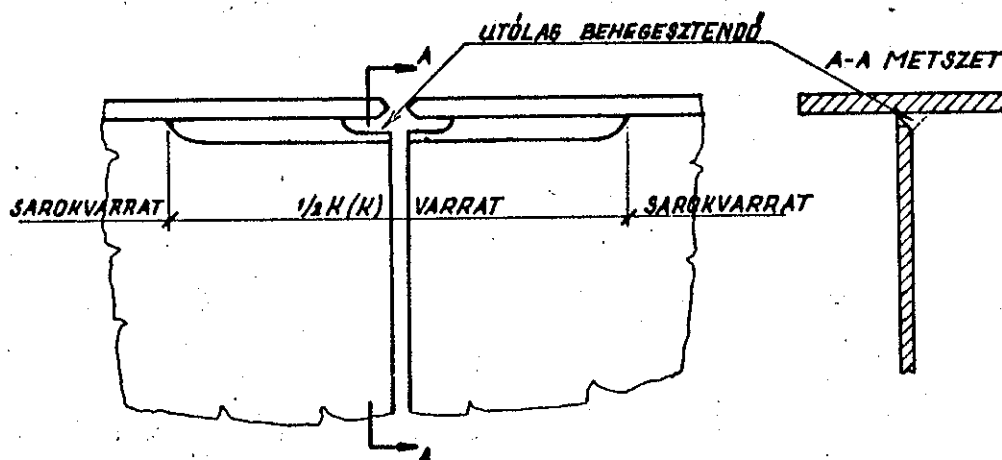
Amennyiben a feladat megoldásához nem áll rendelkezésre megfelelő szelvényű I-tartó, úgy azt hegesztéssel kell előállítani. Egyes gyárak berendezkedtek megfelelő automata sorokkal hegesztett I-tartók széles méretválasztéku gyártására. Hazánkban a KGYV Táplószele-t gyárában kétféle rendszerben (300-2000 mm, ill. 300-1000 mm tartómagassághatárok között) különböző talpszélességű és lemezvastagságú I-tartókat készítenek, korszerű nagyteljesítményű berendezésekkel. (Ezek jellemző adatait, gyártási mérettűréseit katalógus ismerteti.)

Hegesztett I-tartók kialakításánál célszerű az alábbi szempontokat figyelembe venni.

Az övet a gerinccel összekötő ún. "nyakvarratok" általában sarokvarratok legyenek. Ez alól indokolt kivétel a különösen nagy, egyidejű nyíró- és tengelyre merőleges nyomó igénybevétel esete (pl. darusín alatti varratnál).

A hegesztett I-tartók illesztésére többé-kevésbé érvényesek a hengerelt tartókkal kapcsolatban elmondottak. Szokás itt az övlemezek illesztését a gerinchez képest - esetleg egyirányban, esetleg jobbra-balra - eltolni. Az ebből adódó gyártási nehézségek, ill. a pontatlan illesztési hézagokból fakadó többletfeszültségek - véleményünk szerint - ennek a megoldásnak inkább ellene, mint mellette szólnak, (bár a vizsgálatok szerint az ilyen illesztés fáradást szilárdsága valamelyest jobb).

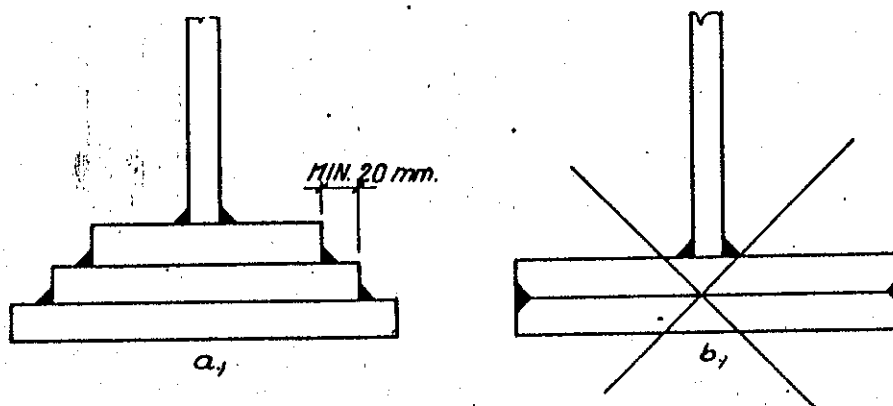
Amennyiben valamilyen oknál fogva (pl. a kisebb fáradást szilárdság miatt) nem kívánatos az illesztésnél a gerinc kivágása (lásd a 189. sz. ábrát), a nyakvarratot hosszabb átmenettel $1/2K$ (K)-varrattá kell változtatni és a - hegesztéstechnikát, valamint vizsgálati célból (pl. röntgenfilm) ebben idelglenesen kialakított - kivágást az öv és gerinc tompavarratainak elkészülte után be kell hegeszteni (182. ábra).



182. ábra

Hegesztett I-szelvény tompallesztésének kialakítása

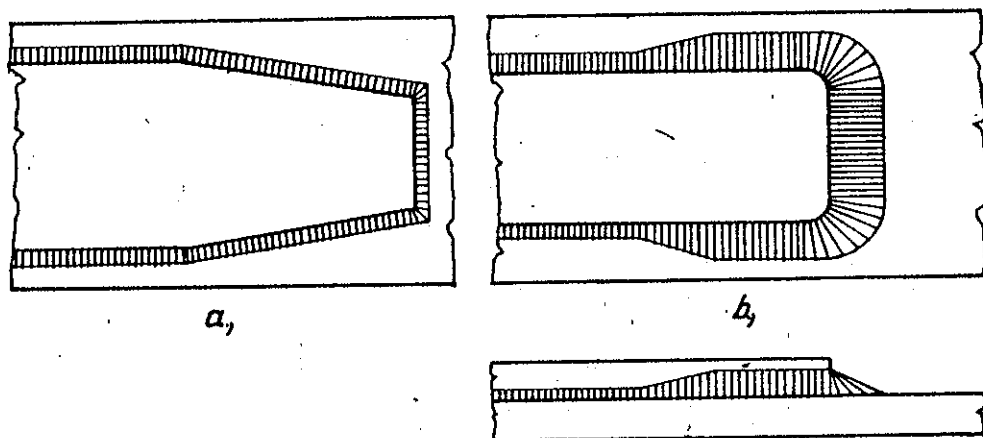
Szükség esetén szokás - különösen a hajlított - I-tartókat több övlemezzel is ellátni. Előre bocsátva, hogy ez - különösen 3-4 övlemez alkalmazása esetén - ellentmond a monolitikus jellegre való törekvést előíró, helyes szerkezetkialakítást szempontoknak, ilyenkor inkább ajánljuk a sarokvarratos, mint az élvarratos megoldást (183. ábra). Ez utóbbi nehezebben kivitelezhető és a varratgyök hajlamos a repedésre. A sarokvarrat elkészíthetősége céljából fontos a varrathoz igazodó, megfelelő mérettű (min. 20 mm-es) lépcső az övlemezek között.



183. ábra

Övlemezek elrendezése ("a": kedvező; "b": kedvezőtlen)

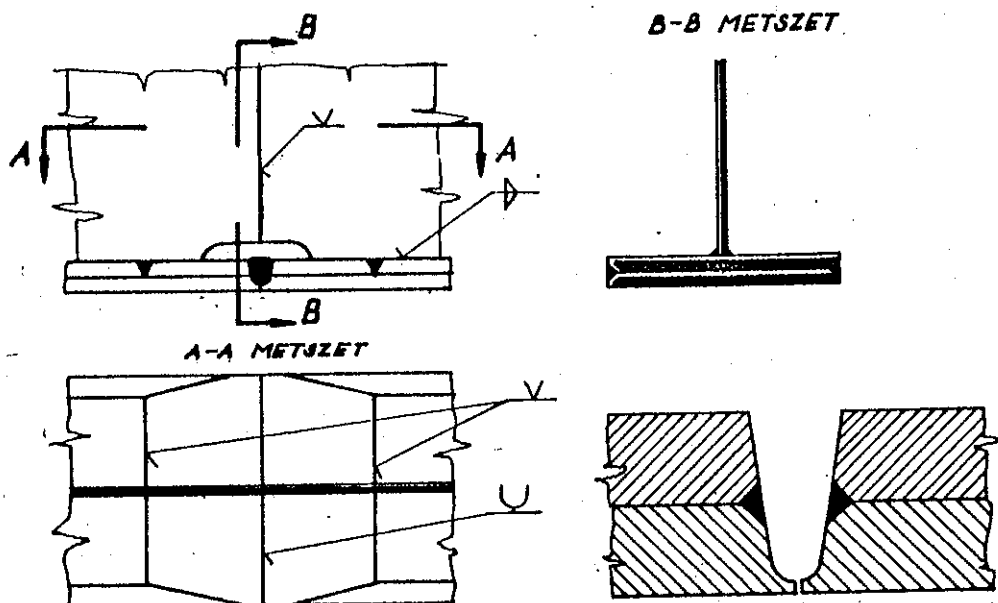
Az övlemezelhagyások - különösen fárasztott szerkezeteknél - megfelelő átmenettel történő kialakítást igényelnek, hogy az erővonalfolyam viszonylag enyhe törést szenvedjen (184. ábra).



184. ábra

Övlemezelhagyás kialakítása ("a": övlemez-
elkeskenyítéssel; "b": varratfelerősítéssel)

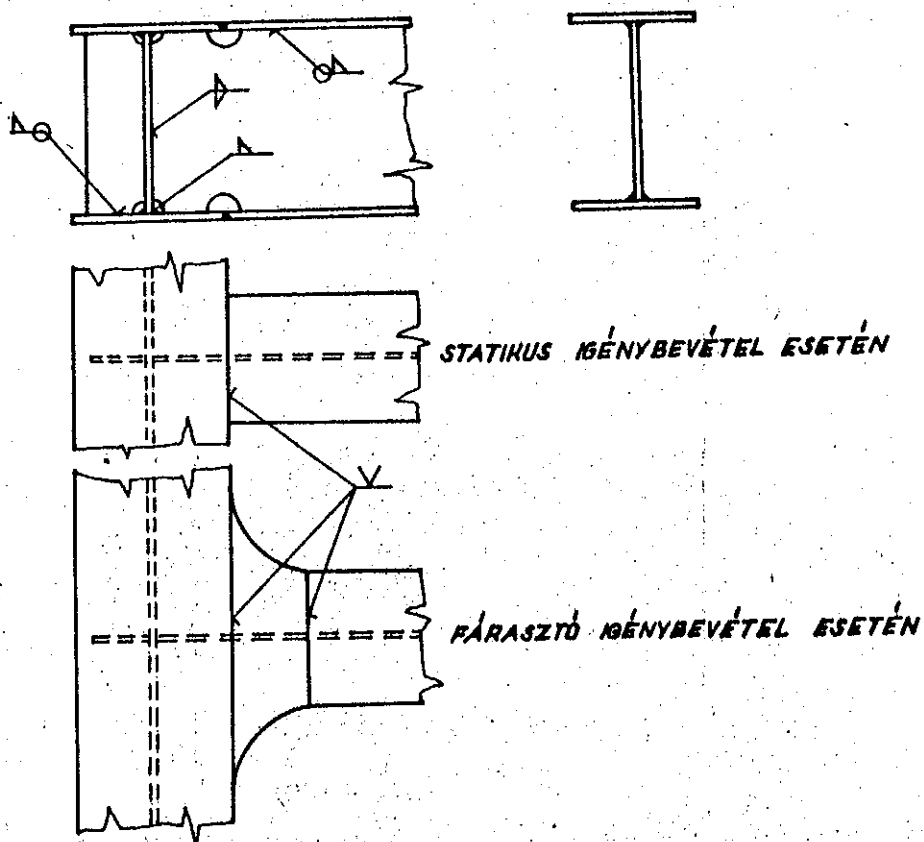
Külön gondot jelent a többövlemez-es tartó övelnek helyszíni illesztése, mely - véle-
ményünk szerint - 3-4 övlemez esetén hegesztéssel már nem is oldható meg megnyug-
tató módon. Két övlemeznel kívánatos azokat előre külön összehesztetni és - előze-
tesen belktatott tompaillesztésekkel - a léposózést megszüntetni (185. ábra).



185. ábra

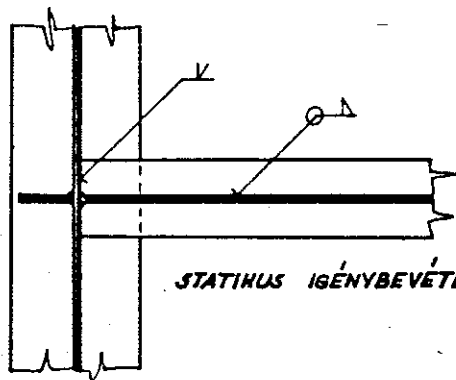
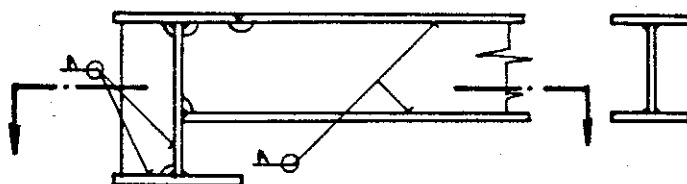
Kétövlemez-es I-tartó helyszíni illesztésének kialakítása

Az I-szelvény csomóponti bekötés szempontjából kedvező. A 186-188 ábrákon bemutatunk néhány megoldást.

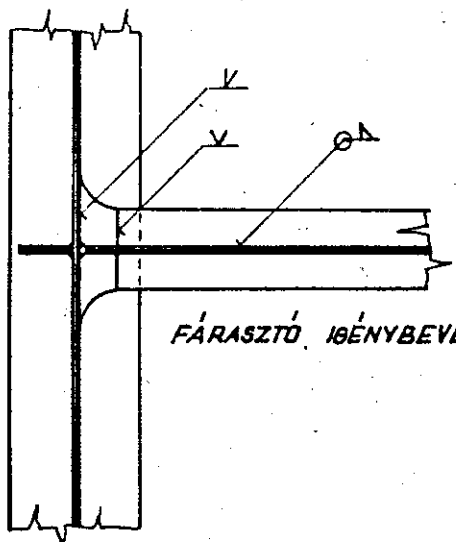


186. ábra

Azonos magasságu I-tartók hegeztett csomóponti kapcsolat



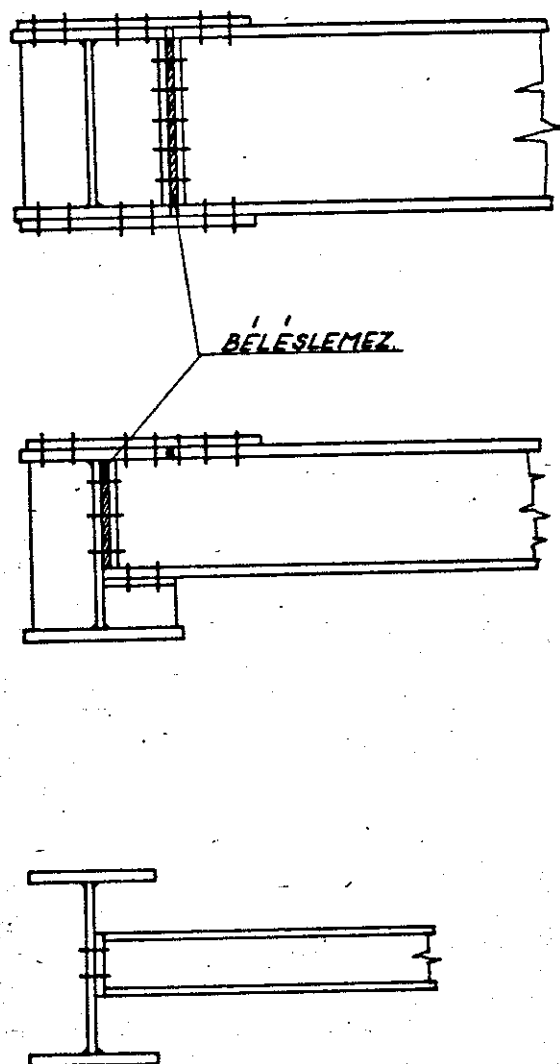
STATIKUS IGÉNYBEVÉTEL ESETÉN



FÁRASZTÓ IGÉNYBEVÉTEL ESETÉN

187. ábra

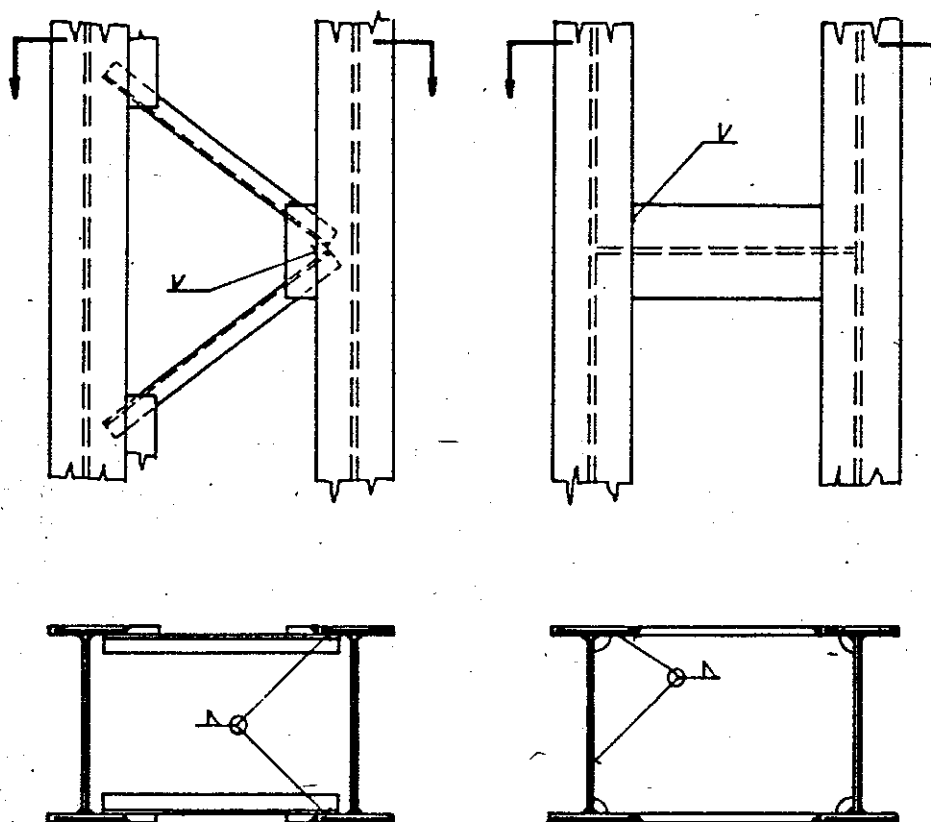
Különböző magasságú I-tartók hegesztett csomóponti kapcsolata



188. ábra

I-tartók szegecselt (csavarozott) csomóponti kapcsolatai

Az I-tartók nagyobb igénybevételek esetén - pl. nagyterhelésű épületeszlopoknál - jól párosíthatók rácsos, vagy Vierendel-rendszerű tartókká (189. ábra).

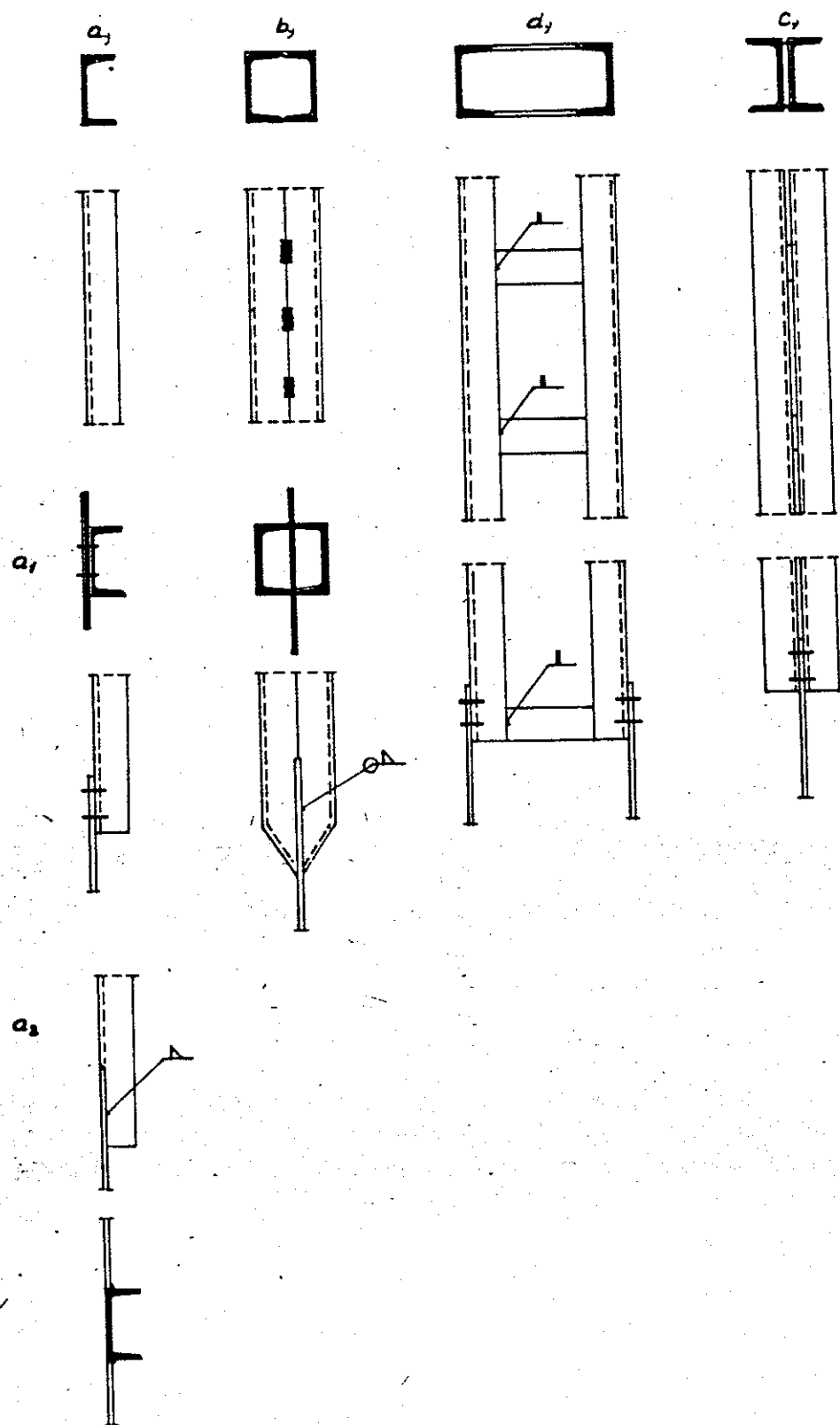


189. ábra

I-tartókkal képzett rácsos tartók

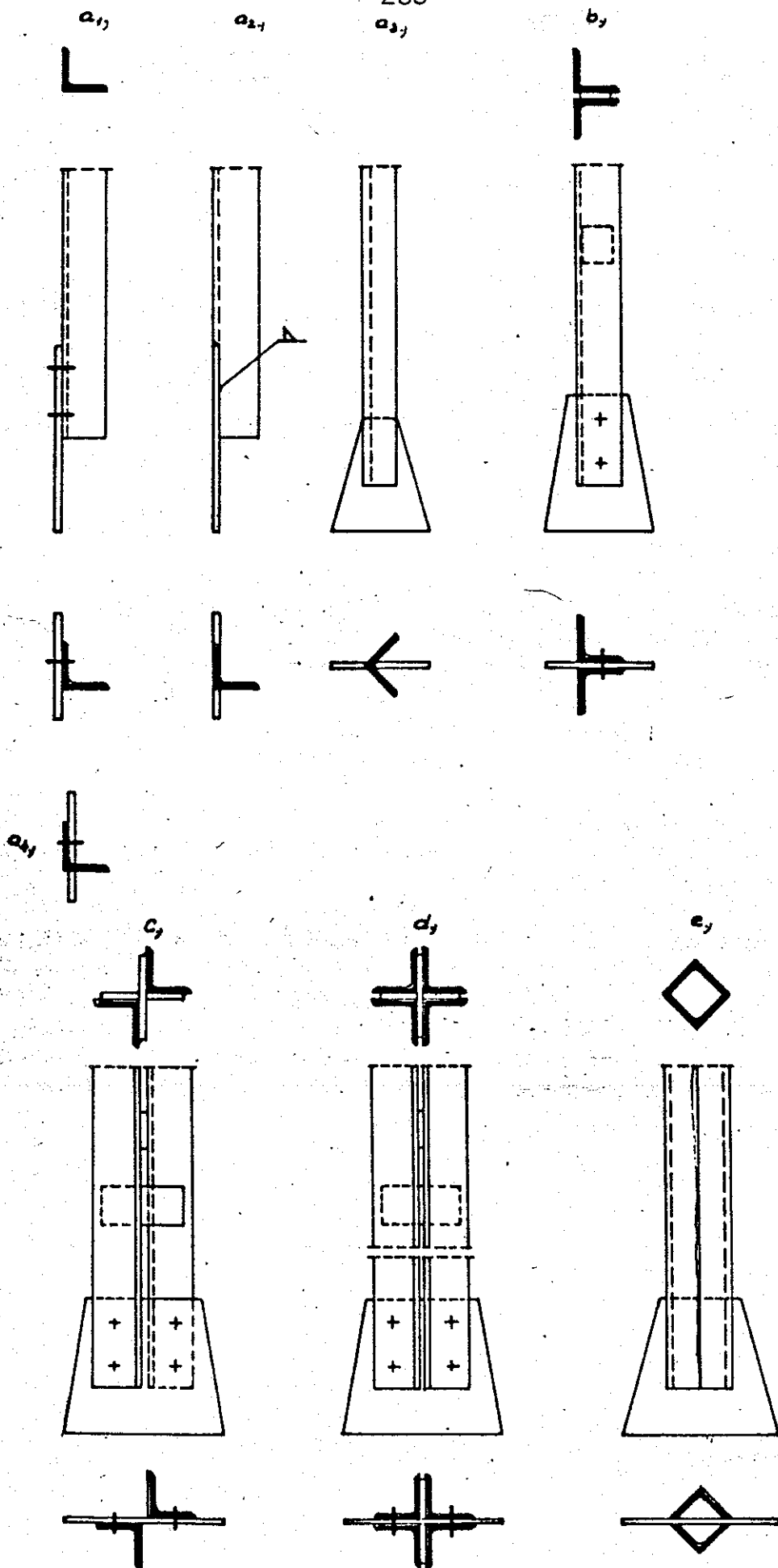
9.1.2 U-tartók

Az U-tartó egyszerűbb acélszerkezetek gyakran használt szelvénye. Főként hengerelt kivételben ajánlható, előállítása hegesztéssel költséges. A 190. ábrán bemutatunk néhány kedvelt szelvénytípust, feltüntetve a csomóponti bekötés lehetőségét is.



190. ábra

U-szelvényekből kialakítható tartótípusok



191. ábra
L-szelvényekből kialakítható tartótípusok

Egyetlen U-acél (a) csak excentrikusan köthető be (a_1), ezen valamelyest javít, ha a gerincet kivágjuk (a_2), de ez költséges. Igen kedvelt szelvény a két összefogott U-acélból álló (b), ennek bekötése szintén drága. Célszerű a két U-acélt csak szakaszos varrattal összehegeszteni. A c megoldás egyszerűen beköthető, de inerciálisan kedvezőtlenebb. Ez a szelvény rácsos tartók övéként is jól alkalmazható. A Vierendel-jellegű (d) szelvény szintén praktikus, önállóan is sok helyütt alkalmazzák (pl. elektromos vezetéktartó oszlopként).

A csomóponti bekötések egyaránt lehetnek hegesztettek, szegecselvek, vagy csavarozottak.

Az U-tartók illesztését célszerű hegeszteni. Ilyenkor belülről kell élezni és először hegeszteni, mert a gyökkimunkálás csak a külső oldalról hajtható végre. Egyebekben - értelemszerűen - érvényesek az I-tartókra elmondottak (dusulás, hevederes kapcsolat stb.).

9.1.3 Szögacélok, L-acélok

A szögacélok szerepe a tárgyalt területen hasonló az U-acélokéhoz. Szintén csak a hengerelt L-acél ajánlható, hegesztéssel előállítani (mivel a szelvény az egyik fő tengelyre sem szimmetrikus, nagy deformációk keletkeznek) igen költséges.

Súlyos hiba a szögacélt hegesztett szerkezeteknél - a szegecselvek mintájára - merőleges elemek (pl. öv-gerinc) kapcsolatának létrehozásához alkalmazni.

A hengerelt szögacélok egyszerű rácsos szerkezetek rudelemeként, esetleg övéként jól megfelelnek. A 191. ábrán bemutatunk erre néhány megoldást, feltüntetve a csomóponti kiképzést is.

Egyetlen szögacélból álló szelvény (a) bekötésének változatait szemléltetik az $a_1 - a_4$ ábrák. Az a_1 a legolcsóbb, de a legkülönbözőbb is. A többi ilyen szempontból kedvezőbb, de a szár felhasítása költséges. A b szelvény kedvező, a c és d mindkét tengelyre szimmetrikus. Az e a legkedvezőbb inerciájú, de a legdrágább megoldás, még akkor is ha a két szögacélt csak szakaszos varrattal fűzzük össze. A bekötések itt is lehetnek hegesztettek, szegecselvek vagy csavarozottak. A szögacél toldása az U-acélhoz hasonló szempontok szerint végezhető.

9.1.4 T-szelvények

A hengerelt T-szelvény ritkán kerül alkalmazásra a tárgyalt területen. A párhuzamos öv (Peine) I-tartó szétvágásából nyert, illetve a hegesztéssel előállított szelvény már gyakori - főként rácsos tartók övéként, valamint lemezes szerkezetek me-revítőjeként.

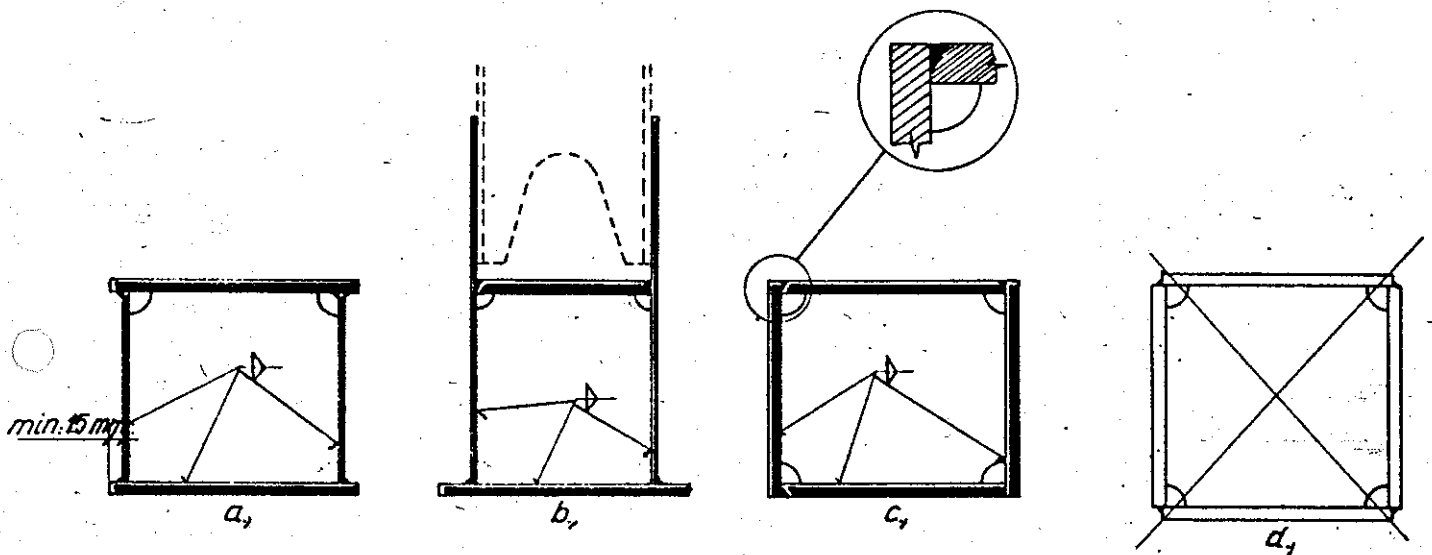
Illesztésére érvényes mindaz, amit az I-tartó illesztésére vonatkozóan elmondtunk. Csomóponti bekötések a gerinc (esetleg az öv) kivágásával és tompavarratos kapcsolattal oldható meg.

9.1.5 Szekrénytartók

A szekrénytartók két csoportba oszthatók aszerint, hogy nem járhatók, vagy járhatók.

A nem járható szekrénytartók önmagukban igen kedvező szelvények, de az illesztésük és csomóponti bekötésük nehézkes.

A 192. ábra néhány változatot ad a nem járható szekrényes szelvény kialakítására.



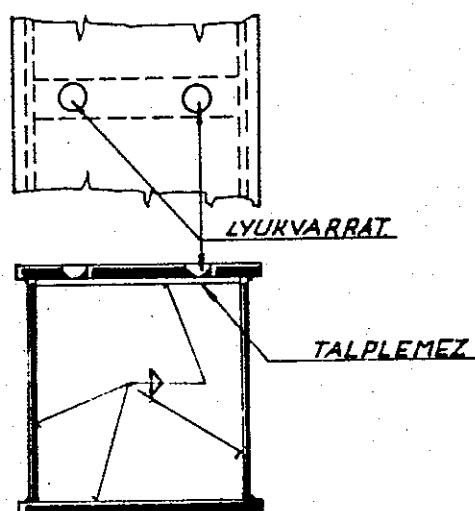
192. ábra

Szekrénytartók kialakítása

Gyártási szempontból legkedvezőbb az "a" jelű szelvény. Rácsos tartók övéként leginkább a "b" változatot alkalmazzák. A "c" kivétel technikailag nem túl előnyös. Felhívjuk itt a figyelmet a nyakvarratra mely - ha nem indokolt - ne legyen teljes keresztmetszet mélységű (feleslegesen nagy a varratvolumen és fedettvív automata - legalább is az alapsorhoz - nem alkalmazható, mert átrozkad a fürdő). A d jelű megoldás he-

gesztéstechnikailag a legkedvezőtlenebb, nem javasoljuk. .

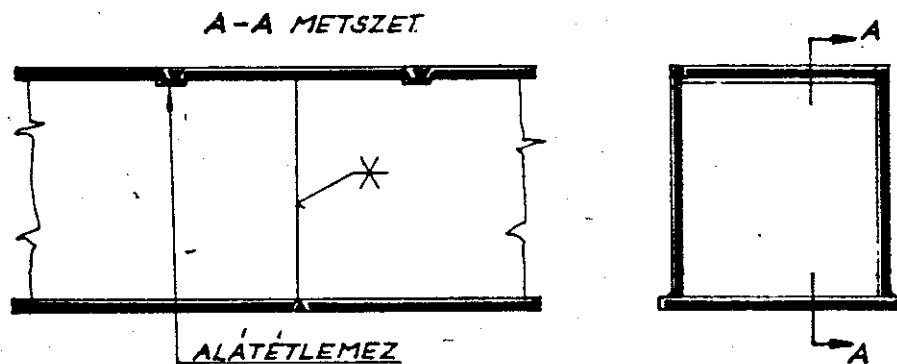
Fontos gyártási szempont, hogy - ha statikailag szükségtelen is - mindig tervezzünk diafragmát, mert a szelvény összeállításánál ez nagy segítséget jelent. Természetesen a diafragma csak három oldalon hegeszthető be. Ha a negyedik oldalt is szükséges bekötni (pl. vékonyfalú nyomott rudnál), talplemezt kell a diafragmára hegeszteni és lyukvarratot alkalmazni (193. ábra).



193. ábra

Megoldás a diafragma mind a négy oldalhoz való hozzáhegesztésére

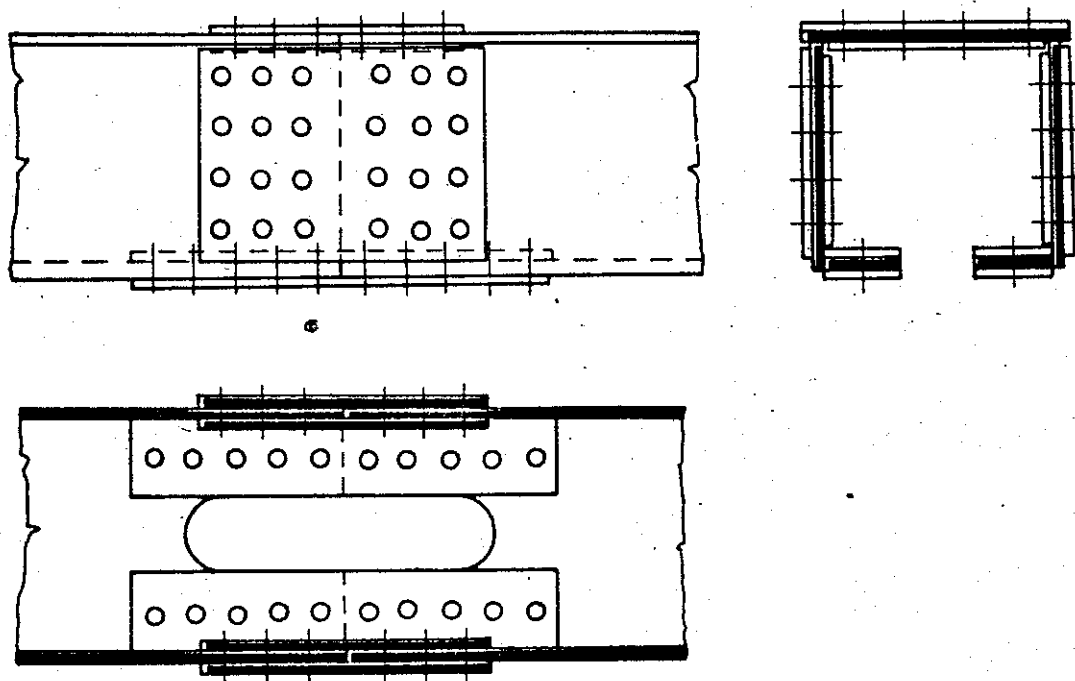
A nem járható szekrényes tartók hegesztéssel készülő illesztése alátétlemezes varrattal oldható meg. Ennek egyik változata, hogy a negyedik oldalon "ablak"-ot hagynak. Így három illesztés mindkét oldalról hozzáférhető és csak a negyedik elemet kell - egy oldalról, két helyen, alátétlemezzel - meghegeszteni (194. ábra).



194. ábra

Szekrényes szelvény hegesztett helyszíni illesztése

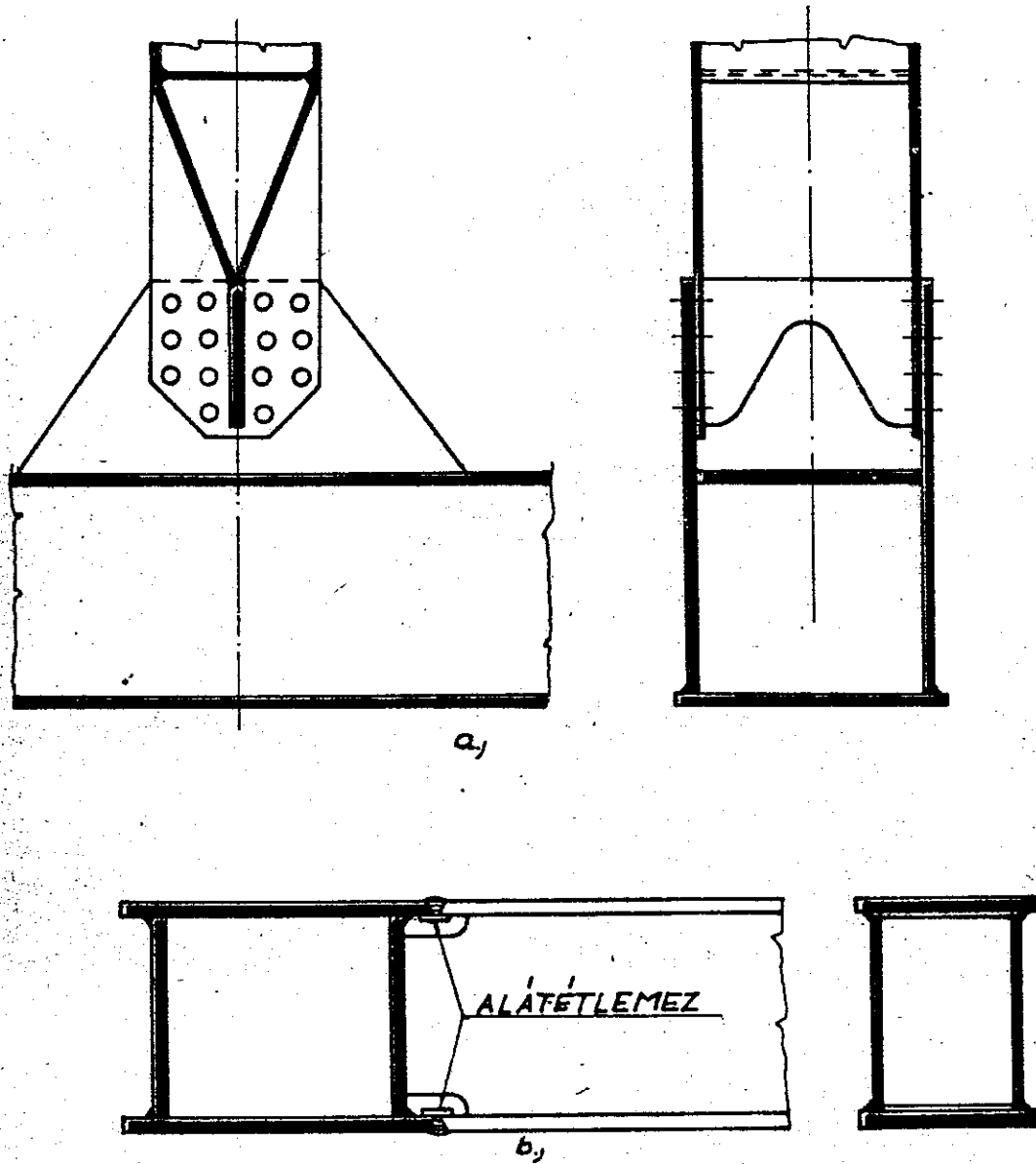
Amennyiben az illesztés csavarozott (általában NF) az egyik elemen nyílást kell hagyni a csavaranyák elhelyezésére, ill. a kulcs céljára (195. ábra).



195. ábra

Szekrényes szelvény csavarozott helyszíni illesztésének kialakítása

Csomóponti kiképzés-re ad megoldást csavarozott és hegesztett bekötések esetén a 196. ábra.



196. ábra

Szekrényes szelvények csomóponti kialakításai ("a": csavarozott; "b": hegesztett)

A csavarozott megoldásnál (a) a hozzáférhetőség miatt a bekötendő rud gerinceit össze kell huzni és az övbe csomólemezeket kell belktatni. (Ezek fárasztott szerkezet esetén is csatlakozhatnak.)

A hegesztett változatnál az öveket alátétlemezes varrattal, a gerinceket sarok- (esetleg 1/2K-) varrattal lehet bekötni.

A járható szekrénytartók más szempontok szerint szerkesztendők. Ezeket a lemezes szerkezeteknél tárgyaljuk.

9.1.6 Csőszelvények

A csőszelvény fő előnye, hogy inerciája a legkedvezőbb. Hátránya viszont, hogy illesztése, csomóponti kiképzése viszonylag munkaigényes.

Itt is különbséget kell tenni a méretek alapján, aszerint, hogy nem járható, vagy járható csőről van szó.

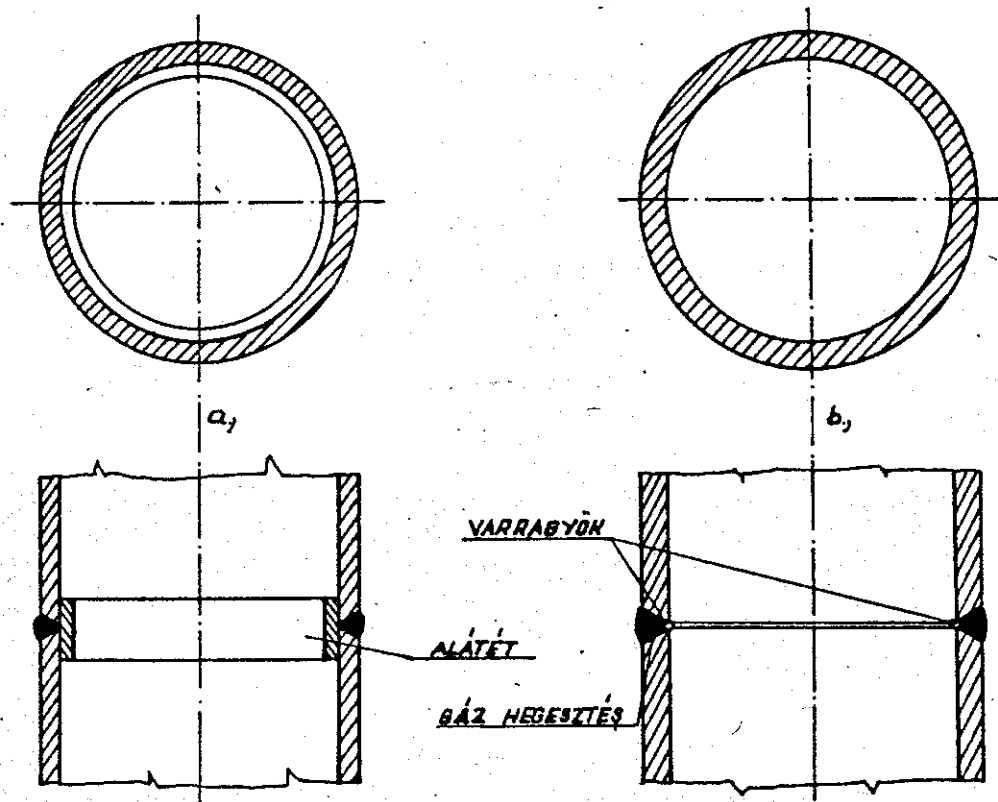
A nem járható csőszelvények illesztése legkedvezőbbben alátétlemezes tompavarrattal oldható meg. Amennyiben az alátétlemez nem engedhető meg (pl. a belső keresztmetszet szűkítése, stb.), úgy - megfelelő pontosságú illesztés mellett - a gyököt AWI (Argonvédőgázos Wolfram elektródás ívhegesztés) -, vagy - hagyományos módon - gázhegesztéssel kell elkészíteni. A töltősorok már a szokványos ívhegesztő eljárások valamelyikével is lerakhatók (197. ábra).

Egyszerűbb esetekben hevederes kötés is kielégítő lehet. Ennél vagy a csőre huzható - esetleg két féldarabból álló - csővel, vagy több - az illeszkedő cső palástjából kialakított - hevederrel, sarokvarrattal oldjuk meg a feladatot. A hevederezés mellett azért célszerű az alapszelvényeket kívülről egyoldali (várhatóan erősen gyökhibás) varrattal összehegeszteni (198. ábra).

Amennyiben oldható, ill. szereléskor könnyen elkészíthető kapcsolat szükséges, homloklemezes megoldáshoz folyamodhatunk. Ilyenkor azonban gondosan ügyelni kell arra, hogy a talplemezek síkjai a csőtengelyre pontosan merőlegesek legyenek (199. ábra).

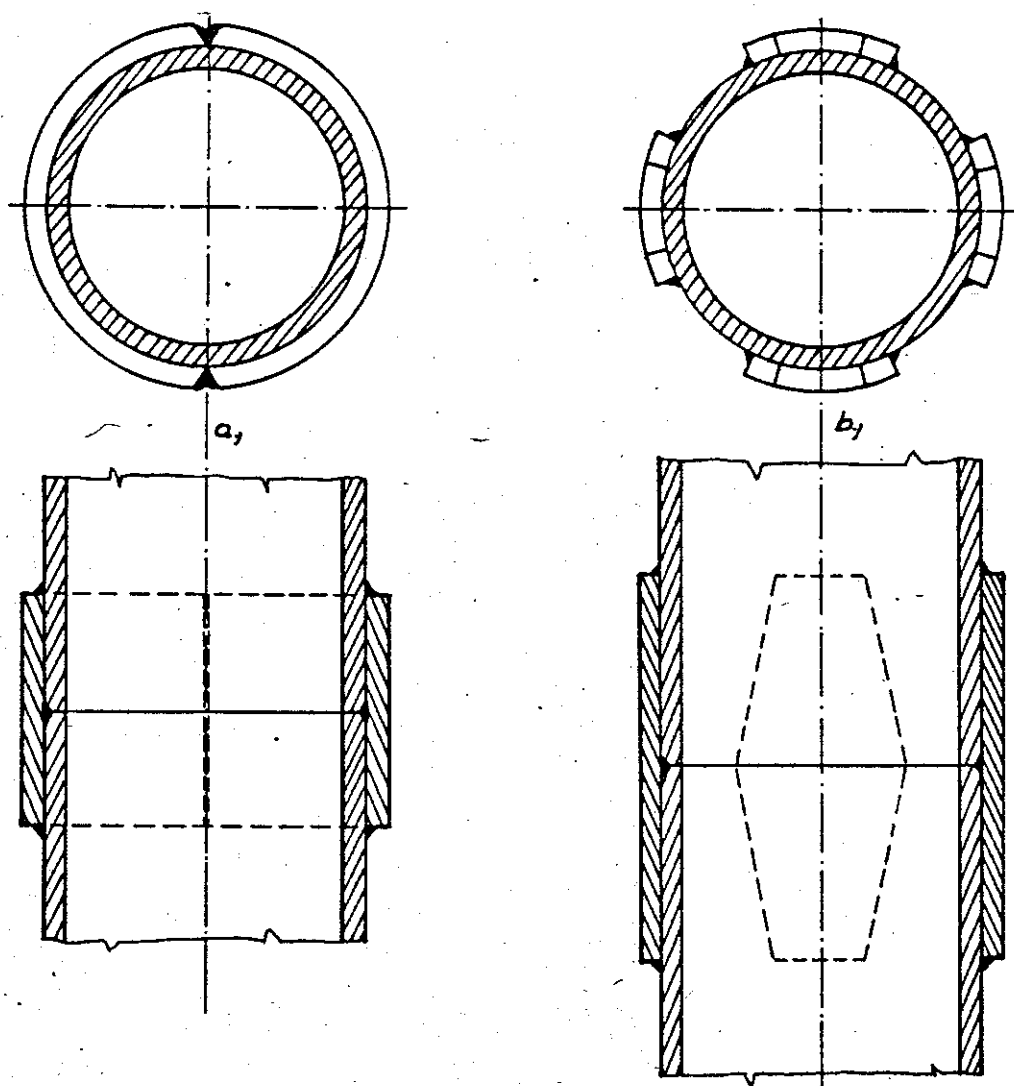
A csomópontok vagy közvetlen áthatással, vagy csomólemezzel alakíthatók ki.

A közvetlen áthatás - mely esetleg még merevítő lemezekkel is megerősíthető - kétségkívül előnyösebb, de a csővégek kialakítása igen bonyolult (200. ábra). Erre léteznek kitűnően működő olyan lángvágó automaták, vagy forgácsolással működő berendezések, melyek az áthatás varratkiképzését is elvégzik. Alkalmazásuk azonban csak nagyobb darabszám esetén kifizetődő.



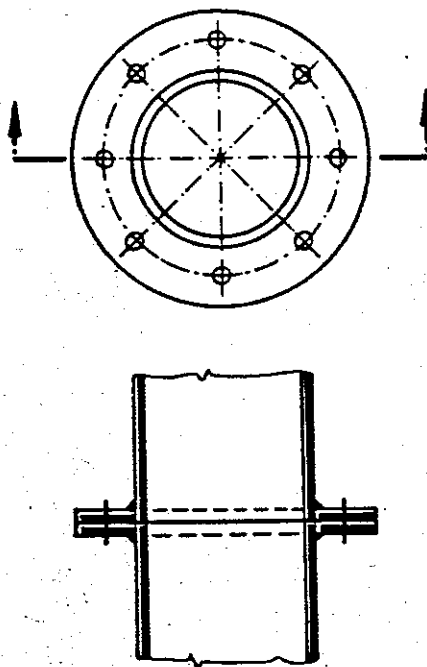
197. ábra

Csőszelvények hegesztett tompaillesztése ("a": alátétlemezzel;
"b": gondosan elkészített varratgyökkel)



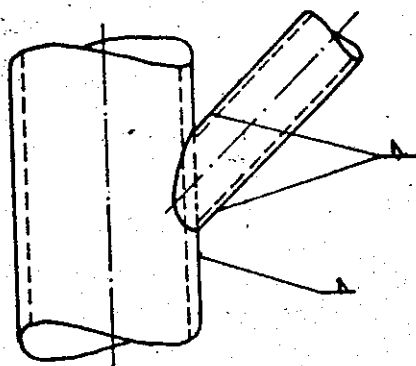
198. ábra

Csőszelvények hevederes illesztése ("a": közbenő gyűrűvel;
"b": különálló hevederekkel)



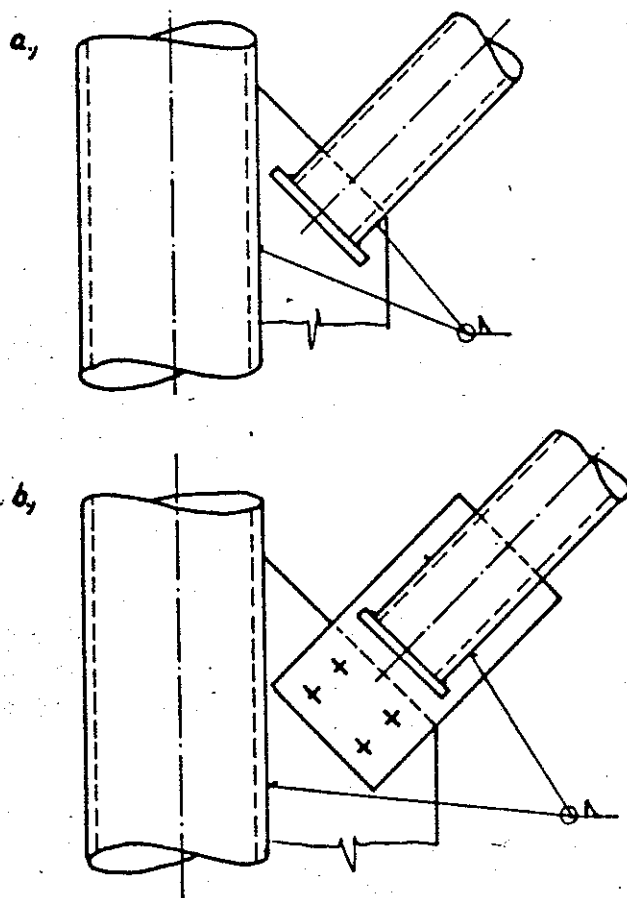
199. ábra

Csőszelvények illesztése homloklemezzel



200. ábra

Csőszelvények csomóponti csatlakozása áthatással



201. ábra

Csőszelvények csomóponti kialakítása csomólemezzel
 ("a": hegesztett; "b": csavarozott bekötéssel)

A csomólemezes megoldás egyszerűbben kivitelezhető. A rácsok csatlakozása hegesztett kötéssel azok felhasítása után, esetleg csavarozott kötéssel azokba előre behegesztett csomólemezek útján történhet (201. ábra).

A járható csövek illesztése minden esetben tompavarratos kell legyen. A munka egyszerűsítése, illetőleg az illesztési hibák kiküszöbölése céljából esetleg itt is alkalmazható alátétlemez. Amennyiben rácsos tartóról van szó, a csomóponti kiképzésnél itt már az áthatásos kivitel célszerű választani.

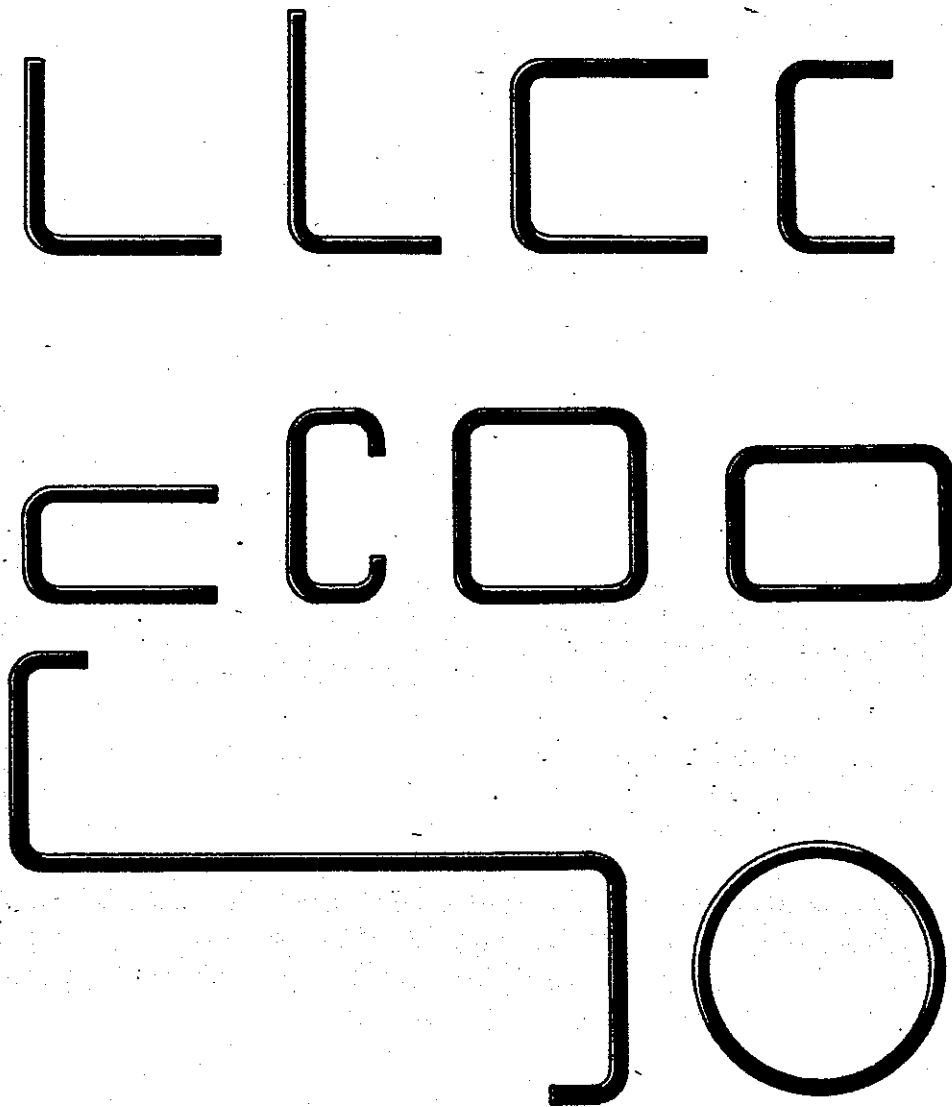
9.1.7 Hídegen alakított idomacélok

A korszerű hídegen alakított szelvények általában igen gazdaságos, szakszerű megoldást nyújtanak.

Kétféle csoport különböztethető meg:

- hideghengerléssel és az
- élhajlítással

létrehozott szelvények. Az előbbiek közül néhány - ellenálláshegesztéssel - zárt szelvényként kerül forgalomba. A Duna Vasmű 5 mm falvastagságig különböző - főként a könnyű-acélszerkezet építésben - jól használható nyitott és zárt szelvényt állít elő (202. ábra).



202. ábra

A Duna Vasmű különféle hídegen hajlított (és hegesztett) szelvényei

A nagyobb falvastagságú és méretű szelvényeket élhajlítással lehet kialakítani. Ezzel az eljárással (speciális szerszámok segítségével) a legkülönbözőbb szelvények (még zárt szelvények is) előállíthatók. Ezek közül az acélszerkezet építésben főként a lemezes szerkezetek merevítéséül alkalmazott L- és trapéz szelvények terjedtek el.

9.1.8 Lemezes szelvények

Amint azt már a bevezetőben is hangsúlyoztuk a korszerű hegesztett acélszerkezetek jelentékeny része hossz- és keresztirányú bordákkal merevített lemezekből - esetleg szekrényes, zárt elrendezésben - kerül kialakításra.

A lemezek gyári illesztése minden esetben hegesztéssel, tompavarrattal történik. Megfontolandó itt a varratminőség és annak ellenőrzése. Általában szigorubb követelményeket szokás támasztani a főerőkre merőleges irányú és enyhébbeket az azokkal párhuzamos irányú varratokkal szemben. (Ez utóbbinál csaknem mindig kielégítő a III. o varrat és az ultrahang vizsgálat.)

A lemezek helyszíni illesztése hegesztéssel, csavarozással (főként NF), esetleg szegecseléssel történhet. E kapcsolati módokkal részletesen foglalkoztunk a 8.4 pontban, ezért itt csak arra térünk ki, hogy a hegesztett illesztés esetén a - fejfeletti varratok elkerülése érdekében, továbbá az illesztési pontatlanságok kiküszöbölése céljából - a vízszintes lemezek kötésénél (ha a fáradási igénybevétel, vagy egyéb szempontok ezt megengedik) célszerű az alátétlemezes varratforma alkalmazása.

A lemezek hosszirányú bordázásaként leginkább a

- laposacél
- L-acél
- trapéz szelvény
- T-szelvény

alkalmazása ajánlható. Ennek megválasztásánál - a statikai szempontok mellett - a szelvény előállításának és illesztésének költségeit és lehetőségeit célszerű vizsgálni.

A laposacél kiviteli szempontból a legkedvezőbb, de merevsége sok esetben nem kielégítő. Illesztése tompavarrattal vagy hevederrel, csavarozással, szögeccseléssel oldható meg.

Az L-acél merevsége többnyire elég. Előállítása - ha hengerelt szelvény nem áll rendelkezésre - élhajlítással, illesztése tompavarrattal, vagy - heveder szelvény alkalmazása mellett - csavarral, szögeccsel történhet.

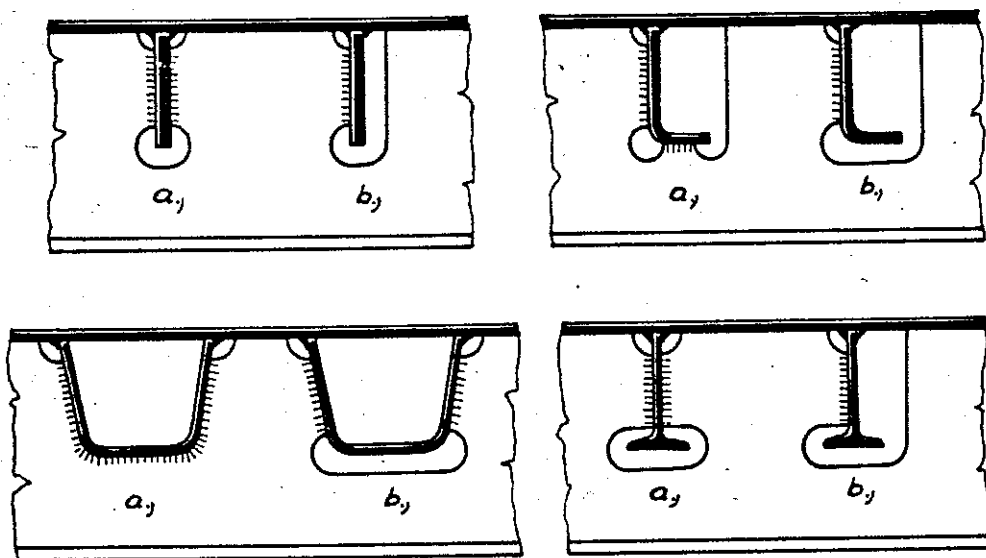
A trapéz szelvény előállítása hengerléssel (hazánkban így nem készül), vagy élhajlítással történik.

A trapéz szelvény inerciálisan a legkedvezőbb. További előnye, hogy csak fele mennyiségű varrat kell a lemezhez való felhegesztéshez mint a nyitott szelvényeknél. Illesztése viszont meglehetősen bonyolult: vagy alátétlemezes tompavarrattal, vagy - megfelelő nyílás kiképzése mellett - hevederrel és csavarozással történhet.

A T-szelvény merevsége kedvező. Előállítása viszont - amennyiben hegesztéssel és nem hengerléssel történik (a hazai választék ilyen szempontból nem kielégítő) - költséges. Praktikusan alkalmazható - ahol ilyen van - a félbevágott Peine tartó. A T-szelvény illesztése is meglehetősen bonyolult, akár hegesztéssel, akár csavározással vagy szegeccseléssel történik.

Ezen okok miatt a T-szelvényt hosszirányú merevítésként ritkábban alkalmazzák. A keresztirányú merevítések azonban csaknem kizárólag hegesztett T-szelvényből készülnek.

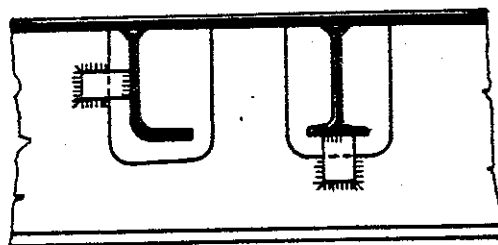
A lemezes szerkezetek kialakításánál nagy gondot kell fordítani a hossz- és keresztirányú merevítések találkozásának megoldására. Ez egyrészt feszültséggyűjtő hely, tehát - különösen fáradási igénybevételnek kitett szerkezetek esetében - "gyenge" pont, másrészt nagymértékben befolyásolja a gyártási költségeket. A 203. ábrán néhány megoldást bemutatunk.



203. ábra

Lemezes szerkezetek hossz- és keresztirányú merevítésének kialakításai

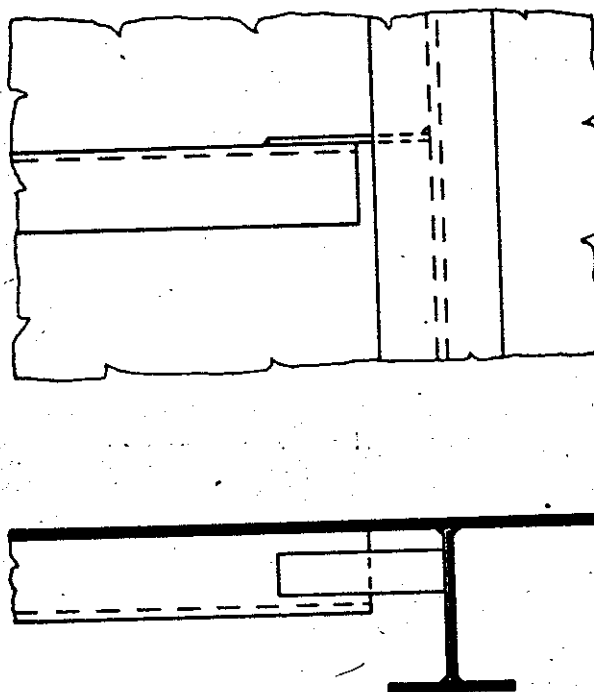
Kiviteltechnikai szempontból, ill. saját feszültségek tekintetében mind a négy esetben a "b" megoldás a kedvezőbb. A több oldalon való illeszkedés ugyanis - a gyártási pontatlanságok miatt - mindig nehézségekbe ütközik. Vagy sok utánmunkálást igényel, vagy - hézagos illeszkedés esetén - fennforog a bekötő varrat megrepedésének veszélye. Részben e problémák kiküszöbölése, részben pedig a gyári összeállítás (jelentékeny mérvű) megkönnyítése céljából igen kedvező a keresztmegerítőhöz való csatlakozást bekötő lemezkével megoldani (204. ábra). Bár ez a változat fáradást szilárdság tekintetében gyengébb, előnyét következtében egyre gyakrabban kerül alkalmazásra.



204. ábra

Megoldás a hossz- és keresztirányu merevítések könnyen kivitelezhető kapcsolatára

Hasonló módon előnyös gyártási szempontból, és ezért gerincek vízszintes és függőleges merevítéseinek csatlakozásánál gyakran alkalmazzák azt a megoldást, amikor a keresztirányu merevítést nem vágják ki, és a vízszintest ehhez bekötőlemezzel csatlakoztatják (205. ábra).



205. ábra

Hossz- és keresztmerevítés egyszerűen kivitelezhető csatlakoztatása

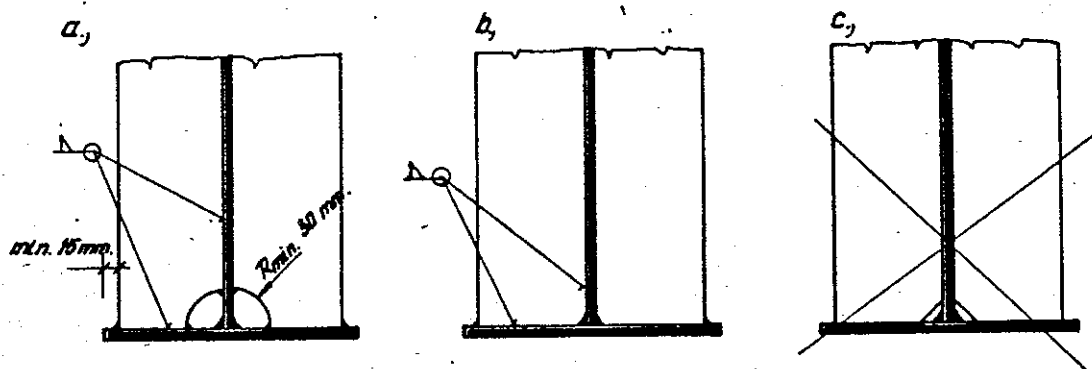
9.2 Szerkesztési szempontok

Az előző pontban a szelvényalakítás szempontjaival foglalkoztunk. Itt a részletszerkesztés további néhány apróbb - korábban nem említett, gyakran előforduló, és kivétel vonatkozásban fontos - kérdését tárgyaljuk.

9.2.1 Merőlegesen csatlakozó elemek találkozásának kialakítása

A sarokvarratok találkozását a közelmúltban még tiltották, mivel a - hegesztési zsu-
gorodásokból származó - többtengelyű feszültségállapot repedéseitől tartottak. Ezért
a sarokpontokban a - még ma is élő - kivágásokhoz folyamodtak (206/a ábra). Az
ujabb kutatások azonban rávilágítottak arra, hogy - megfelelően képlékeny hegesztő-
anyag és helyes hegesztési munkarend esetén - a varratlálkozások (206/b ábra)
nem veszélyesek, sőt - különösen fárasztó igénybevétel esetén, amikor a saját fe-
szültségük hamar leépülnek - kevésbé kedvezőtlenek, mint a kivágások, melyek fo-
kozott és változatlanul megmaradó feszültséggyűjtő helyként szolgálnak.

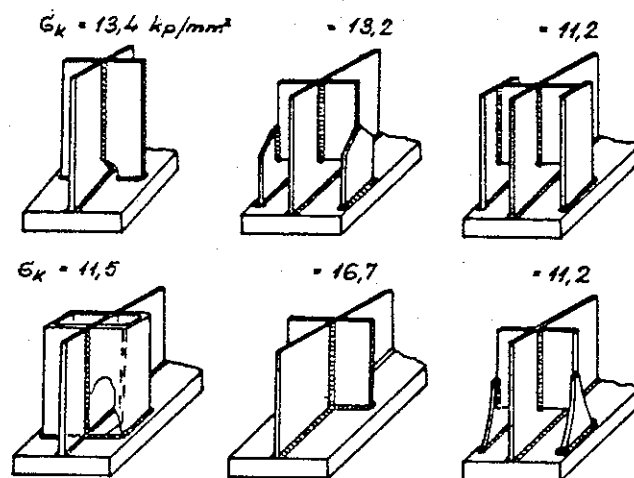
Statikusan igénybevett szerkezeteknél a kivágások továbbra is előnyösek, ha a varrat-
körbevezetés jól kivitelezhető. Ennek érdekében min. 30 mm-es, lehetőleg 40-50 mm
sugaru kivágásokat kell alkalmazni. Tilos (bár olcsóbb) a 45° -os ferde lecsapás
(206/c ábra) mert a varratkörbevezetés itt nem végezhető el megnyugtató módon, a
sarokban igen éles bemetszés képződik és (már hegesztéskor) fennáll a repedésve-
szély.



206. ábra

I-tartók függőleges bordáinak az övlemezhez való csatlakoztatása ("a":
negyedkör alakú kivágással; "b": körbevezetett varratokkal; "c": 45° -os
lecsapással, tiltott megoldás)

Az előzőekben elmondottakkal részben összefügg annak a korábbi elvnek a felülbírá-
lata, mely szerint huzott elemeken (pl. hajlított tartó alsó övlemezén) a keresztirá-
nyu varratot kerülni kell. Az IIW (Nemzetközi Hegesztési Intézet) ben ismertetett
vizsgálatsorozat eredményét a 207. ábrán szemléltetjük. Egyértelmű a kivágásnál,
ill. az alsó övlemezhez keresztirányban hegesztett kialakítás legkedvezőbb fáradási
szilárdsága. Fontos feladat ennek a kutatási eredménynek a gyakorlati életbe történő
átültetése.



207. ábra

Hajlított I-tartók függőleges bordáinak a húzott övlemezhez való különböző kapcsolataival elérhető fáradási szilárdságok

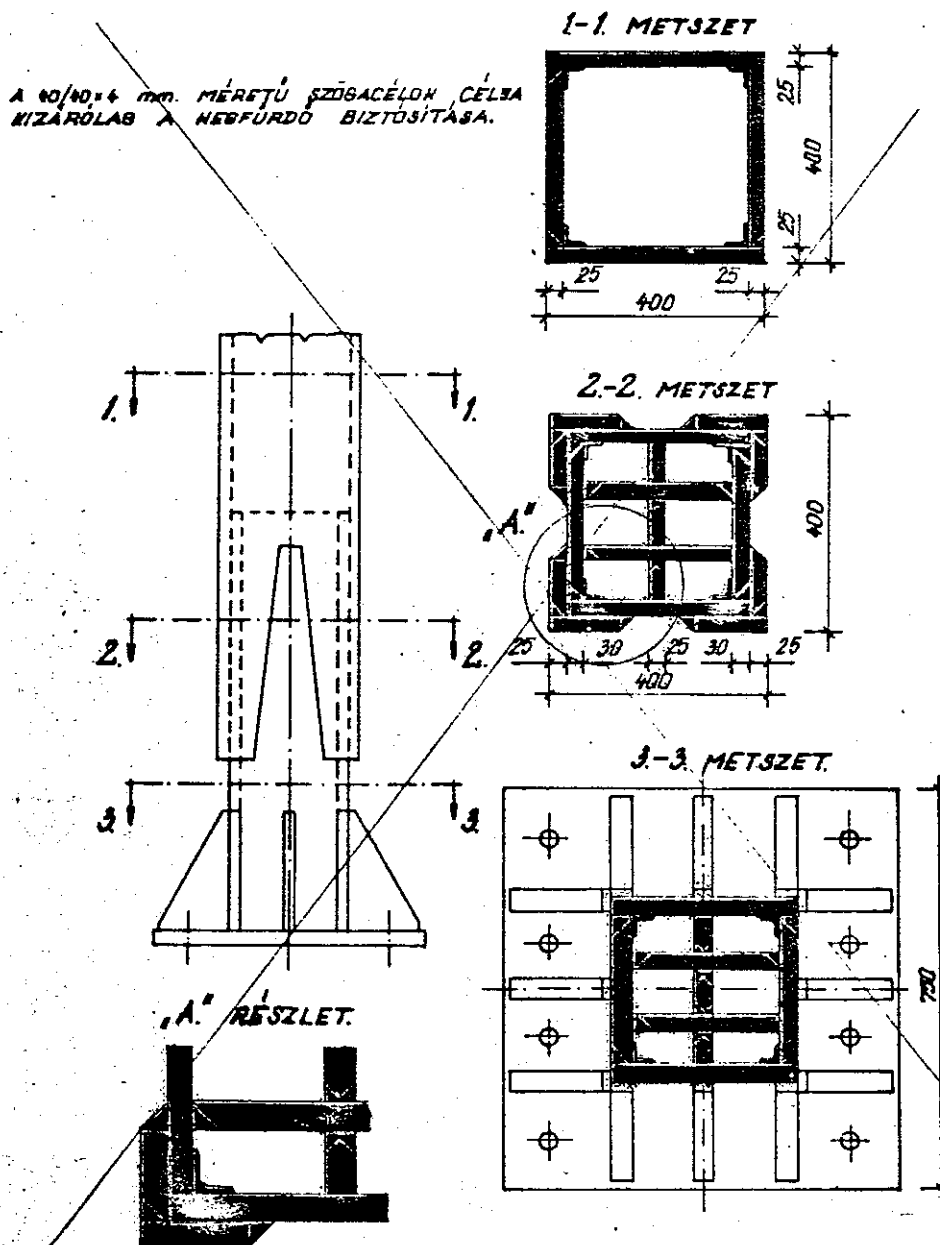
Fontos szerkesztési szabály, hogy a bordák ne érjenek ki az övlemez széléig, hanem ott legalább 15 mm hely maradjon, hogy a sarokvarrat körbevezethető legyen (lásd a 218/a ábrát).

9.2.2 Tétel és választékszükitési kérdések

E helyen újból hangsúlyozzuk annak a – már a bevezetőben is említett – szempontoknak fontosságát, hogy ujabban inkább a munkaerő-takarékosságra, mint az anyag-takarékosságra kell törekedni. Ennek a tervezés minden területén szem előtt tartandó – végső soron a gazdaságosságot befolyásoló – irányelvnek alapján pl. el kell kerülni a felesleges lemeztoldásokat: néhány kilogramm anyag megtakarítása érdekében nem célszerű a kisebb igénybevételű helyen vékonyabb lemezt alkalmazni, mert a hegesztett illesztés a megtakarított anyag értékénél jóval többbe kerül.

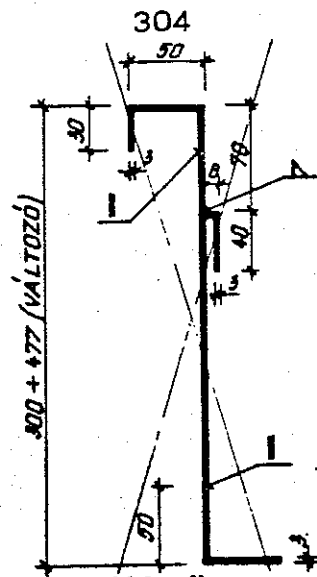
Az előzőekben említett szemponthoz kapcsolódik az, hogy – különösen egyedi gyártás és kis darabszám esetén – a lehetőség szerinti minimális mennyiségű anyagféleséget (méret, szelvény, minőség) kell betervezni, mert a beszerzés, raktározás, kezelés költségei igen jelentősek. A ritkán előforduló kis mennyiségek gyártását a hengerművek nem vállalják – érthetően, hiszen ilyen esetben a hengersor átállítása a legyártott tétel értékénél nagyobb veszteséget okoz.

A hengerművek általában kerek méretű (1000, 1250, 1500, 1750, 2000 mm stb.) szélességű lemezeket gyártanak, ellenkező esetben felárat kell fizetni. Célszerű tehát olyan elemeknél, melyeknél a keresztirányú méret tartása fontos (pl. gerincek), a kerek méret helyett mintegy 20 mm-rel keskenyebb szelvényt tervezni. Ezesetben ugyanis a megmunkálást ráhagyással növelt méret fogja adni a – felár nélkül – kerek rendelési méretet. Ugyanígy, a hosszaknál is a kerek méretnél 40-100 mm-rel rövidebb méretek a célszerűek.



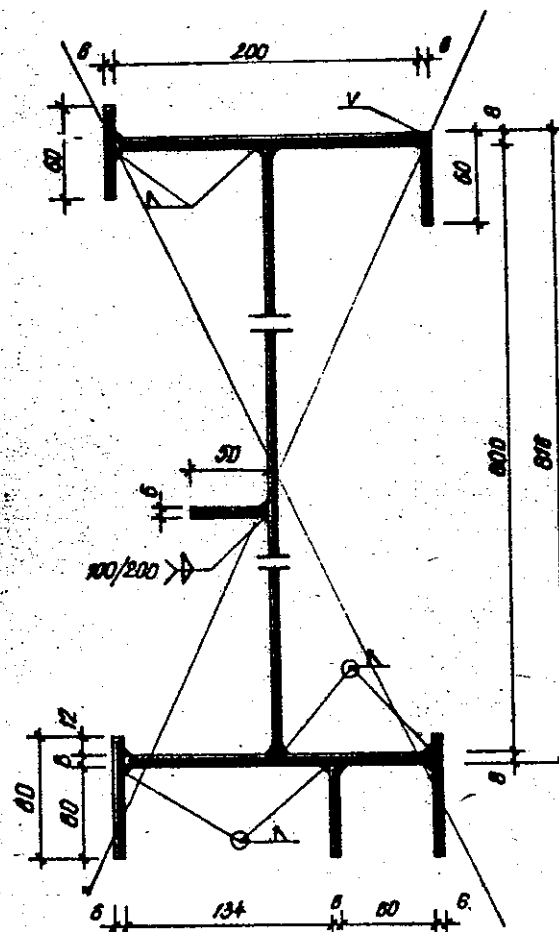
209. ábra

Épület oszlop



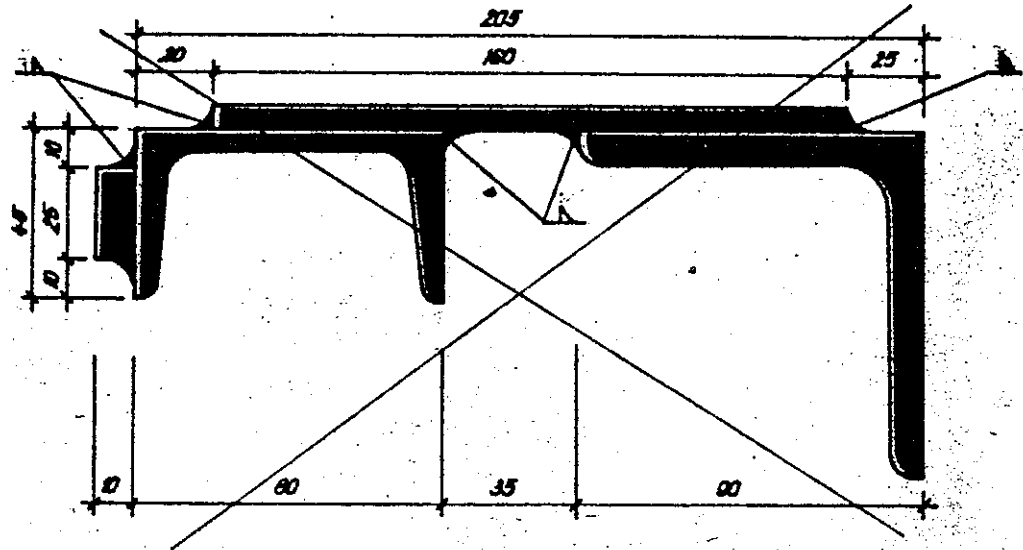
210. ábra

Falváz szelvény



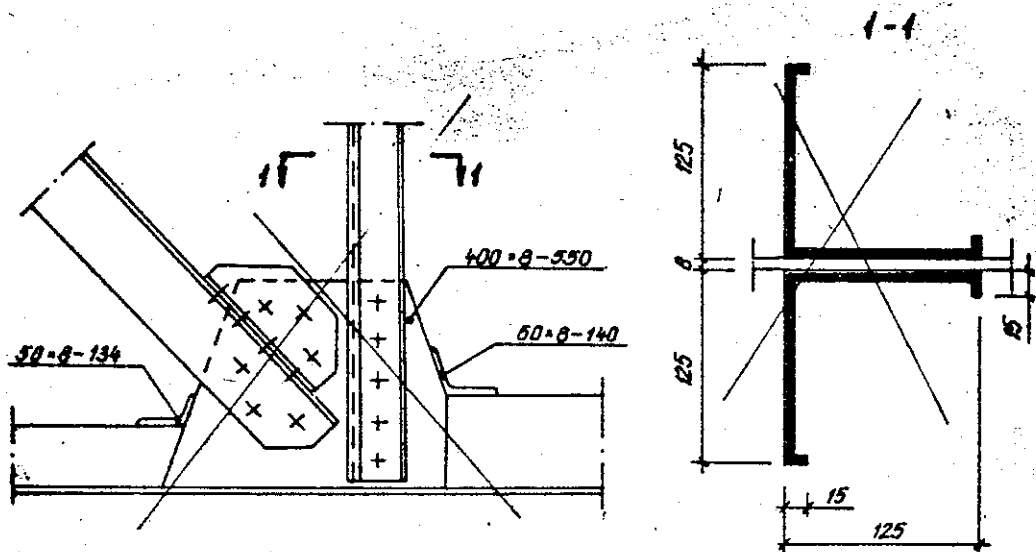
211. ábra

Épület szelemen



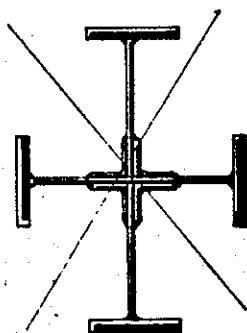
212. ábra

Hídkorlát kézléce (vizsgálókocsi-pályával)



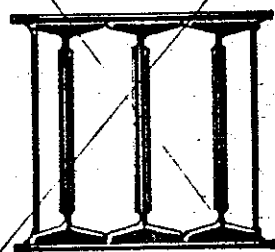
213. ábra

Rácsos szaruzat csomópontja



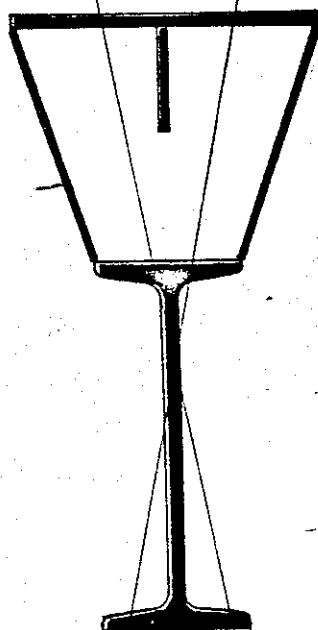
214. ábra

Épületeszlop szelvénye



215. ábra

Épületeszlop szelvénye



216. ábra

Alulfutó-macskás daru főtartójának szelvénye

TARTALOMJEGYZÉK

1. Bevezetés

- 1.1 A hegesztett acélszerkezetek sajátosságai
 Ujszerű követelmények a tervezés, gyártás, szerelés területén
 - 1.1.1 Tervezés
 - 1.1.2 Gyártás
 - 1.1.3 Szerelés
- 1.2 A szerkezetépítés helyzete külföldön és hazánkban
 - 1.2.1 Külföldi helyzet
 - 1.2.2 Hazai helyzet

2. A hegesztett acélszerkezetek alapanyagai

- 2.1 A vas- és acélgyártás
- 2.2 Az acél mechanikai tulajdonságai és azok vizsgálata
 - 2.2.1 Szakítóvizsgálat
 - 2.2.2 Hajlító vizsgálat
 - 2.2.3 Bemetszett próbatest ütővizsgálata
 - 2.2.4 Keménységmérés
 - 2.2.5 Fáradásvizsgálat
- 2.3 Az acél fémtani szerkezete, hő hatására abban végbemenő változások, ezek hatása a mechanikai tulajdonságokra
 - 2.3.1 A tiszta vas
 - 2.3.2 Az acél
 - 2.3.2.1 Egyensúlyi átalakulások
 - 2.3.2.2 Egyensúlytól eltérő átalakulások
 - 2.3.2.2.1 Izotermás átalakulási diagram
 - 2.3.2.2.2 Folyamatos lehűlési diagramok
 - 2.3.2.3 Szövetszerkezeti változások képlékeny alakítás hatására
 - 2.3.2.4 Öregedés
 - 2.3.2.5 Hőkezelések
 - 2.3.2.5.1 Normalizálás
 - 2.3.2.5.2 Edzés- megeresztés (nemesítés, lágyítás)
 - 2.3.2.5.3 Feszültségmentesítés
- 2.4 Az acél vegyi összetétele. Ötvözők és szennyezők hatása a mechanikai tulajdonságokra
- 2.5 A szerkezeti acélok hegeszthetősége
 - 2.5.1 Az acélok hegeszthetőségének alapelvei
 - 2.5.2 Az acél hegeszthetőségi vizsgálata
- 2.6 A szerkezetépítés főbb hazai és külföldi acéltípusai
 - 2.6.1 Hazai szerkezeti acélok
 - 2.6.2 Külföldi szerkezeti acélok

2.7 Acélöntvények

3. Acélszerkezetek hegesztett kötése

- 3.1 Kötéstípusok, azok szerkezetbeni viselkedése
- 3.2 A varrat és a hőhatásövezet
- 3.3 A hegesztéstechnológia elemeinek hatása a kötés mechanikai tulajdonságaira
 - 3.3.1 Az élkiképzés szerepe
 - 3.3.2 A hegesztő eljárás szerepe
 - 3.3.3 A hegesztőanyagok szerepe
 - 3.3.4 A hegesztési munkarend szerepe
- 3.4 A hegesztett kötések hibái
- 3.5 A hegesztett kötések vizsgálatának módszerrel
 - 3.5.1 Roncsolásmentes vizsgálatok
 - 3.5.2 Roncsolásos vizsgálatok

4. Az acélszerkezetek rideg törése

- 4.1 A törés módjai
- 4.2 Ridegtörési esetek
- 4.3 A ridegtörés feltételei, vizsgálati módszerrel
 - 4.3.1 Repedési érzékenység
 - 4.3.2 Ridegtörési érzékenység
 - 4.3.3 Az acélkiválasztás korrelációs rendszerrel
- 4.4 A ridegtörés elkerülésével kapcsolatos tervezői és kivitelezői feladatok

5. Hegesztési zsugorodások, feszültségek és alakváltozások

- 5.1 Hő hatására az acélban keletkező térfogatváltozások és feszültségek
- 5.2 Hegesztési zsugorodások és alakváltozások
 - 5.2.1 Hossz-zsugorodás
 - 5.2.2 Kereszt-zsugorodás
 - 5.2.3 Szögzsugorodás
- 5.3 A hegesztési feszültségek
- 5.4 Megelőző módszerek a hegesztési alakváltozások csökkentésére
 - 5.4.1 Hegesztési sorrend
 - 5.4.2 Előfeszítés
 - 5.4.3 Előhajlítás (előtörés)
 - 5.4.4 Készülékezés
- 5.5 A hegesztett szerkezetek egyengetése
 - 5.5.1 Hídegegyengetés
 - 5.5.2 Melegegyengetés

Hegesztett szerkezetek mérethelyességének biztosítása

6. Az acélszerkezet-építésben használatos hegesztő eljárások

6.1 Kézi ívhegesztés

- 6.1.1 Az eljárás lényege
- 6.1.2 Az eljárás berendezései
- 6.1.3 Hozaganyagok
- 6.1.4 Hegesztéstechnológia

6.2 Fedettívü hegesztés

- 6.2.1 Az eljárás lényege
- 6.2.2 Az eljárás berendezései és segédeszközök
- 6.2.3 Hozaganyagok
- 6.2.4 Hegesztéstechnológia
 - 6.2.4.1 Hegesztési paraméterek
 - 6.2.4.2 Tompavarratok hegesztése
 - 6.2.4.3 Sarokvarratok és K-varratok hegesztése
 - 6.2.4.4 Varrathibák
- 6.2.5 Az eljárás előnyei, hátrányai, alkalmazási területe

6.3 A CO₂-védőgázas hegesztés

- 6.3.1 Az eljárás lényege
- 6.3.2 Az eljárás berendezései és segédeszközök
- 6.3.3 Hozaganyagok
- 6.3.4 Hegesztéstechnológia
- 6.3.5 Az eljárás előnyei, hátrányai, alkalmazási területe

6.4 A hegesztő eljárás kiválasztásának műszaki-gazdasági kérdései

7. Hegesztett acélszerkezetek gyártása

7.1 A gyártástechnológia szerepe és kidolgozásának módjai.

A szakember feladatai

7.2 Főbb technológiai műveletek

- 7.2.1 Előrajzolás
- 7.2.2 Darabolás
- 7.2.3 Forgácsolás
- 7.2.4 Hideg- és melegalakítás
- 7.2.5 Részösszeállítás
- 7.2.6 Hegesztés
- 7.2.7 Egyengetés
- 7.2.8 Hőkezelés
- 7.2.9 Teljes összeállítás
- 7.2.10 Korrozíóvédelem
- 7.2.11 Jelölés, szállítás

7.3 Készülékezés

7.4 Minőségellenőrzés

7.5 A számítógépes acélszerkezet gyártás

8. Az acélszerkezetek helyszíni szerelése

8.1 A tervezés, gyártás, szerelés komplexitása

8.2 A szerelésgépesítés kérdéssel

8.3 Az acélszerkezet szerelés teheremelő berendezéssel

8.3.1 Szabadon mozgó emelőberendezések

8.3.2 Pályán mozgó emelőberendezések

8.3.3 Fix emelőberendezések

8.3.4 Emelési segédeszközök

8.4 Hegesztett szerkezetek helyszíni kapcsolatai

8.4.1 Hegesztett kapcsolatok

8.4.2 Szögecselt kapcsolatok

8.4.3 Csavarozott kapcsolatok

8.4.4 A helyszíni kötéstípus kiválasztásának műszaki-gazdasági szempontjai

9. Acélszerkezetek tervezése

9.1 Szelvényalakítás

9.1.1 I-tartók

9.1.2 U-tartók

9.1.3 Szögacélok, L-acélok

9.1.4 T-szelvények

9.1.5 Szekrénytartók

9.1.6 Csőszelvények

9.1.7 Hidegen alakított idomacélok

9.1.8 Lemezes szelvények

9.2 Szerkesztési szempontok

9.2.1 Merőlegesen csatlakozó elemek találkozásának kialakítása

9.2.2 Tétel és választékszüktítési kérdések

9.2.3 Szempontok tervezői előírásokhoz

9.2 Negatív példák szelvényalakításra

10. Szabványjegyzék

11. Irodalomjegyzék

10. Szabványjegyzék

10.1 Alapanyagvizsgálatok

- MSz 103-66 Acélok próbavétele mechanikai vizsgálatokhoz.
- MSz 105/1-72 Fémek, ötvözetek. Szilárdsági vizsgálatok. Szakítóvizsgálat.
- MSz 105/5-72 Fémek, ötvözetek. Szilárdsági vizsgálatok. Lemezek és szalagok szakítóvizsgálata.
- MSz 105/8-65 Fémek, ötvözetek. Szilárdsági vizsgálatok. Vickers szerinti mikrokeménység mérése.
- MSz 105/9-68 Fémek, ötvözetek. Szilárdsági vizsgálatok. Keménység Brinell szerint.
- MSz 105/11-66 Fémek, ötvözetek. Szilárdsági vizsgálatok. Keménységmérés Rockwell szerint.
- MSz 105/12-66 Fémek, ötvözetek. Szilárdsági vizsgálatok. Keménységmérés Vickers szerint.
- MSz 105/13-54 Fémek, ötvözetek. Szilárdsági vizsgálatok. Acélok Vickers, Brinell és Rockwell szerinti keménységének összehasonlító táblázata.
- MSz 105/14-72 Fémek, ötvözetek. Szilárdsági vizsgálatok. Fárasztóvizsgálat.
- MSz 105/15-69 Fémek, ötvözetek. Szilárdsági vizsgálatok. Alakítási öregedés vizsgálata, ütőpróbatesttel.
- MSz 105/16-66 Fémek, ötvözetek. Szilárdsági vizsgálatok. Bemetszett próbatest ütővizsgálata, szobahőmérsékleten.
- MSz 105/17-67 Fémek, ötvözetek. Szilárdsági vizsgálatok. Bemetszett próbatest ütővizsgálata, hűtött állapotban.
- MSz 105/19-71 Fémek, ötvözetek. Szilárdsági vizsgálatok. Fárasztóvizsgálat forgóhajtogatással.

10.2 Hegesztett kötések és hegesztési ömledék vizsgálata

- MSz 4309/1-75 Acélok hegesztett tompakötésének vizsgálata. Általános műszaki követelmények.
- MSz 4309/2-75 Acélok hegesztett tompakötésének vizsgálata. Szakítóvizsgálat.
- MSz 4309/3-75 Acélok hegesztett tompakötésének vizsgálata. Hajlítóvizsgálat.
- MSz 4309/4-75 Acélok hegesztett tompakötésének vizsgálata. Ütőmunka vizsgálat.
- MSz 4309/5-64 Acélok hegesztett tompakötésének vizsgálata. Keménységvizsgálat.
- MSz 4309/6-64 Acélok hegesztett tompakötésének vizsgálata. Fárasztóvizsgálat lüktető igénybevételre.

- MSz 4309/7-64 Acélok hegesztett tompakötésének vizsgálata. Szövetszerkezeti vizsgálat.
- MSz 4310/1-63 Hegesztett kötések. Roncsolásmentes vizsgálatok.
- MSz 4310/2-63 Hegesztett kötések. Roncsolásmentes vizsgálatok. Nagyítóval, olajos krétával, mágnesezhető porral való vizsgálat.
- MSz 4310/4-73 Hegesztett kötések. Roncsolásmentes vizsgálatok. Radiográfiai vizsgálatokkal kimutatott hegesztési hibák típusai és jelölésük.
- MSz 4310/5-76 Radiográfiai vizsgálattal kimutatott hibák megadása.
- MSz 4310/6-74 Hegesztett kötések. Roncsolásmentes vizsgálatok. Röntgen és gammasugarakkal való vizsgálat. Általános műszaki követelmények.
- MSz 7863-63 Roncsolásmentes vizsgálatok. Ultrahangos vizsgálat. Alapfogalmak.
- MSz 7864-64 Acél durvalemezek ultrahangvizsgálata impulzus visszhang módszerrel.
- MSz 7879-74 Fémek felületi hibáinak vizsgálata folyadékpenetrációs módszerrel.
- MSz 7918-69 Acélok ömlesztőhegesztéssel készített varratainak töretvizsgálata.
- MSz 15963-67 Fémek anyagok radiográfiai vizsgálata. Képmínőség meghatározása huzalsorokkal.
- MSz 17733-68 Ferromágneses anyagok hibavizsgálata mágnesezhető vizsgálóporral.

10.3 Hegeszthetőség vizsgálata

- MSz 4305-68 Acélok hegeszthetősége. Alapelvek.
- MSz 4308/1-74 Acélok hegeszthetőségi vizsgálata. Átmeneti hőmérséklet meghatározása ütővizsgálattal.
- MSz 4308/2-69 Acélok hegeszthetőségi vizsgálata. Hernyóvarratos hajlítóvizsgálat.
- MSz 4308/4-69 Acélok hegeszthetőségi vizsgálata. Hegesztési hőhatásövezet ütővizsgálata.
- MSz 4308/6-71 Acélok hegeszthetőségi vizsgálata. Sarokvarrat hőhatásövezete repedési hajlamlának vizsgálata.

10.4 Alapanyagszabványok

- MSz 29/2-64 Szavatolt minőségű varrat nélküli acélcsővek. Műszaki követelmények.
- MSz 29/3-64 Fokozott minőségű varrat nélküli acélcsővek. Műszaki követelmények.
- MSz 61-74 Betétben edzhető nemesíthető ötvözetlen acél. Minőségek és műszaki előírások.
- MSz 339-68 Melegen hengerelt betonacél.
- MSz 500-74 Általános rendeltetésű ötvözetlen szerkezeti acél.
- MSz 1741-69 Acélok kazánokhoz és nyomástartó edényekhez. Minőségek és műszaki előírások.
- MSz 1749-69 Meleg-szilárd acélöntvények. Anyagminőségek és műszaki előírások.
- MSz 2295-69 Hidrogénnyomásálló acél.
- MSz 2591-66 Vas- és acélöntvények. Fogalommeghatározás, jelölés.
- MSz 4357-73 Hőálló acélöntvények.
- MSz 4359-72 Hőálló rudacél. Minőségek és általános műszaki előírások.
- MSz 4360-72 Korrozíóálló rudacél. Minőségek és általános műszaki előírások.
- MSz 6280-74 Szerkezeti acél fokozott követelményű hegesztett szerkezetekhez. Minőségek és műszaki előírások.
- MSz 8270-66 Ötvözetlen acélöntvények. Anyagminőségek és műszaki előírások.
- MSz 8272-66 Gyengén ötvözött szerkezeti acélöntvények. Anyagminőségek és műszaki előírások.
- MSz 21053-70 Korrozíóálló acélöntvények. Anyagminőségek és műszaki előírások.

10.5 Hegesztőanyagok

- MSz 6288-71 Bevont elektródák öntöttvas kézi ívhegesztéséhez. Jelölés.
- MSz 6445-72 Fedőporok fedettívű hegesztéshez. Jelölés.
- MSz 6446-72 Fedőporok fedettívű hegesztéshez. Metallurgai tulajdonságok és hegesztési ömledék tulajdonságainak vizsgálata.
- MSz 6586-69 Bevont elektródák acélok kézi ívhegesztéséhez. Méretek és általános műszaki előírások.
- MSz 6587-71 Bevont elektródák melegszilárd és hidrogénnyomásálló acélok kézi ívhegesztéséhez.
- MSz 6588-70 Bevont elektródák acélok kézi felrakó hegesztéséhez. Hegesztési ömledék vizsgálata.

- MSz 6688-73 Bevont elektródák ötvözetlen és gyengén ötvözött acélok kézi ivhegesztéséhez. Hegesztési ömledék vizsgálata.
- MSz 6690-72 Bevont elektródák acélok kézi ivhegesztéséhez. Az elektromos kihozatalának és leolvadási tényezőjének meghatározása.

10.6 Hegesztési alapszabványok

- MSz 694-68 Műszaki rajz. Géprajz. Hegesztett kötések rajzolása.
- MSz 2983-68 Acélcsővégek élkiképzése hegesztett kötéshez.
- MSz 4292-66 Védőgáz hegesztés. Élkiképzések alakja és méretei.
- MSz 4293-66 Fedettíves hegesztés. Élkiképzések alakja és méretei.
- MSz 4300/1-68 Fémek hegesztése. Alapfogalmak.
- MSz 4300/2-68 Fémek hegesztése. Fogalmak. Hegesztő eljárások.
- MSz 4300/3-70 Fémek hegesztése. Fogalmak. Ömlesztő hegesztés.
- MSz 4300/4-71 Fémek hegesztése. Fogalmak. Védőgázos ivhegesztés.
- MSz 4302-73 Ömlesztő hegesztés. Hegesztett kötések rajzjelei.
- MSz 4304/1-63 Varratalakok és élkiképzések acélok kézi hegesztéséhez. Általános előírások.
- MSz 4304/2-63 Varratalakok és élkiképzések acélok kézi hegesztéséhez. Élkiképzés villamos ivhegesztéshez.
- MSz 4304/3-63 Varratalakok és élkiképzések acélok kézi hegesztéséhez. Élkiképzés gázhegesztéshez.
- MSz 4304/4-63 Varratalakok és élkiképzések acélok kézi hegesztéséhez. Élkiképzés különböző vastagságú alapanyagok tompallesztéséhez.
- MSz 4307-70 Hegesztési alaphelyzetek.

10.7 Tervezési és kivitelezési szabványok

- MSz 6441-72 Hegesztett acélszerkezetek. Hegesztett kötések és szerkezeti elemek tervezése. Műszaki követelmények.
- MSz 6442-71 Hegesztett acélszerkezetek. Hegesztett kötések és szerkezeti elemek műszaki követelményei.
- MSz 1761-63 Gőzkazánok és nyomástartó edények. Hegesztések kivitelezése, hőkezelés. Műszaki követelmények.
- MSz 1763-63 Gőzkazánok és nyomástartó edények. Hegesztett varratok vizsgálata, minősítése. Műszaki követelmények.
- MSz 151/3-73 Erősáramú szabadvezetékek. Tartószerkezetek (oszlopok).
- MSz 6748-75 Teherszállító függőpálya tervezése.
- MSz 9749-69 Daruk acélszerkezetének tervezése. Műszaki követelmények.

- MSz 15024/1-75 Építmények teherhordó szerkezetének erőtanai tervezése. Magasépítési acélszerkezetek.
- MSz 15024/2-75 Építmények teherhordó szerkezetének erőtanai tervezése. Vasbetonlemezrel együtt dolgozó acélszerkezetek.
- MSz 15030-58 Épületek teherhordó szerkezetel. Darupálya méretezése.
- MSz 15229-54 Vízépítési műtárgyak statikai méretezése. Acélszerkezetek.
- MSz 1756-68K Gázkazánok. Varrat nélküli kazáncsővek, dobok. Műszaki követelmények.
- MSz 1757-69 Gőzkazánok nyomás alatti részeinek méretezése.
- MSz 13822-66 Vékonyfalú nyomástartó edények, előírások szilárdsági méretezésre.
- MSz 13833-71 Nyomástartó edények. Általános műszaki követelmények és vizsgálat.
- MSz 13836-68 Nyomástartó edények. Acél kolonnák. Műszaki követelmények és vizsgálat.

10.8 Egyéb előírások

Építő- és szerelőipari kivitelezési szabályzat IV; V; VII. kötet.

Közüti Hídszabályzat

Vasúti Hídszabályzat

Különleges feltételek hegesztett közúti hidak gyártásához és szereléséhez (KF-I).

Különleges feltételek a Közüti Acélhidak feszített csavarkötésnek készítéséhez (KF-II).

Irányelvek acélszerkezetű vasúti hidak mázolásához.

10.9 Szabvánnyal kapcsolatos irodalom

Györgyi Ferenc: Hegesztési szabványosítás.

Felmérés és javaslatok. Gép XXVIII. évfolyam 1976. 4. szám

Kiss István: A hegesztési szakterület, hazai szabványosításának jelenlegi helyzete. Szabványosítás 29. évfolyam 3. és 4. szám

11. IRODALOMJEGYZÉK

1. HERDEN: Hegesztési kézikönyv. Műszaki Könyvkiadó 1973.
2. BECKERT-NEUMANN: A hegesztés alapismeretel, hegesztési eljárások. Műszaki Könyvkiadó 1967.
3. BECKERT-NEUMANN: A hegesztés alapismeretel. Méretezés. Műszaki Könyvkiadó 1968.
4. BECKERT-NEUMANN: Alkalmazási példák. Műszaki Könyvkiadó 1970.
5. DOMANOVSKY-MÜNCNER-IZDINSKY-RUZA: Hegesztési feszültségek és alakváltozások. Műszaki Könyvkiadó 1969.
6. Antonio VALLINI: A hegesztés és vizsgálata. Műszaki Könyvkiadó 1970.
7. Werner SCHATZ: Fedettívű hegesztés. Műszaki Könyvkiadó 1974.
8. Dr. DARVAS Endre: Hegesztett acélszerkezetek tervezésének újabb irányelvei. Tankönyvkiadó, Budapest 1975.
9. BECKER István-KOVÁCS Mihály: Hegesztés. Műszaki Könyvkiadó 1975.
10. CZINEGE Imre-DÉVÉNYI Györgyné-LIBERTINY Gáborné: Mechanikai technológia I. Műszaki Könyvkiadó 1972.
11. LIBERTINY Gáborné-VOJNICH Pál: Szerkezeti anyagok. Műszaki Könyvkiadó 1972.
12. Dr. FARKAS József: Hegesztés okozta feszültségek és alakváltozások. NME 1964.
13. Dr. GILLEMOT László: Szerkezeti anyagok technológiája. Tankönyvkiadó 1966.
14. Dr. KONKOLY Tibor: Hőkezelés. Tankönyvkiadó 1971.
15. Dr. ROMVÁRI Pál: Hegesztéstechnológia I és II. Tankönyvkiadó 1967, 1968.
16. Dr. ZORKOCZY Béla: Hegesztési anyagismeret. Felsőoktatási Jegyzetkiadó 1962.
17. Dr. ZORKOCZY Béla: Szerkezeti anyagok technológiája. Tankönyvkiadó 1967.
18. Dr. ZORKOCZY Béla: Hegesztéstechnológia. Tankönyvkiadó 1965.
19. Dr. ZORKOCZY Béla: Metallográfia és anyagvizsgálat. Tankönyvkiadó 1968.
20. TAUBER, B. A: Hegesztőkészülékek és gépek. Nehézipari Könyvkiadó 1954.
21. GYÖRGYI Ferenc: Hegesztett acélszerkezetek anyag kiválasztásának és tervezésének új szempontjai. BUVÁTI 1970.
22. DOMANOVSKY Sándor: A hegesztőmérnök szerepe az acélszerkezet gyártásában és szerelésben: Magyar Építőipar 1971. VI-VII. szám.
23. Dr. ROMVÁRI Pál-Dr. TOTH László: Az ütvizsgálat információ tartalmának elemzése. Gép XXVII. évf. 1975. 7. szám.
24. Dr. RITTINGER János-KERN Ferenc: Feszültségmentesítés hatása a szerkezeti acélok tulajdonságaira. Gép XXVI. évf. 1974. 10. szám.

25. Dr. RITTINGER János: Szerkezeti acélok hegeszthetősége és annak üzemi szintű vizsgálata, különös tekintettel az 52 kp/mm² kategóriára. Gép XXII. évf. 1970. 2. szám.
26. Dr. RITTINGER János-KERN Ferenc: A₁-nél kisebb hőmérsékleten végzett hőkezelés hatása hegesztett szerkezetek törési feltételeire. Gép XXVII. évf. 1975. 9. szám.
27. Dr. RITTINGER János: Repedések keletkezése hegesztési hőhatásövezetben. Gép XXVI. évf. 1974. 6. szám.
28. Dr. TURI Aladár: Hegesztési hidegrepedések képződése és vizsgálata. Gép XXVII. évf. 1975. 4. szám.
29. FEHÉRVÁRI Attila-Dr. RITTINGER János: Acélok kiválasztása nyomástartó szerkezetekhez rideg törési érzékenység alapján. Kohászat 104 évf. 1971. 6. sz.
30. GYÖRGYI Ferenc: Hidak és nyomástartó berendezések tűrhető hegesztési hibái. Gép XXVI. évf. 1974. 12. szám.
31. Dr. ROMVÁRI Pál-SZOKOL György: A porbeles hegesztés jelene és jövője. Gép XXII. évfolyam 1970. 8. szám.
32. Dr. ROMVÁRI Pál-Dr. KOMOCSIN Mihály: A porbeles elektródhuzallal hegesztett kötés varratmenti homogenitása. Gép XXVI. évf. 1974. 6. szám.
33. Dr. KONKOLY Tibor-Dr. GINSZTLER János-Dr. SZOKOL György: Porbeles huzalok alkalmazhatósága acélszerkezetek kötőhegesztéséhez. Gép XXVII. évfolyam 1975. 8. szám.
34. Dr. ARTINGER István-Dr. CZOBOLY Ernő: Ridegtörés vizsgálati módszerrel. Gép XXII. évf. 1970. 12. szám.
35. FEHÉRVÁRI Attila-Dr. RITTINGER János: Szerkezeti acélok és hegesztő anyagaik fejlesztésével kapcsolatos kutatások a Vasipari Kutató Intézetben. Kohászat 107. évf. 1974. 10. szám.
36. Dr. BRENNER András: Daru acélszerkezetek hegesztéstechnológiájának számítógéppel segített tervezése. Gép XXVIII. évf. 1976. 9. szám.
37. KÉKEDY Pál-DOMANOVSKY Sándor-FEKETE János: Az új tiszafüredi közuti Tisza-híd. Mélyépítéstudományi Szemle XVII. évf. 1967. 10. szám.
38. DOMANOVSKY Sándor: Hegesztett futódaruk acélszerkezetének gyártása a Ganz-Mávag-ban. Gépgyártástechnológia VIII. évf. 10. szám. 1968.
39. BALOGH József-DOMANOVSKY Sándor: Ortotróp pályaszerkezetű hegesztett hidak gyártása. Gép XXVI. évf. 1974. 6. szám.
40. DOMANOVSKY Sándor: Korszerű acélhidak ortotróp pályaszerkezetének gyártása a Ganz-Mávag-ban. GANZ-MÁVAG Közlemények 1966. évi 38. szám.
41. TRAGER Herbert-MEDVED Gábor: Az új szolnoki közuti Tisza-híd. Mélyépítéstudományi Szemle XIII. évf. 7. szám.

42. MEDVED Gábor: Nagyszilárdságu feszített csavarkapcsolatok kivitelezési kérdései. Mélyépítéstudományi szemle XVIII. évf. 1968. 2.szám.
43. BAZSO Gyula-GYÓRFI István: Gömbtartálygyártás és szerelés a Ganz-Mávgaban. Gép XXVI. évf. 1974. 8.szám.