

# Termomechanikusan alakított acélok védőgázos hegesztése

Prof. Dr. Thomas Varga\* – Csikós Gábor\*\*

A BME Mechanikai Technológia és Anyagszerkezeti Intézete és a TU Wien Technische Versuchs- und Forschungsanstalt közel két évtizedes együttműködése során több hegesztési és anyagvizsgálati témában folytatott közös kutatást, cserélt vendégelőadókat a graduális és postgraduális oktatásban, szervezett szakmai rendezvényeket a hallgatók és a szakemberek számára Magyarországon és Ausztriában egyaránt, illetve magyar hallgatók bécsi részképzésben is részesülhettek.

Közleményünkben az osztrák ÖAD és a magyar OMF B Kormányzati Tudományos és Technológiai Együttműködés támogatásával a növelt folyáshatárú, termomechanikusan alakított acélok hegeszthetőségi vizsgálata és a keverék védőgázos fogyóelektródás ívhegesztése témakörben folyó kutatás eddigi eredményeit mutatjuk be.

## Kutatási célok és körülmények

A program célja egy adott hegesztéstechnológia kidolgozása, valamint a technológia és az anyagtulajdonságok egymásra hatásának kutatása azért, hogy az ezekben az acélokban rejlő lehetőségek minél jobban kihasználhatók legyenek. A kutatás során a legkorszerűbb vizsgálati és értékelési módszerekkel (törésmechanika, határállapot módszer) arra is választ keresünk, hogy milyen kritériumrendszert kell a hegesztett kötésekkel szemben támasztani.

Ma, a növelt szilárdságú hegeszthető szerkezeti acélon a 355 N/mm<sup>2</sup>-nél nagyobb folyáshatárú acélokat értjük, ahol a folyáshatár értéke akár 960 N/mm<sup>2</sup> is lehet. Ez az igen széles intervallum természetesen több szilárdsági kategóriát jelent, hiszen a szilárdságnövelő mechanizmusok különféle változatait kell bevetni az ilyen nagy értékek eléréséhez úgy, hogy közben a kellő szívósságot is biztosítsuk. Az eltérő szilárdságnövelő módszerek részben eltérő megoldásokat követelnek a hegesztéstechnológia szempontjából. Alapvetően két területre kell figyelmet fordítani. Az első, hogy a hőhatásövezetben meg kell őrizni az alapanyag szilárdságát, meg kell gátolni a kilágyulást, illetve biztosítani kell az előírt szívósságot. A második, hogy a varratfémbe elő kell állítani a szükséges szilárdságot és szívósságot. Ezeknél az alapanyagoknál – bár különböző úton, de minden esetben a szemcsefinomítás az a módszer, mely a kedvező tulajdonságokat biztosítja. A hőhatásövezetben a finomszemcsés, perlitiszegény szövetszerkezet megtartása a cél – a lehetőségek határain belül –, míg a varratban olyan kémiai összetételű varratfém előállítás, mely a rétegek egymást áthőkezelő hatásával együttesen az alapanyagéhoz hasonló tulajdonságokat eredményez.

Munkánk célja: különböző típusú acélok alapanyag-vizsgálatával és hegesztéstechnológiai kísérletekkel

- megvizsgálni a hegesztési hőfolyamat hatását az alapanyag tulajdonságaira és megállapítani, hogy hol vannak azok a határok, melyek a feldolgozhatóság esetleges korlátait jelenik;
- megfelelő minőségű, megbízhatóan reprodukálható hegesztett kötések készíteni;
- megállapítani, hogy milyen kritériumokat kell a kötésekkel szemben állítani.

Kutatási programunk előkísérleteit a Dunai Vasmű 52D minőségjelű, s = 20 mm vastagságú acéllemezén, majd a Voest Alpine X80TM (s = 20 mm, R<sub>e</sub> > 560 N/mm<sup>2</sup>) és a QSTE690TM (s = 15 mm, R<sub>e</sub> > 690 N/mm<sup>2</sup>) minőségű, termomechanikusan hengerelt acéllemezeken végeztük. A hegesztéshez a Böhler Schweissttechnik 1,2 mm átmérőjű tömör huzalelektrodát használtuk.

Az alkalmazott keverék védőgáz Corgon 18, amely 82% Ar- és 18% CO<sub>2</sub>-tartalmú.

A hegesztőberendezés egy – 1987-ben a Budapesti Műszaki

Egyetemen üzembe állított – Rekar-IGM gyártású Limat RT 280–6 típusú robot, amely védőgázos fogyóelektródás ívhegesztő eljárással dolgozik.

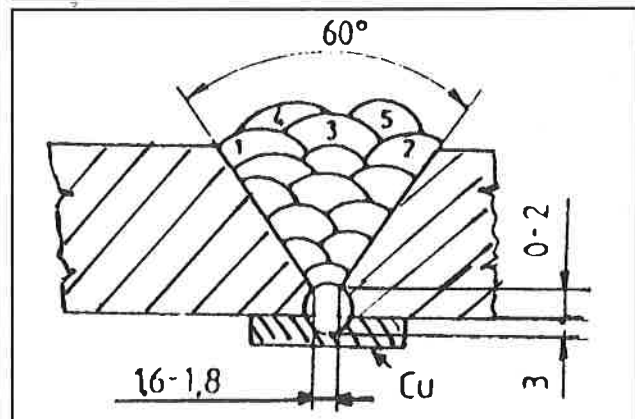
## Hegesztéstechnológia

A hegesztés során arra törekedtünk, hogy a hegesztett kötésben az alapanyag szövetszerkezetéhez hasonlóan finomszemcsés szerkezetet hozzunk létre. Ehhez úgynevezett nagy sebességű, kis hőbevitelű hegesztést alkalmaztunk. A varrat kis keresztmetszetű varratsorokból, több rétegből épül fel úgy, hogy az egyes varratsorok az alattuk lévőket áthőkezeljék. Ezáltal biztosítható az, hogy a varrat primer dendrites szövet helyett szemcsefinomított szerkezetű legyen. A technológiai paramétereket, a varratsorok elrendezését és elkészítésük sorrendjét úgy kell meghatározni, hogy az új varratsor hőhatásövezete az alatta lévő primer dendrites szövetet újrakristályosítsa. Az előmelegítés helyett a lehűlési sebesség csökkentésére a szabályozott hegesztési hőbevitel szolgál. A varratsorok olyan időrendben követik egymást, hogy az egyes sorokra akkor kerüljön a következő, amikor annak hőmérséklete 150°C-ra hűlt le. Ezek a feltételek egy kötött hegesztéstechnológiát kívánnak, ami elsősorban gépesített hegesztéssel valósítható meg, ugyanakkor megvan az az előnye, hogy az alapanyag tulajdonságainak megfelelő minőségű kötés hozható létre előmelegítés nélkül.

A hegesztés során az egyes varratsorok hőmérsékletét Testo Therm 2256-1 típusú tapintó hőmérővel, NiCr–Ni–szondával mértük. Példaként egy, az X80TM acéllal készített hegesztett kötés kialakítását, valamint a technológiai paramétereket az 1. ábrán és az 1. táblázatban mutatjuk be.

1. táblázat. V-kötések hegesztéstechnológiai paraméterei

Varratsor	Feszültség (V)	Áram (A)	Hegesztési sebesség (cm/min)	Hőbevitel (kJ/cm)	Közbenső hőmérséklet (°C)
1	24,5	220	38	8,4	91
2	25	225		8,8	115
3	24,5	220		8,4	145
4	24,5	220		8,4	142
5	24,5	200	29	10,1	138
6	25	210		10,9	132
7	24,5	200		10,1	138
8	24,5	200		10,1	148
9	25	205		10,6	140
10	24,5	200		10,1	150
11	24,5	200		10,1	143
12	24,5	205		10,4	135
13	27,5	260	38	11,2	150
14	27,5	260		11,2	150
15	27	270		11,4	150
16	27,5	270		11,6	–



1. ábra. A többrétegű V-kötés

\* TU Wien, TVFA

\*\* BME MTAI

## Kötésvizsgálatok

A hegesztett kötések az alábbi vizsgálatokat végeztük el:

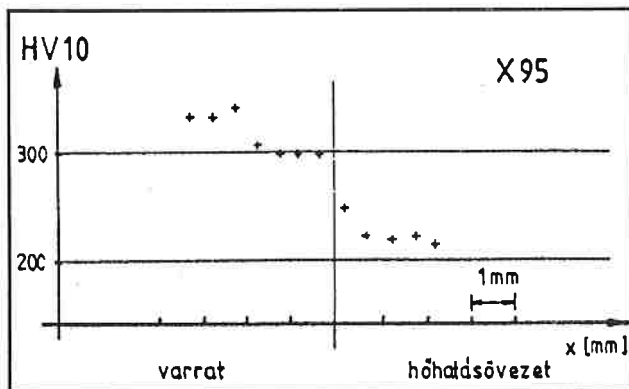
- szakítóvizsgálat,
- hajlítóvizsgálat,
- keménységmérés,
- szövetszerkezeti vizsgálat,
- ütővizsgálat,
- fajlagos törési munka és bemetszés kinyílás (NOD) meghatározása bemetszett próbatesteken,
- statikus és dinamikus törésmechanikai (COD, J integrál) vizsgálatok.

A hagyományos vizsgálatok gyakorlatilag egy – a szokásosnál szélesebb körű – technológia-vizsgálatot jelentettek.

A szilárdság és az alakváltozó képesség mérőszámainak meghatározásához a hegesztett kötésekben keresztirányú, a teljes kötést tartalmazó, valamint a varratfémhosszú szakítópróbatesteket munkáltunk ki. A helyes hegesztőanyag-választással a megkívánt szilárdsági tulajdonságok minden esetben megvalósultak.

A kötésekben kivett keresztirányú csiszolatokon Vickers-eljárással keménységeloszlást mértünk és ellenőriztük a szövetszerkezetet. Az alapanyag szövetszerkezete, a termomechanikusan kezelt acélokra jellemzően, igen finomszemcsés (13-as szemcsenagyság). A varratokra is a finomszemcsés szerkezet volt a jellemző, míg a hőhatásövezetben bizonyos mértékű szemcsedurvulás következett be. Az alapanyag perlit-szegény, ferrites szövete a hőhatásövezetben vegyes bainites szövetté alakult át.

A keménységmérés eredményeit a 2. ábra szemlélteti.



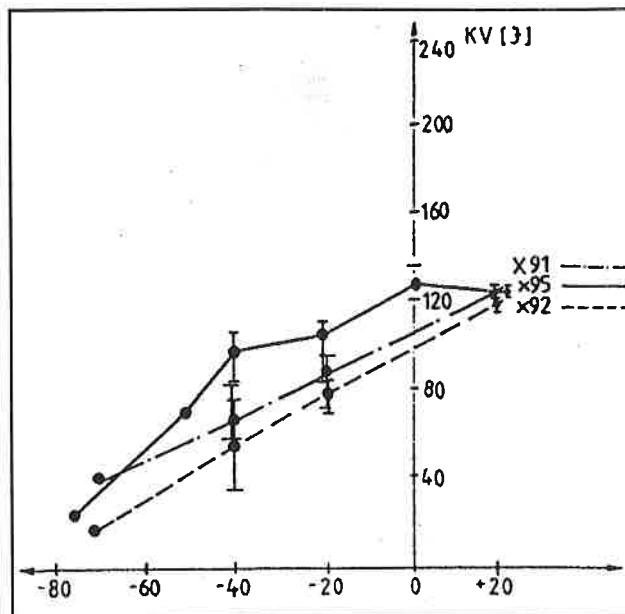
2. ábra. Hegesztett kötés keménységmérési eredményei

Az ütővizsgálatnál teljes hőfoktartományra kiterjedő ellenőrzést végeztünk (+20...-70°C). Az összehasonlítás alapja minden esetben a teljes görbe jellege volt, átmeneti hőmérsékletet nem határoztunk meg, tekintettel az ezt kijelölő minimálisan megkövetelt energiaszint egyértelműen még el nem fogadott értékére.

A szívósság szempontjából egyaránt kedvezőtlen az, ha a varratok közötti hőmérséklet 20°C, illetve 270°C, azaz a varrat lehűlt, illetve túlhevült. Kedvező, ha megvárjuk, hogy a köztes hőmérséklet 150°C legyen, de nem engedjük tovább hűlni a munkadarabot. Ez az egyes varratok beolvadási mélységével és az általuk áthőkezelt övezet méretével van összefüggésben.

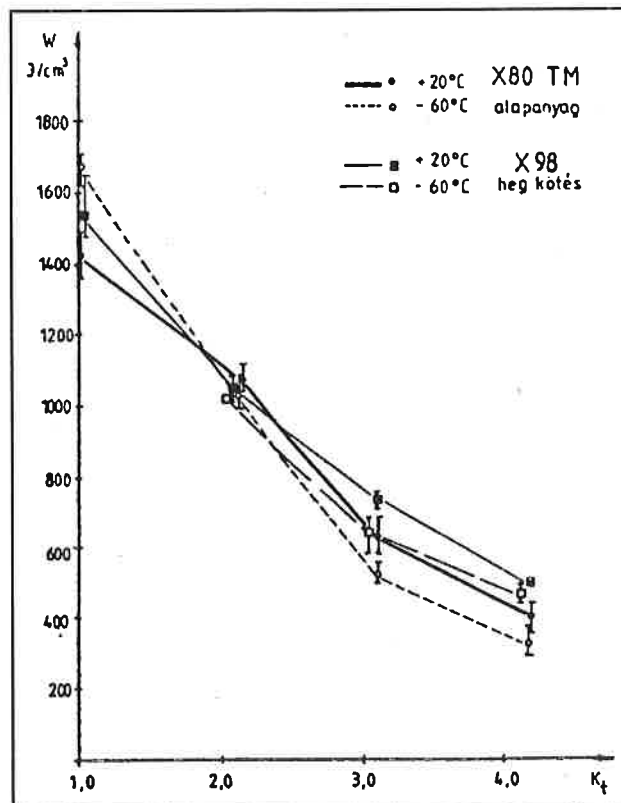
A 3. ábrán ismét az X80TM alapanyag hegesztett kötésein mért értékeket ábrázoltuk. Az X91 jel a 20°C-os, az X92 jel a 270°C-os, az X95 jel a 150°C-os varratok közötti hőmérsékletet jelenti.

Mivel a teljes körű eljárásvizsgálat megfelelő eredményt hozott, további törési, törésmechanikai és fárasztó vizsgálatokat végeztünk. Ezzel az alapanyag és a varrat tulajdonságainak ellenőrzése és összehasonlítása volt a célunk, mivel a kötésnek e részei a már ismertek okból eltérő elven biztosítják az adott szilárdsági kategóriát. Bemetszett szakítópróbatesteken a törési munka meghatározásával arra kerestünk választ, hogy mekkora az a feszültség-koncentráció, ahol a rideg törés veszélye megjelenik.



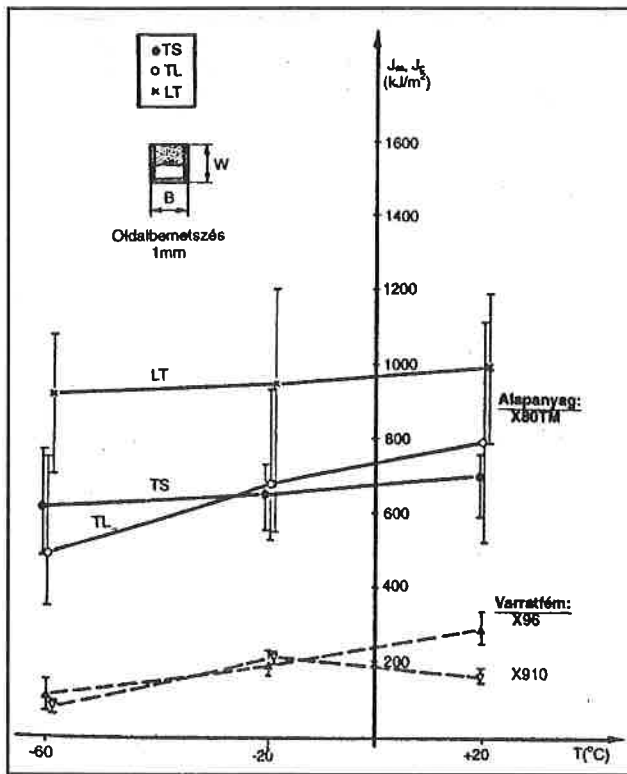
3. ábra. Hegesztett varratok ütőmunka-hőmérséklet diagramjai

A fajlagos törési munka meghatározásához használt próbatesteknél a geometriai kialakítást úgy határoztuk meg, hogy a feszültségkoncentrációs tényező ( $K_t$ ) rendre 1 (sima próbatestek); 2,15; 3,1; 4,2 (bemetszett próbatestek) legyen. Az eredményeket diagramban ábrázoltuk (4. ábra). Az ábra mutatja, hogy a feszültség-koncentráció növekedésével milyen mértékben csökken a töréshez szükséges munka. Ugyanakkor azt is megállapítottuk, hogy még a legalacsonyabb értékek esetén is a törés jelleg szívós maradt. Az alapanyag tulajdonságait összevetve a hegesztett varrat tulajdonságaival egymást gyakorlatilag teljesen átfedő görbéket találunk. Ez azt jelenti, hogy a varrat tulajdonságai ebből a szempontból is egyenértékűek az alapanyagával (4. ábra), mivel a mi esetünkben alkalmazott legélesebb bemetszésnél is szívós viselkedést



4. ábra. Alapanyag és hegesztett kötés fajlagos törési munkája

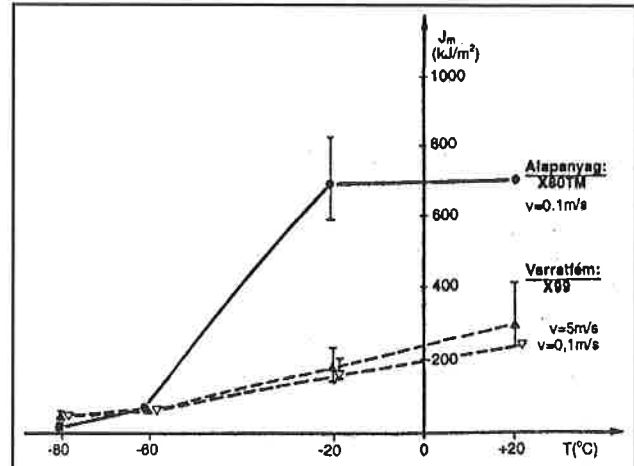
tapasztaltunk. Következésképp levonhattuk, hogy csak igen éles, repedés jellegű bemetszésnél várható instabil repedésterjedés.



5. ábra. Statikus törésmechanikai vizsgálatok eredményei

Az instabil repedésterjedés körülményeinek ellenőrzésére statikus és dinamikus törésmechanikai vizsgálatokat végeztünk előreperesztett, oldalbemetszett 3PB próbatesteken. Az 5. ábra a statikus, a 6. ábra a dinamikus vizsgálatok eredményeiből a  $J$  integrál értékeit mutatja. Mindkét esetben látható, hogy a varratfém számszerű értékei lényegesen alacsonyabbak, mint az alapanyagé, mely az eltérő szövetszerkezet és a varrat magasabb ötvözöttségével függ össze. Ugyanakkor statikus módszerrel egyáltalán nem sikerült instabil repedésterjedést előidézni,

dinamikus módszerrel is csak  $-80^{\circ}\text{C}$  vizsgálati hőmérsékleten tapasztaltuk ezt a jelenséget.



6. ábra. Dinamikus törésmechanikai vizsgálatok eredményei

## Összefoglalás

- Az eddigi eredmények alapján az alábbi megállapításokat tehetjük:
- Előzetes tapasztalatok hiányában ilyen típusú acélok hegesztéséhez a hagyományos technológiai paraméter és hőbevitel meghatározása egyfajta közelítést jelenthet, de semmiképpen nem pótolja a konkrét acéllal végzett hegesztéstechnológiai kísérletet.
  - A termomechanikus alakítással létrehozott nagy szilárdságot és jó szívósságot biztosító finomszemcsés szövetszerkezet szemcse-durválása megelőzhető, de figyelmet kell fordítani az előzetes alakítás mértékére a hőhatásövezetben várható szemcse-durválás megelőzésére.
  - A hegesztési technológia kidolgozása során a lehülési idő alsó és felső határértékére kell figyelemmel lenni. Ez általában az eddigi megszokottnál kisebb hőbevitelt és viszonylag nagy hegesztési sebességet jelent. Ezzel együtt megnő az előírt technológia betartásának, a technológiai fegyelemnek a szerepe.
  - A varratfém szilárdsága és szívóssága Ni-ötvözésű huzallal, a megfelelő hőbevitellel és közbelső hőmérséklettel biztosítható.

## Mikroszerkezet-változások hatása a mágneses jellemzőkre\*

Dr. Dévényi László – Dr. Hidasi Béla\*\*

Tanszékünk egyik fő kutatási profilja a fémes szerkezeti anyagokban bekövetkező folyamatok megismerése, detektálása, és a szerkezetváltozásból adódó tulajdonságváltozások mértékének becslése, illetve meghatározása. Leggyakoribb cél az egyes szerkezeti elemek további felhasználhatóságának megítélése vagy esetleges konkrét káresemény okainak felderítése.

Kiemelten foglalkozunk az erőművekben alkalmazott ötvözetekkel. Tulajdonságaik megítéléséhez a felhasználók többnyire praktikus és egyszerűnek látszó kérdésekre várnak – lehetőleg konkrét és jól definiált paraméterhalmazból álló – válaszokat. Ilyenek például a károsodás mértéke, az élettartam-szilárdság, a maradék élettartam. Az általában többféle és egymást is átfedő átalakulási folyamatok felismerése egyrészt szerteágazó vizsgálati technikát igényel, másrészt még a domi-

náns folyamatok okozta változások értelmezése is sokszor bonyolult feladatot jelent a kutatók számára. Kézenfekvő módon erős az érdeklődés a diagnosztikai és minőségbiztosítási rendszerek fejlődésével párhuzamosan – a minél kisebb roncsolással járó és lehetőleg folytonos vagy kvázifolytonos állapotellenőrzési lehetőségek iránt.

A röviden károsodásnak értékelhető folyamatok klasszikusnak nevezhető mechanikai és metallográfiai vizsgálati módszerei gyakorlatilag e műfaj teljes spektrumát átfogják. Ezek többségét annak ellenére elterjedten alkalmazzák, hogy a szokásos vizsgálati körülmények durván különböznek az alkalmazás során fellépőktől, és a vizsgált anyag-jellemzők változása legfeljebb tendenciájukban vehető össze a felhasználás szempontjából lényegi, de többnyire igen költségesen és hosszadalmasan meghatározható paraméterekkel. A változék ellenére mi is mérünk, illetve felhasználunk ilyen hagyományos vizsgálati módszereket.

Konkrét szerkezeti elemek vizsgálatánál elengedhetetlen az igénybevitel módjának vizsgálata (mechanikai, termikus, kémiai, tribológiai, villamos, vegyes stb.), és a várható, vagy ténylegesen megjelent károsodások mértékének elemzése.

\* Előadásként elhangzott a Budapesti Műszaki Egyetem Mechanikai Technológia és Anyagszerkezettani Intézetének 25 éves jubileuma alkalmából rendezett tudományos ülésen, 1996. május 24-én.

\*\* MTAI Villamosipari Anyagtechnológia Tanszék