

Gyura László*, Gáspár Marcell**, Balogh András***

A lánggyengetési hőciklusok szövetszerkezetre gyakorolt hatása nagyszilárdságú acéloknál

Bevezetés

A lánggyengetés technológiája a mai fémszerkezet gyártásánál, elsősorban az acélból készült szerkezetek esetén még mindig fontos szerepet játszik. Sok esetben a hegesztések utáni egyengetés a gyártás nélkülözhetetlen eleme. A technológiához kiválasztott eszközök, éghető- és égést tápláló gázok esetén kiemelten fontos a technológiai paraméterek meghatározása (pl. melegítési hőmérséklet, hőntartási idő, hűtés módja stb.), amely sok esetben nem annyira egyértelműen meghatározható, mint más hegesztéssel kapcsolatos eljárások esetén.

Ennek betartása különösen fontos lehet az egyre gyakrabban alkalmazott nagyszilárdságú acélból készült szerkezeteknél, mivel a helytelen technológia (túlhevítés, hosszú ideig történő hőhatás, hirtelen hűtés stb.) az anyag szerkezetének, tulajdonságainak megváltozásához, károsodásához vezethet.

Lánggyengetés

A lánggyengetés elve

A lánggyengetés azon fizikai elven alapszik, hogy a fémek hevítés hatására tágulnak, hűtés hatására pedig zsugorodnak. Amennyiben a felhevítés (hőhatás) alatt a szerkezet alakváltozása akadályozott, a felhevített zónában nyomó feszültség alakul ki, amely a szerkezetet maradé alakváltozásra kényszeríti. Az alakváltozás korlátozása történhet akár mesterséges úton (pl. súlyterhelés, kiékelés stb.), de akár adódhat a szerkezet kialakításából is. A hevítés hatására kialakuló maradé alakváltozás alkalmazható egy tudatos geometria kialakítására (pl. hajlítások, alakítások), ill. egy a gyártás során kialakult alakváltozott szerkezet geometriájának visszaállítására is (lánggyengetés).

A hőbevitel mértéke alapján a lánggyengetést két esetre lehet osztani. Nagyon gyakori általánosan alkalmazott technológia a szerkezet teljes keresztmetszetéhez képesti részle-

Szállítási állapot	Rövid szakaszon felületi hevítés	Rövid szakaszon teljes keresztmetszetben történő hevítés	Teljes keresztmetszetű hevítés, hosszú hőntartási idővel
Normalizált, ötvöztelen acél 355 MPa szilárdságig	≤ 900 °C	≤ 700 °C	≤ 650 °C
Termomechanikusan hengerelt acélok 460 MPa szilárdságig	≤ 900 °C	≤ 700 °C	≤ 650 °C
Termomechanikusan hengerelt acélok 500–700 MPa szilárdság között	≤ 900 °C	≤ 600 °C	≤ 550 °C
Nemesített nagyszilárdságú acélok (pl. S690QL, S960QL)	≤ a választott alapanyag megeresztési hőmérséklete alatt általánosan 20 °C-kal (kb. 530 °C)		

1. táblázat. Ajánlás a lánggyengetés megengedett maximális hőmérsékletére

ges, gyakorlatilag csak a felületi réteg (jellemzően a teljes keresztmetszet 30–35%-ig történő) felhevítése. A hőbevitel mértéke ebben az esetben a munkadarab anyagvastagságához képest csekély, a hűlési sebesség jellemzően nagy. Amikor a munkadarab teljes keresztmetszetét lokálisan hevítjük fel, relatíve magas hőbevitelre és kis hűlési sebességre számíthatunk [1].

A lánggyengetés technológiája

A többsoros varratok hegesztése során alkalmazott rétegek közötti hőmérséklet korlátozásához hasonlóan a lángot használó eljárások technológiai hőmérsékletének betartására is szigorúan figyelni kell. A teljes keresztmetszetre ható melegítésekkel jellemzően nemcsak a hőmérséklet maximalizálása, de a hőntartás ideje is fontos lehet. Nagy hőmérsékleten történő hosszú idejű hőntartás olyan diffúziós folyamatok lejátszódására ad lehetőséget, amelyek fáziskiválást, szövetszerkezet változást és szemcseméret növekedést okozhatnak, jelentősen rontva ezzel az acél eredetileg beállított tulajdonságait [2].

A lánggyengetési hőmérséklet meghatározásához nyújt segítséget a CEN/TR 10347:2006 „Guidance for forming of structural steels in processing” című műszaki jelentés, amely ajánlásokat ad a különböző techni-

kával, technológiával kivitelezett lánggyengetések esetén az egyes típusú acélok maximális hőmérsékletére vonatkozóan (1. táblázat) [3].

A megfelelő hőmérsékletmező eléréséhez, azaz a lánggyengetés elvárható hatásfokának eléréséhez (valamint a munkadarab hirtelen túlhevítésének elkerülése érdekében) az adott alapanyag esetén a falvastagsághoz illesztett teljesítményű égőt kell választani [4].

Alapvetően a felhevítés körülményei, valamint döntően a hűlési feltételek meghatározók az anyagszerkezetében lejátszódó folyamatokra. A gyakorlatban a technológia gyorsítása érdekében a szakirodalom által javasolt nyugvó levegőn történő hűlési viszonyokkal szemben gyakran alkalmaznak vizet (esetleg fűvott/fűjt levegővel) történő gyorsított hűtést, ami nagyszilárdságú acéloknál különösen kritikus következményekkel járhat.

A lánggyengetés hőciklusai

A lánggyengetés hatására bekövetkező hőciklus és hőmérsékleteloszlás vizsgálatára 10 és 25mm-es vastagságú lemezekon végeztünk kísérleteket különböző peremfeltételekkel. A kísérletek során az égőket egyenletes sebességgel lángvágó automatához használt traktor segítségével mozgattuk. A vizsgált 300×300 mm-es le-

TUDOMÁNYOS PUBLIKÁCIÓK

mezt középvonala mentén hevítettük úgy, hogy a lemezvastagsághoz a 2. táblázatban jelölt, megfelelő teljesítményű égővel a lemez felső harmadán terveztük a hőmérsékletet az egyengetés hőfokára emelni.

Annak érdekében, hogy a túlhevítés hatását is vizsgálni lehessen, méréseink során a munkadarab felületét kismértékben túlhevítettük (a felületen elértük a közel 1000 °C hőmérsékletet is). A munkadarabban több termoelemet he-

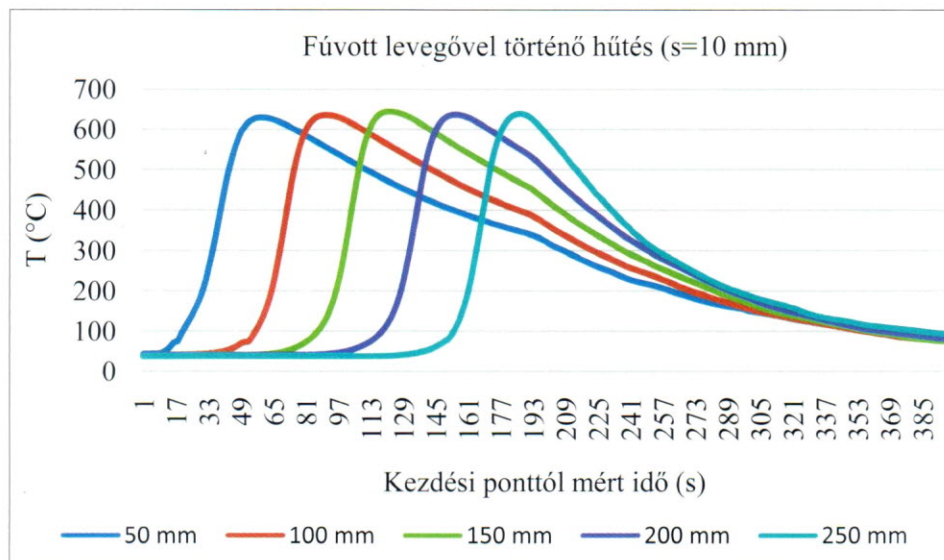
lyeztünk el, amelyek egy része a lemez különböző belső pontjait, egy része a munkadarab felületi hőmérséklet változásait mérték. Mindezek alapján rendelkezésünkre állt olyan hőciklus, amely kismértékben túlhevített ponthoz, ill. olyan is, amely a korábban bemutatott táblázatban javasolt maximális hőmérsékletre köthető (nem közvetlenül a lánggal érintett területhez tartozó). A vizsgálatokat acetilén-oxigén üzemű égővel végeztük, miközben a felhasznált gázok térfogatáramát átfolyásmérő (rotaméteres) áramlásmérőkkel folyamatosan mértük. A hőciklus méréseknél alkalmazott technológiai paramétereket a 2. táblázatban foglaltuk össze.

Példaként az 1., 2. ábrán a cca. 610–680 °C maximális hőmérsékletre hevült néhány pont hőmérséklet változását (hőciklusát) mutatjuk be. Az ábrákon a 300 mm hosszú lemez hevítésekor, a hevítési vonal mentén 50 mm-enként elhelyezett termoelemekkel mért hőmérséklet változások láthatók (1. ábra a melegítés után fűvott levegővel, 2. ábra vízzel történő hűtésnél a lemez elején és a végén lévő pontok hőciklusai, a lehűlés jellege között jelentős különbségről nem beszélhetünk. Az intenzív vízhűtés közben viszont a kialakult hőciklus lehűlési szakasza nagy mértékben függ attól, hogy mekkora területet melegítettünk már fel, és a hőhatás után mennyi idő múlva következik be a hűtés. A vonalban történő hevítés során (pl. egyenes hosszú varratokkal szakaszi hevítések) a hevítés kezdeti szakasza jellemzően már lényegesen kisebb hőmérsékletű a hűtés megkezdésekor, mint a kezelés előtti utolsó terület (lásd 2. ábra).

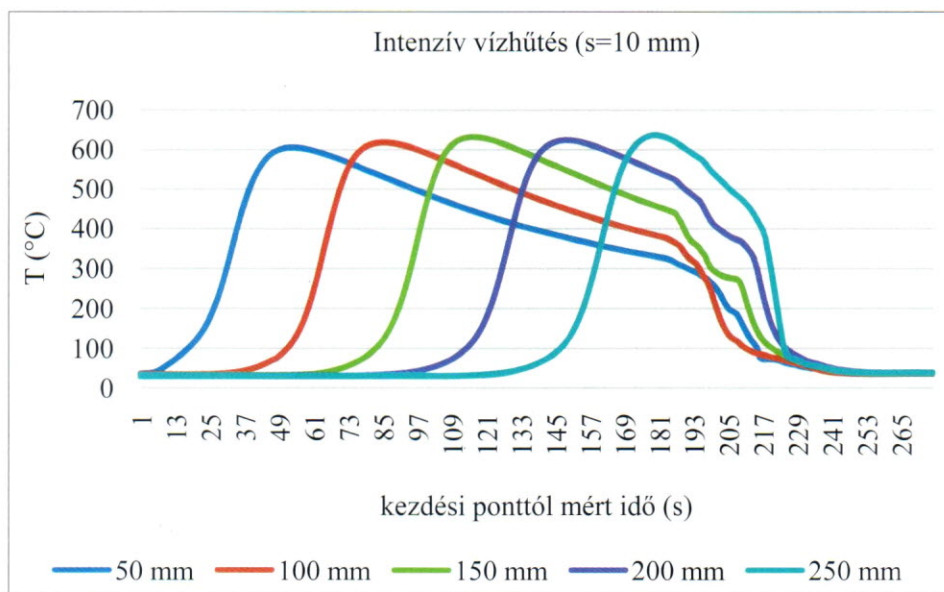
A vizsgált anyagok

Napjainkban például a járműszerkezetek gyártásához gyakran használt kopásálló és egy nagyszilárdságú szerkezeti acélon végeztünk kísérleteket. A nagy kopásállóságú XAR400 típusú acél elsősorban a mezőgazdasági járművek, földmunkagépek („yellow goods”) nagy kopásnak kitett alkatrészeihez alkalmazzák, jellemzően hegesztett szerkezet formájában [6]. Az S960QL nagyszilárdságú acél egyik legjellemzőbb felhasználási területe a mobil daruk gémeinek kitolható acél szerkezete, de gyakran felhasználják nagy teljesítményű vontatott járművek, pótkocsik vázszerkezetének építéskor is, amelyeket szintén különböző hegesztési eljárásokkal készítenek [7].

Mindkét esetben a kívánt nagy szilárdságot, kopásállóságot az alap-



1. ábra. A hevítés vonala mentén egymástól 50-50 mm-re lévő pontokban kialakuló hőciklusok fűvott levegős hűtés esetén.



2. ábra. A hevítés vonala mentén egymástól 50-50 mm lévő pontokban kialakuló hőciklusok vízhűtés esetén

Lemezvastagság (mm)	Égő típusa	Nyomás (bar)		Gáz térfogatárama (l/h)		Égő sebessége (cm/min)	Égő-lemez távolság (mm)
		O ₂	C ₂	O ₂	C ₂ H ₂		
25	LF-H-8 speciális égő [5]	5	1	2000	1800	15,5	18
10	„8”-as égőszár	3,5	0,8	1000	850	11	12

2. táblázat. A hőciklusok felvételén alkalmazott lángtechnológia paramétere

TUDOMÁNYOS PUBLIKÁCIÓK



3. ábra. Képek a hőciklus felvételének körülményeiről

Alapanyag: XAR400 (s=25 mm)	Nyugvó levegős hűtés	Intenzív hűtés vízzel
Alapanyag szövetszerkezete		
394 HV10	256 HV10 Keresztirányú szögelfordulás: 1,02 fok	357 HV10 Keresztirányú szögelfordulás: 0,95 fok

4. táblázat. XAR 400 típusú acél vizsgálati eredményei

(%)	C	Si	Mn	P	S	Al	B	Cr
XAR400	0,15	0,19	1,32	0,011	0,0018	0,094	0,0021	0,69
S960QL	0,16	0,2	1,22	0,011	0,001	0,055	0,001	0,2
(%)	Cu	Mo	Nb	Ni	Ti	V	Ce (IIW)	CET
XAR400	0,03	0,02	0,023	0,06	0,006	0	0,518	0,322
S960QL	0,01	0,605	0,015	0,05	0,002	0,037	0,536	0,355

3. táblázat. A vizsgált anyagok kémiai összetétele

Alapanyag: S960QL (s=10 mm)	Nyugvó levegős hűtés	Intenzív hűtés vízzel
Alapanyag szövetszerkezete		
348 HV 10	343 HV10 Keresztirányú szögelfordulás: 2,22 fok	431 HV10 Keresztirányú szögelfordulás: 2,76 fok

5. táblázat. S960QL típusú acél optikai mikroszkópos vizsgálati eredményei

anyag gyártók speciális gyártástechnológiával állítják elő. Az alapanyagok hegesztéssel történő feldolgozása során gyakran szükség van a lánggal történő geometriai korrekcióra, amely lokálisan olyan mértékű anyagszerkezet, ezzel mechanikai tulajdonságváltozást idézhet elő, ami az egész szerkezet integritása szempontjából kritikus lehet [8]. A vizsgált 25 mm lemezvastagságú kopásálló acél és a 10 mm vastagságú S960QL acél vegyi összetételét az 3. táblázat tartalmazza.

A vizsgált anyagok hőterhelése a gyakorlatban alkalmazott technológia szerint

A bemutatott hőciklusok felvételénél alkalmazott technológiával a választott anyagokat a lánggyenygetésnél kialakuló hőciklusokkal terheltük (megfelelő égő kiválasztással, helyes technológiai paraméterekkel), a hevítést követő nyugvó levegős, valamint intenzív vízhűtéssel.

A hőnek kitett 300x300 mm-es lemezek geometriai középpontjánál (közvetlenül a lánggal érintett terület közepén, ahol a termoelemekkel mért maximális hőmérséklet jellemzően 1000 °C körüli) optikai mikroszkópos (felület alatt 0,5 mm-nél) és makrovizsgálatokat, keménységvizsgálatot végeztünk, valamint a hőhatására be-

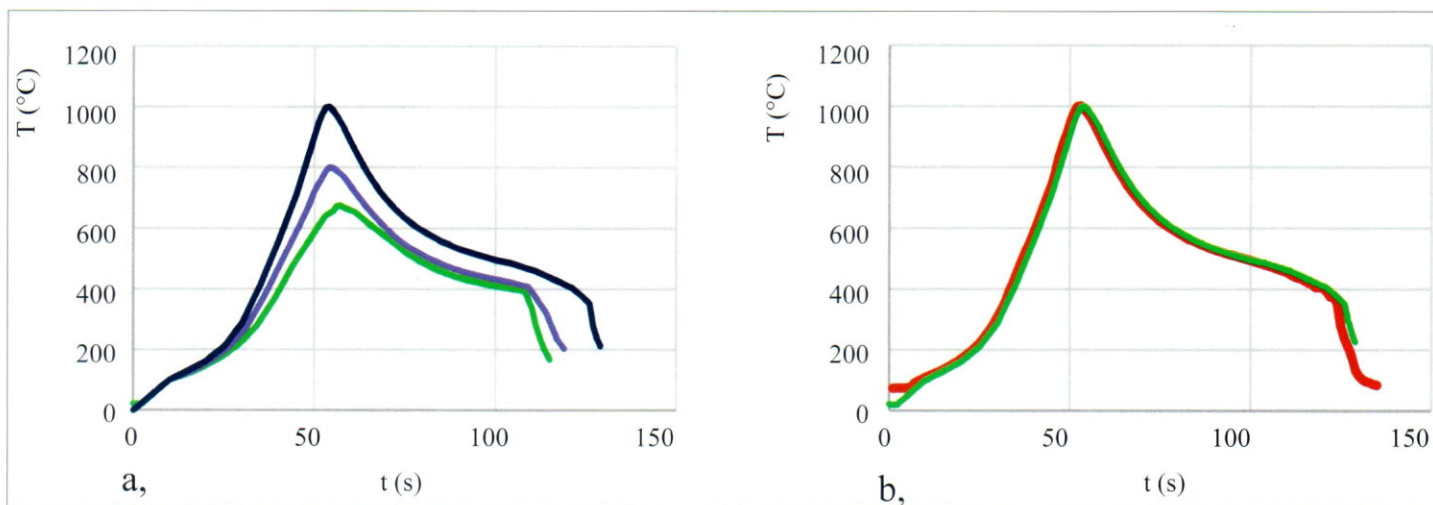
következett keresztirányú szögelfordulást mértünk. A keménységvizsgálatokat a lemez geometriai középpontjánál a felület alatt, a felületre merőlegesen 0,5 mm-enként, 10 mérési pontban mértük, mely eredményeket átlagoltuk. A mikroszkópos vizsgálatok során kapott eredményeket az alapanyagok tulajdonságaival, jellemzőivel vetettük össze (4., 5. táblázat).

Mindkét acélnál megfigyelhető, hogy az alapanyag gyártásánál létrehozott szövetszerkezet és mechanikai tulajdonságok a hő hatására kedvezőtlen irányba változtak. A szemcseszerkezet mindkét esetben durvábbá vált, és a keménységértékek is jelentősen eltérnek az alapanyagétól.

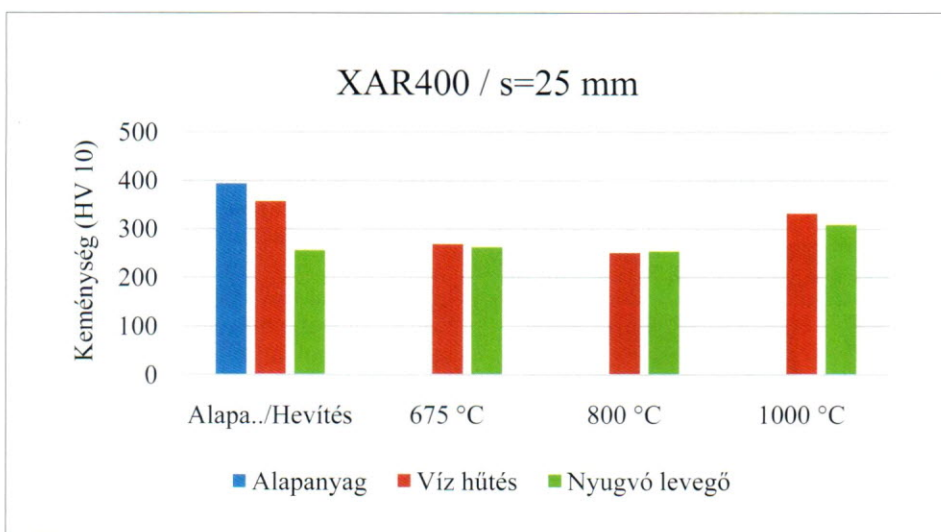
A kopásálló XAR400 acél esetében elsősorban a lassú hűléssel járó hőhatás következtében jelentős lágyulás következett be, amely még a gyorsabb vízhűtés esetén is érezhető. A lánggal érintett terület lokális kopásállósága az alapanyagéhoz képest jelentősen lecsökkent.

A S960QL anyagnál a keménységnek ugyan nincs akkora jelentősége, bár az intenzív vízhűtéssel járó keménységnövekedés várhatóan szívósságcsökkenéssel is jár. A felkeményedés mértéke ugyanakkor az idevonatkozó CR ISO 15608 szabvány szerinti 3-as acélcsoportnál (a vizsgált anyag ebbe a csoportba tartozik) a hegesztett kötésben megengedhető maximális 450 HV 10 értéket nem érte el [9, 10]. Az intenzív vízhűtésnél látható szemcsedurvulás az anyag szilárdságának és szívósságának lokális változását eredményezheti.

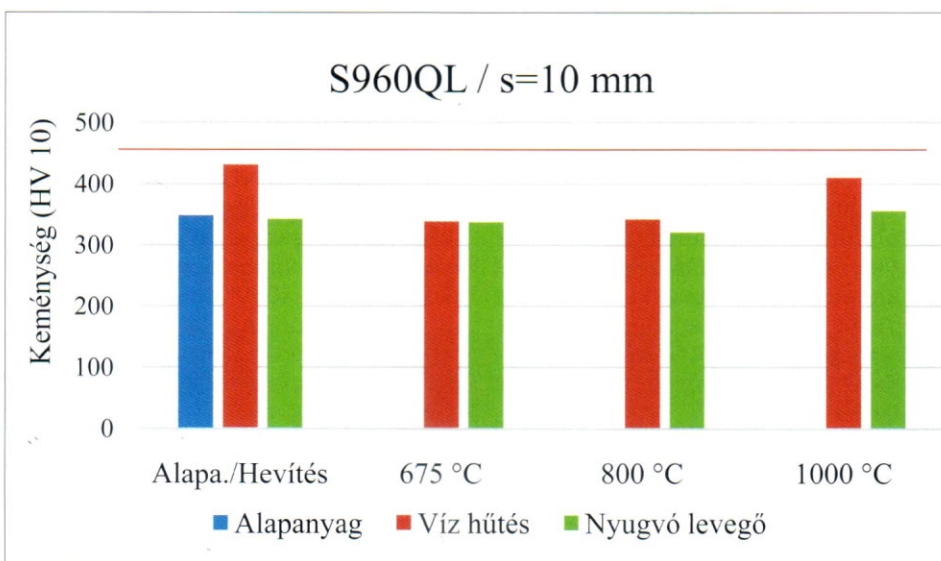
A XAR400 és az S960QL közötti különbségek elsősorban egyrészt az eltérő karbon egyenértékkel másrészt a molibdén tartalom különbözőségével magyarázhatók. A molibdén



4. ábra. a, A szimulációhoz alkalmazott hőciklusok különböző maximális hőmérsékletnél, vízhűtéssel.
 b, A valóságos, mért hőciklus (piros) és a szimuláció során a próbatest hőmérséklet változása (zöld)



5. ábra. A vizsgálatok során az alapanyag, a hevített lemez, valamint a szimulációs próbatestek mért átlag keménységértékei XAR400 típusú anyagnál



6. ábra. A vizsgálatok során az alapanyag, a hevített lemez, valamint a szimulációs próbatestek mért átlag keménységértékei S960QL típusú anyagnál (A piros vízszintes vonal az MSZ EN ISO 15614 szabvány által megengedett 450 HV10 keménységet mutatja [10])

megeresztésállóság javító hatásának köszönhetően, a hevítés hatására a molibdénrel ötvözött acél jobban megtartja szilárdságát.

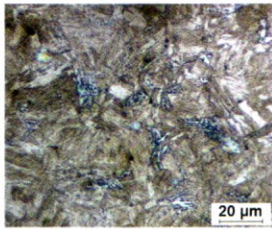
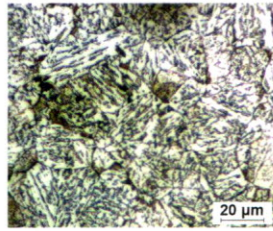
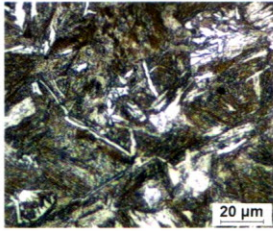
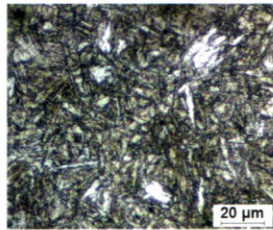
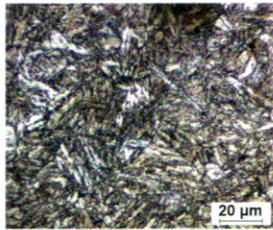
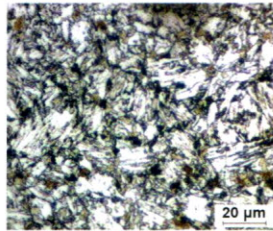
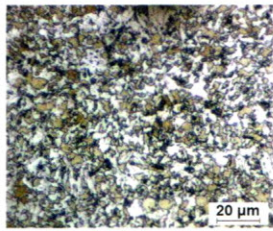
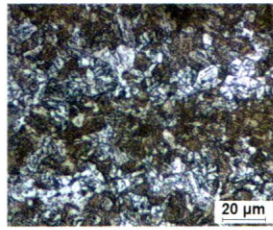
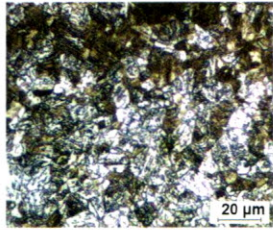
A mikroszkópi felvételeken a fehér részek ferrit jelenlétére utalnak. A kopásálló anyag nyugvó levegőn történő hűtésénél bainites jellegű szövetszerkezetet, a vízhűtésnél kevés ferrittel vegyes bainit-martenzites szerkezetet kaptunk. Az S690QL-s acél alapvetően bainit-martenzites, gyors hűtés esetén pedig gyakorlatilag teljesen martenzites (kis mennyiségű ferrittel) szövet szerkezetű.

Fizikai szimulációs vizsgálatok

A vizsgálatok hőciklusai

Az előző fejezetben bemutatott hőciklusoknak megfelelően korábbi tapasztalataink alapján [11] a GLEEBLE 3500 berendezéshez létrehozott programozott hőciklussal terheltük a 10×10 mm-es próbatesteket, miközben a folyamat alatt a próbatest hőmérsékletét arra felhegesztett termoelemekkel mértük. A szimulációhoz mind nyugvó levegőn, mind vízhűtéssel felvett hőciklust használtunk. A hőnek kitett munkadarab pontjai a hőforrástól távolodva akár oldal, akár mélységi irányban értelemszerűen más-más hőterhelést kapnak, az elért maximális hőmérséklet egyre kisebb. Így annak az acél szerkezetére és a mechanikai tulajdonságaira való hatása sem egyforma (egy bizonyos maximális hőmérséklet alatt bizonyára el is hanyagolható). Kísérleteinknél így a metallurgiai folyamatok szempontjából meghatározó A_1 és A_3 hőmérsék-

TUDOMÁNYOS PUBLIKÁCIÓK

Alapanyag: XAR400	Nyugvó levegős hűtés	Intenzív hűtés vízzel
Alapanyag szövetszerkezete:	Hevített lemez szövetszerkezete (lásd korábban 4.táblázat)	
		
394 HV 10	256 HV10	357 HV10
Szimulációs eredmények		
T _{max} =675 °C		
	263 HV10	268 HV10
T _{max} =800 °C		
	253 HV10	250 HV10
T _{max} =1000 °C		
	308 HV10	331 HV10

6. táblázat. A XAR400 típusú acél szimulációs vizsgálati eredményei, összevetve a hevített lemeznél végzett vizsgálatok eredményével (N 1000X)

leteket vettük alapul. A szimulációk során A₁ hőmérséklet alatti (de ahhoz közeli) 675 °C-os, az A₁-A₃ hőmérséklet között 800 °C-os, és A₃ feletti (túlhevített) 1000 °C-os maximális hőmérsékletet biztosító hőciklusokkal terheltük próbadarabjainkat, összhangban a tényleges darabon mért hőciklusokkal.

A 4.a ábrán példaként három különböző maximális hőmérsékletre, vízűtéshez tartozó, a szimulációhoz használt programozott görbét mutatunk be. A 4.b ábra egy 25mm-es lemez esetén 1000 °C-os maximális hőmérsékletre tartozó mért, valóságos hőciklust, és a próbatest vizsgálat alatti hőmérséklet változását mutatja intenzív vízűtésnél.

A szimulációk eredményei

A próbatesteken a hővel terhelt részen (a próbatest közepe) keménységméréseket (a próbatest 10 x 10 mm-es keresztmetszetében 5 pontban, egyenletesen elosztva), valamint a szövetszerkezet vizsgálatához optikai mikroszkópi csiszolatokat készítettünk. A szimulációs eredmények mikroszkópi képeit a két acél alapanyag esetén a 6. és 7. táblázatban mutatjuk be. A keménységérték összehasonlításoknál a mért eredményeket az 5., 6. ábrán szemléltetjük.

A kopásálló XAR400 acél kísérleti eredményeinek kiértékelése. A 675 °C maximális hőmérsékletre hevült területen az acél gyakorlatilag egy magas hőmérsékletű megereszté-

sen esett át, és az alapanyag gyártás során beállított 400HV10 keménység 260–270 HV10-re esett vissza (függetlenül a hűtés intenzitásától). A T_{max} = 800 °C-ot elérő terület ugyan már részben ausztenites tartományba kerül, de a relatív rövid idők és kis hőmérséklet miatt nincs ideje kialakulni homogén ausztenitnek.

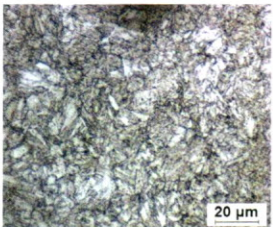
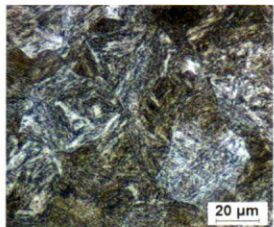
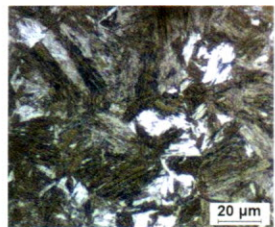
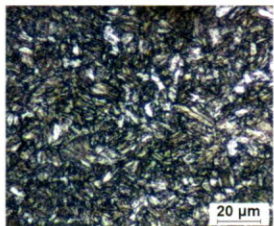
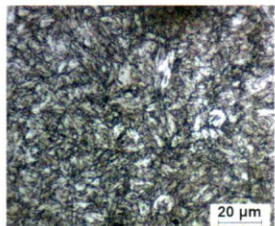
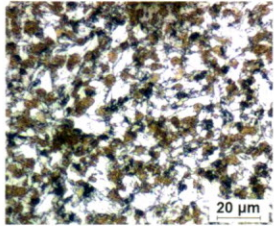
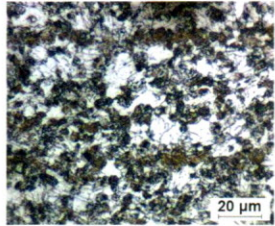
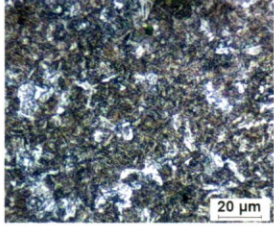
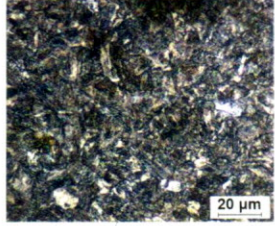
Az erősen túlhevített 1000 °C-ot elért területrészekben már egy hosszabb idejű ausztenitesítési szakasz van, bár a hűtés nem elég intenzív, de nagyobb keménységű szövetszerkezetet kapunk. Ebben az esetben sem érjük el azonban az eredeti alapanyag keménységét. A hűtés módjának a túlhevített részekben nagyobb jelentősége van, a felkeményedés nagyobb mértékű. Összességében ennél a kopásálló anyag lánggyengétekor a láng által érintett terület kopásállóságát gyakorlatilag elveszítjük.

Az S960QL típusú acél kísérleti eredményeinek kiértékelése. Ennél a nagyszilárdságú acélnál mind a valós, mind a szimulációs kísérletek akár egy minimális túlhevítés során egyértelműen igazolták a vízűtés negatív hatását. A túlhevített relatív vékony anyagban az ausztenitesedési folyamat megindulása után a gyors hűlés jelentős keményedést okoz. Ez a keménység növekedés a nagyszilárdságú anyagoknál a szívósság csökkenésére utal, amely a hőnek kitett területnél lokális problémát okozhat a szerkezetben. Ez különösen kritikus lehet olyan berendezéseknél (pl. járművek), ahol jelentős dinamikus hatások léphetnek fel.

A valós melegítési körülmények és a szimulációknál kapott kis mértékben eltérő vizsgálati eredmények (melyek mind a keménységben, mind a mikroszkópi képeken láthatók) valószínűleg egyrészt a valós és szimulációs próbatestek geometriai különbségéből, a valós körülményeknél vizsgált terület maximális hőmérsékletének és a szimulációs hőmérséklet különbségéből (a vizsgált terület nem biztos, hogy éppen 1000 °C-ra hevült) és a hő okozta maradó alakváltozás hatásából adódhatnak.

Összefoglalás

Cikkünkben röviden összefoglaltuk a lánggyengéte elvét, annak várható hatásait a kopásálló és nagyszilárdságú acélok feldolgozásakor. Az acélok ezen kategóriájába tartozó két alapanyagon (XAR400, S960QL) valós és

Alapanyag: S960QL	Nyugvó levegős hűtés	Intenzív hűtés vízzel
Alapanyag szövegszerkezete:	Hevített lemez szövegszerkezete (lásd korábban 5. táblázat)	
		
348 HV 10	343 HV10	432 HV10
Szimulációs eredmények		
$T_{max} = 675 \text{ } ^\circ\text{C}$		
	338 HV10	339 HV10
$T_{max} = 800 \text{ } ^\circ\text{C}$		
	321 HV10	342 HV10
$T_{max} = 1000 \text{ } ^\circ\text{C}$		
	356 HV10	410 HV10

7. táblázat. Az S960QL típusú acél szimulációs vizsgálati eredményei, összevetve a hevített lemeznél végzett vizsgálatok eredményével ($N 1000X$)

szimulált körülmények között vizsgáltuk a hővel érintett zónában lejátszó folyamatokat. A fizikai szimulációhoz szükséges hőciklusokhoz vékony (10 mm) és vastag (25 mm) lemezek több pontjában kimértük a hőmérséklet időbeli változását. A szimulációval, a kimért hőmérséklet-idő görbék alapján programozott hőciklussal terhelt próbadarabokon vizsgáltuk a kialakult szövegszerkezet, ill. az anyag keménységének változásait. Kísérleteink bizonyították, hogy a lángegyengetésnek jelentős hatása lehet az alapanyag eredeti tulajdonságaira. A nagy keménységű, kopásálló anyagok esetén még egy helyesen, a paraméterek betartása mellett végrehajtott technológia is a lokális kopásállóság csökkenéséhez

vezethet. Az S960QL acélnál a technológia paramétereinek betartása az anyag vizsgált tulajdonságaiban jelentős változást nem okoz (korábbi vizsgálataink alapján a 800 °C-os hevítésnél valószínűleg a szívósság jelentősen lecsökken – melynek vizsgálata folyamatban van), ugyanakkor a túlhevítés és a hirtelen hűtés kritikus keménységét okozhat, amely mind a szilárdsági, mind a szívóssági tulajdonságok romlására utal.

A jövőben elemezni fogjuk, hogy a felvett hőciklusokból melyek lehetnek azok a mérőszámok (adott hőmérséklet felett eltöltött idő, hűlési sebesség, hűlési idő stb.), melyek leginkább alkalmasak a hőhatás közben lejátszó folyamatok hatásának vizsgálatára,

jellemzésére (hasonlóan a hegesztéstechnológiáknál használt $t_{8,5/5}$, $t_{8/5}$ hűlési időkre). Előkészítés alatt vannak továbbá szimulációs folyamatokkal készített próbatestek szívóssági vizsgálatait. Eredményeinkről egy következő publikációban számolunk be.

Irodalomjegyzék

- [1] Linde Group: Fundamentals of Flame Straightening, White Paper, pp.4-26, (2009).
- [2] Schäfer, D., Rinaldi, V., Beg, D.: Optimization and improvement of the flame straightening process (Optistright), Research Fund for Coal and Steel, ISBN: 978-92-79-22426-3, pp. 7-12, 117-128 (2012).
- [3] CEN/TR 10347:2006 Guidance for forming of structural steels in processing, BSI, ISBN: 0 580 49285 pp. 9-10 (2006).
- [4] Gyura, L., Balogh, D., Sztéránku, M.: Hegesztett szerkezetek lángegyengetése, 27. Hegesztési Konferencia, Budapest, pp.175–184 (2014).
- [5] Lindoflamm thermal engineering. Tailored solution for every heating application. Linde Group product catalogue, pp. 4 (2018)
- [6] ThyssenKrupp Europe Homepage, https://www.mtladv.com/wp-content/uploads/2016/01/xarr_2015_en.pdf, last accessed 2020/03/18
- [7] SSAB Homepage, <https://www.ssab.hu/products/brands/strenx/products/strenx-960>, (a letöltés időpontja: 2020.05.03)
- [8] Nacsá, G., Gyura, L.: Effect of flame straightening on material properties of Q+T high strength steels, MultiScience - XXXIII. microCAD International Multidisciplinary Scientific Conference, Miskolc-Egyetemváros, Magyarorszá: Miskolci Egyetem, pp. 1-12. Paper: B-6, 12 (2019)
- [9] MSZ CR ISO 15608:2000 Hegesztés. A fémek csoportosítási rendszerének irányelvei (2000)
- [10] MSZ EN ISO 15614-1:2017 Fémek hegesztési utasítása és hegesztéstechnológiájának minősítése. A hegesztéstechnológia vizsgálata. 1. rész: Acélok ív- és lánghegesztése, valamint nikkel és ötvözeti ívhegesztése (2017)
- [11] Gáspár M.: Effect of Welding Heat Input on Simulated HAZ Areas in S960QL High Strength Steel, METALS, 9, 11 p. 1226 (2019)

Gyura László, Linde Gáz Magyarország Zrt
Gáspár Marcell és Balogh András,
Miskolci Egyetem, Anyagszerkezet-tani és
Anyagtechnológiai Intézet