

# Nagy C-tartalmú acélszalagok lézersugaras hegesztéssel készült varratainak fáradása

Magasdi Attila<sup>1</sup>, Dobránszky János<sup>1</sup>, Nagy Péter<sup>2</sup>, Kálazi Zoltán<sup>3</sup>

## 1. Bevezetés

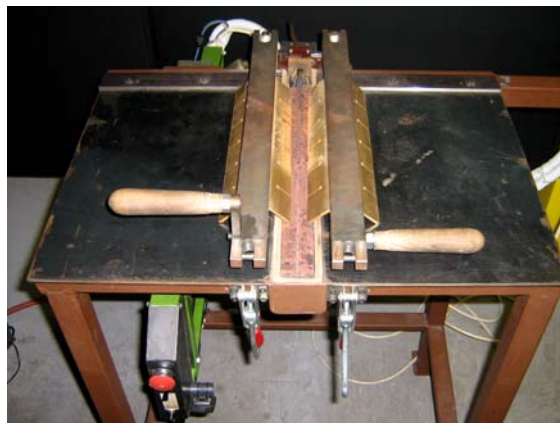
A nagy C-tartalmú acélszalagokat az ipar számos területen alkalmazza mint alapanyagokat. A belőlük készülő termékek palettája rendkívül széles (pl. fűrészlapok, körfűrészek, laprugók, sodronyok stb.). Az ezekből az acélokból készített acélszalagok, kedvező mechanikai tulajdonságaiknak köszönhetően számos felhasználási területen nagy igénybevételnek vannak kitéve. Ennek következményeként e termékek élettartama korlátozott, tönkremenetelük gyakran fáradásos jellegű, bemetszések vagy hegesztett kötések mentén történő repedés, törés formájában jelentkezik.

A hidegen hengerelt, nemesített acélszalagok feldolgozását, például a fűrészlapgyártást a tápiószecsői A-LAP Kft. végzi. A szalagfűrészlapok a fafeldolgozóipar egyik leggyakrabban használt szerszámai. Alapanyaguk jellemzően nagy C-tartalmú ötvöztelen acél. E szerszámok jellegzetes tönkremeneteli formája a fáradásos törés, amit a szerszámok ciklikus terhelése vált ki. A repedések rendszerint a hegesztett kötésben, avagy annak hőhatásövezetében jelennek meg; ilyenkor általában varrathiba vagy a hőhatásövezetben jelen lévő, kis alakváltozó képességű szövetelem okolható a fáradásos repedés kialakulásáért.

A végtelenített fűrészlapok a vágási folyamat alatt jelentős fásztó igénybevételnek vannak kitéve. Ez a terhelés egy ismétlődő hajlító és lüktető húzóterhelésből tevődik össze. A hajlítóterhelés a szalagfűrész megvezető kereken történő legördüléséből adódik. A lüktető-húzó igénybevétel pedig a szalagfűrész előfeszítettségének és a vágás során fellépő fogerőnek a következménye. Ezen dinamikus igénybevételek az üzemi tapasztalatok alapján leginkább a fogtövet és a hegesztett kötést veszik igénybe. A szalagfűrész anyagának kifáradása a szalag szakadásához is vezethet, s ez a fokozott balesetveszély mellett nagy javítási költséget is jelent.

## 2. Fűrészlapok hegesztése

A faipari szalagfűrészlapok végtelenítéséhez az ömlesztőhegesztések közül a fogyóelektródás védőgázos ívhegesztést alkalmazzák. A jellemző lapvastagság 1-2,2 mm. A hegesztéshez az előre fogazott szalagot megfelelő hosszúságúra vágják, majd a hegesztéshez előkészített lap két végét előmelegítő készülékben rögzítik illesztési hézag nélkül. Az előmelegítő készülék (1. ábra) az összehegesztendő lapok végét a lehülési sebesség csökkentése érdekében [1] 425 °C-ra melegíti elő, mivel a szalagfűrészlapok a nagy karbon-tartalom miatt hidegrepedésre különösen hajlamosak. Az előkészített szalagot fűzőhegesztéssel rögzítik, majd bekezdő és kifutólemezek használata mellett egy lépesben hegesztik. A hegesztéshez Ar+18% CO<sub>2</sub> védőgázt, a gyökvédelemhez tiszta Ar-t alkalmaznak. A hegesztéshez használt hegesztőhuzal átmérője 0,6 mm, minősége pedig G3Si1. A hegesztést követően az elkészült varratot szintén 425 °C-on 5 percre megeresztik, hogy a lehülés során kialakult martenzit ne ridegítse el a varratot.



1. ábra – Az előmelegítő készülék

Mivel a szalagfűrészlapok egyik legjelentősebb fejlesztési iránya az előfeszíthetőség növelése, a hegesztett kötések fejlesztése elkerülhetetlen. Jelenleg a hegesztett kötés mechanikai tulajdonságai határozzák meg a maximális előfeszíthetőséget ezért új, jobb mechanikai tulajdonságokat biztosító, hegesztési technológia alkalmazása növelheti a lapok előfeszíthetőségét és ezzel jobb futási és vágási tulajdonságait.

(1) tudományos segédmunkatárs, MTA–BME Fémtechnológiai Kutatócsoport (MTA FTKCS), levélcím: ✉ magasdi@eik.bme.hu

(2) tudományos főmunkatárs, MTA–BME Fémtechnológiai Kutatócsoport (MTA FTKCS)

(3) fejlesztőmérnök, A-LAP Kft.

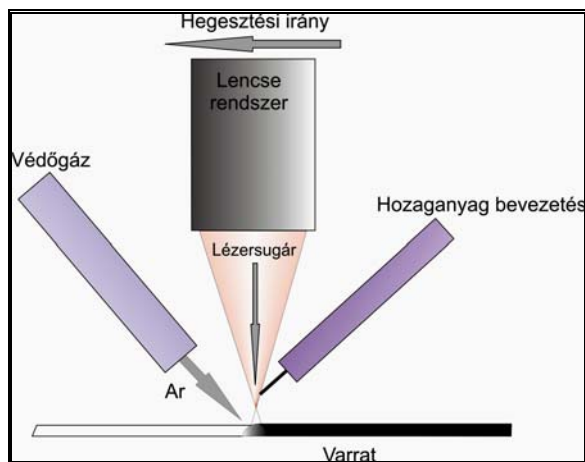
(4) osztályvezető, Bay Zoltán Alkalmazott Kutatási Közalapítvány, Lézer technológiai Osztály

Mivel a lézersugaras hegesztési technológia pontosan szabályozható, kis hőbevitelt tesz lehetővé és kiváló minőségű varratok hegeszthetők vele, ezért alkalmazása a szalagfűrészlapok végtelenítésére további távlatokat nyithat meg a szalagfűrészlapok fejlesztése terén.

### 3. A szalagfűrészlapok lézersugaras hegesztése

A lézersugaras hegesztéssel termelékenyen, jól szabályozott hegesztési paraméterekkel és csekély hőbevitellel hegeszthetők a szalagfűrészlapok. A lézersugaras hegesztés során a varratba fajlagosan bevitt energia csekély, de az eljárás energiasűrűsége nagy, a bevitt hő kizárólag csak a varrat közvetlen környezetében hasznosul, csekély hőhatásövezetet és deformációkat eredményezve [2]. A lézersugaras hegesztésnél a hozaganyag varratba juttatása szintén megvalósítható, amennyiben vagy az ömledékbe, vagy a lézernyaládba adagoljuk a hegesztőhuzalt (2. ábra).

A lézersugaras hegesztés esetében is az elsődleges probléma a hidegrepedés, mely a jelenleg is használatos előmelegítéssel és hegesztést követő hőkezeléssel elkerülhető. A lézersugaras technológia érzékenységet az illesztési hézagra elkerülhetjük megfelelő mértékű defókuszálással, mely a lézersugár foltátmérőjét növeli, így szélesebb ömledéktócsát hozva létre [3]. A hegesztési technológia tervezése során az elsődleges cél, hogy a hegesztési és a hőkezelési paramétereket úgy hangoljuk össze, hogy azok az optimális szilárdság mellett a fáradással szembeni legnagyobb ellenállást biztosítsák.



2. ábra – A hegesztés elrendezési vázlatja

### 4. Vizsgálatok

A lézersugaras hegesztéssel végtelenített szalagfűrészlapok fáradással szembeni viselkedését célszerűen fárasztóvizsgálattal vizsgálhatjuk, mely szinuszos húzó-lüktető terheléssel jól közelíti a hegesztett kötés üzemszerű terhelését. Fárasztóvizsgálattal emellett jól kimutatható, hogy a fáradást legjobban befolyásoló paraméterek az előmelegítési hőfok és a megeresztési idő [4]. Az iparban jelenleg is használatos 425 °C-os előmelegítést és 5 perces megeresztési időt alapul véve, felállítható egy kísérleti terv a fárasztóvizsgálat próbatestjeinek hegesztéséhez. A kísérletekhez felhasznált C75-ös szalagfűrészlap alapanyag kémiai összetétele az 1. táblázatban látható [5].

Az előzetes hegesztési próbák alapján meghatározott hegesztési paramétereket, melyek a teljes átolvadást és megfelelő méretű varratdudort [6] biztosítanak a 2. táblázat foglalja össze. A próbatestek hegesztéséhez lézernyaládba vezetett hideghuzalos technika került alkalmazásra. A varratot mind a korona, mind a gyökoldalról Ar védőgáz védte az oxidációtól. A hegesztéshez használt hegesztőfejről készült felvétel a 3. ábrán látható. A próbatestek hegesztéséhez választott hegesztési és hőkezelési paraméterek a 3. táblázatban láthatók.

Gyártó	C%	Si%	Mn%	S%	P%
Martin Miller	0,76	0,35	0,65	Max. 0,035	Max. 0,035

1. táblázat – A kísérletekhez használt alapanyag összetétele

Hegesztési sebesség mm/min	P kW	$V_{huzal}$ mm/min	Foltátmérő mm	Védőgáz l/min	Gyök-gáz l/min
500	2	360	2	13	4

2. táblázat – A kísérletekhez alkalmazott hegesztési paraméterek

A fárasztóvizsgálathoz a próbatestek kivétele a varratokból lézersugaras vágással történt, majd mind a korona, mind a gyökoldali varratdudor eltávolítása után a próbatestek végleges méretének megadása köszörüléssel történt. A terhelés meghatározása az alapján történt, hogy a teljes terhelési tartomány a szakítóvizsgálat során mért folyáshatár felett legyen [7], de a maximális terhelés nagy biztonsággal ne érje el

a szakítószilárdságot. Ezen megfontolások alapján közép feszültségnek a 950 MPa adódott. A terhelési amplitúdó  $\pm 110$ MPa volt.



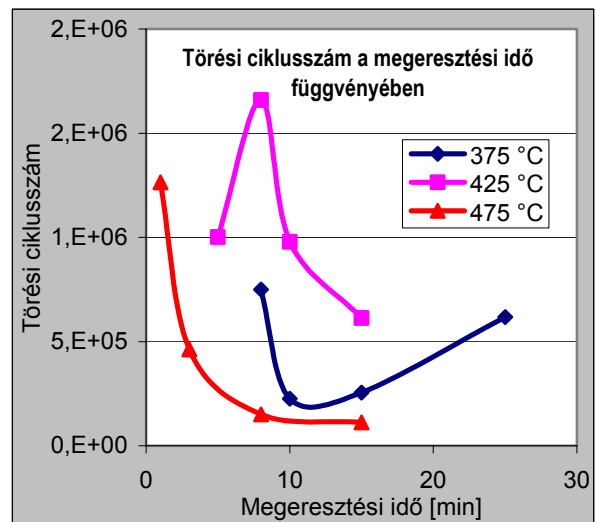
3. ábra – A lézersugaras hegesztőfej

Sorszám	Hőmérséklet [°C]	Megeresztési idő [min]
1	475	1
2	475	3
3	475	8
4	475	15
5	425	5
6	425	8
7	425	10
8	425	15
9	375	8
10	375	10
11	375	15
12	375	25

3. táblázat – A kísérletekhez alkalmazott hőkezelési paraméterek

A 375 °C-on előmelegített és megeresztett minták esetében az átlagos törésig tartó ciklusszám a 10 és 15 perces megeresztési idők esetében hozta a legrosszabb eredményt (4. ábra). A rövidebb időknél várhatóan – a varrat és a hőhatásövezet teljes elridegedése folytán – nem következhet be jelentős javulás az élettartamban, ezért a 25 percnél hosszabb megeresztési idők használata lenne indokolt. Mivel ipari termelésben már a 25 perces megeresztési idő is oly mértékben növelné a gyártási ciklusidőt, hogy az jelentős költségnövekedést okozna, ezért mindenképpen nagyobb előmelegítési hőmérsékletek alkalmazása indokolt. A 425 °C-on előmelegített és megeresztett mintákon mért törésig tartó ciklusszámok átlaga szerint nem a

jelenleg alkalmazott 5 perces megeresztési idő biztosítja, a lézersugaras hegesztéssel készült kötések esetén, a legnagyobb fáradással szembeni ellenállást. A 8 perces megeresztési idővel készült mintákon mért törésig tartó ciklusszámok átlaga bizonyult a legjobb eredménynek az összes minta közül. Ez azt mutatja, hogy a jelenleg is alkalmazott 425 °C-os előmelegítés megfelelő a hegesztett kötések fáradási tulajdonságainak maximalizálásához. A 475 °C-os előmelegítéssel készült minták esetében a törésig tartó ciklusszám átlaga monoton csökkenő jellegűt mutat a megeresztési idő függvényében. Az egy percnél rövidebb idejű megeresztések az ipari termelésben szintén nem javasoltak, mivel a jelenlegi technológia mellett pontos betartásuk nehezebben kivitelezhető.

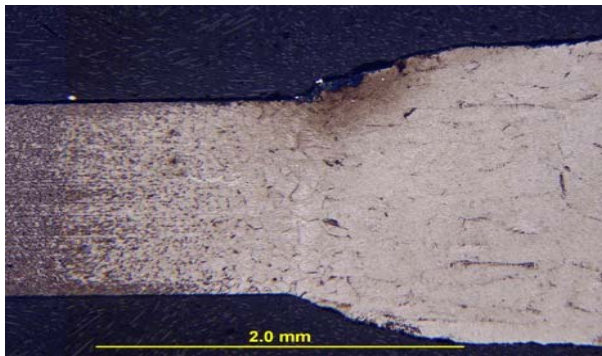


4. ábra – Törési ciklusszámok a megeresztési idő függvényében

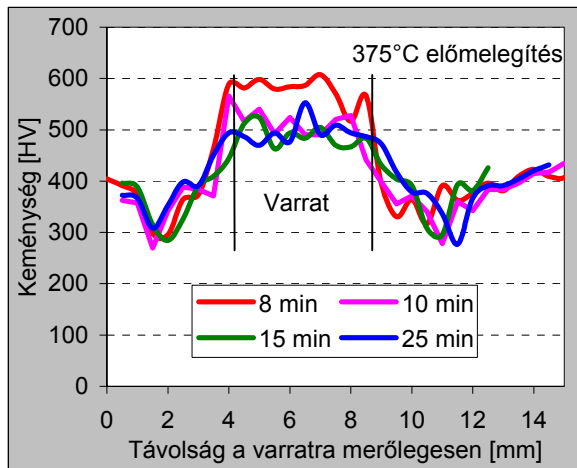
A hegesztett varratokon végzett metallográfiai és keménységmérési vizsgálatok eredményei is jól alátámasztják a fáradtörésvizsgálat során mért értékeket. A 375 °C-on előmelegített, 8 perces megeresztési idejű minta metallográfiai csiszolata jól mutatja, hogy mind a varratban, mind a hőhatásövezetben fellelhető martenzit (5. ábra), ami ridegsége folytán könnyen repedések kiindulópontja lehet. A megeresztési idő növekedtével a martenzit elbomlik. A varratban található martenzit elbomlása jól nyomon követhető a mintákon mért keménységprofilokon is (6. ábra). A 425 °C-on előmelegített minták esetében az idővel a hőhatásövezetben jelentős mennyiségű ferrit kezd kiválni (7. ábra), ami bár szívóssága révén képlékeny csuklóként viselkedik, de a varrat szilárdsági tulajdonságait rohamosan rontja.

A mintákon mért keménységprofilok is jól tükrözik, hogy az 5 és 8 perces megeresztési idők

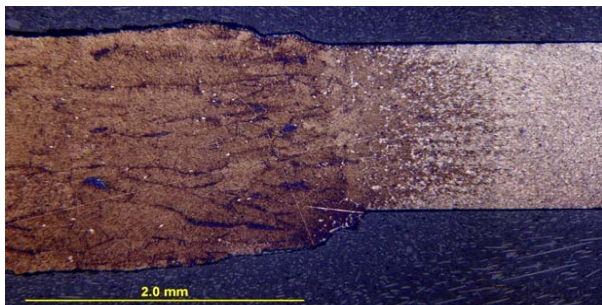
esetén észlelhető a legkisebb felkeményedés és kilágyulás az alapanyag keménységéhez képest (8. ábra). A 475 °C-on előmelegített minták csi-szolatain widmannstätten ferrit látható a fúziós zóna határán és ferritkiválások a hőhatásövezetben. A ferrit (9. ábra) e mintáknál is jelentősen rontja a szilárdsági tulajdonságokat, és a fáradással szembeni ellenállást is [8]. Ezt jól tükrözi a mintákon mért keménységeloszlási profil is (10. ábra).



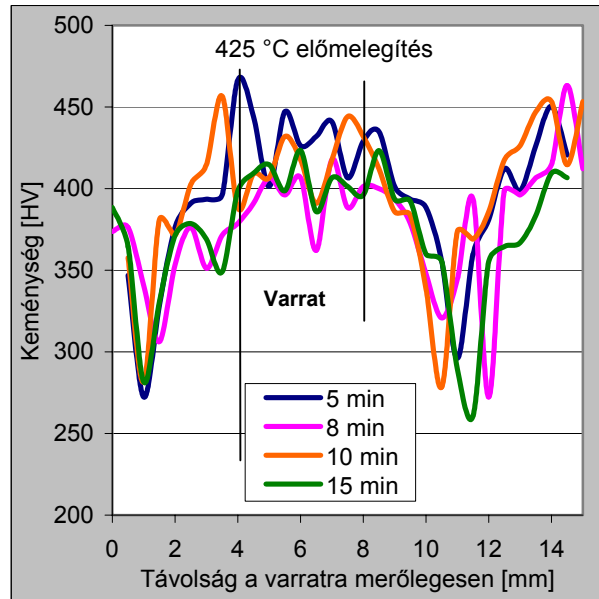
5. ábra – Martenzit a varratban (375 °C előmelegítés)



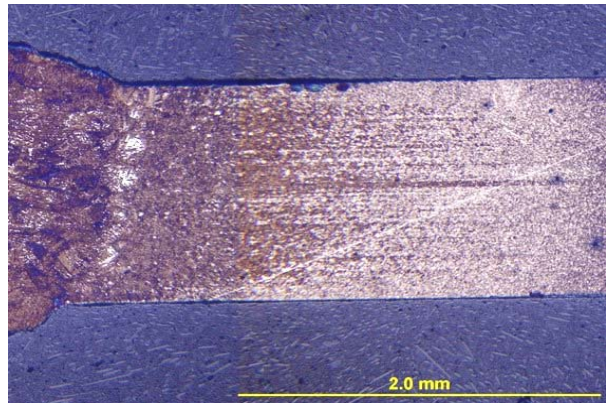
6. ábra – Keménység a varratban (375 °C előmelegítés)



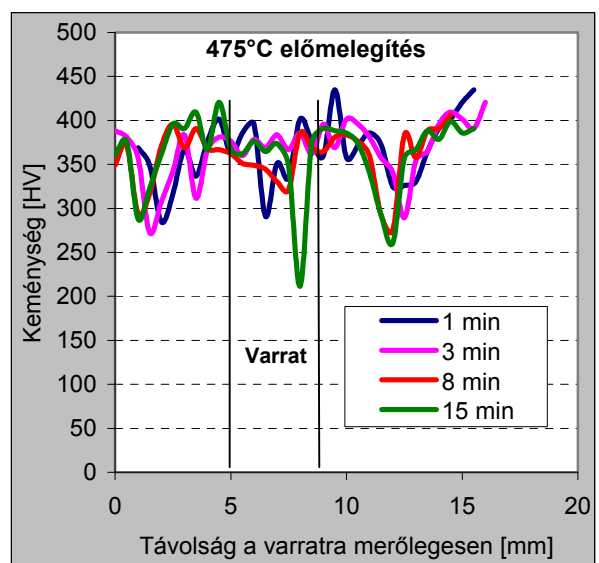
7. ábra – Ferrit a hőhatásövezetben (425 °C előmelegítés)



8. ábra – Keménység a varratban (425 °C előmelegítés)



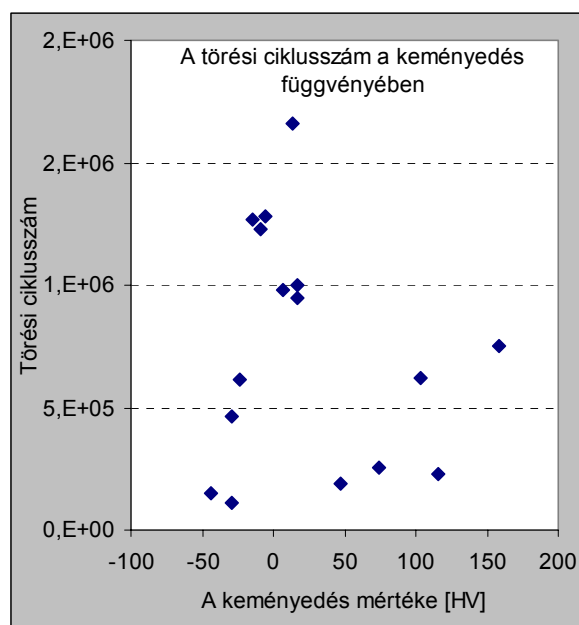
9. ábra – Widmannstetten-ferrit a fúziós zóna határán (475 °C előmelegítés)



10. ábra – Keménység a varratban (475 °C előmelegítés)

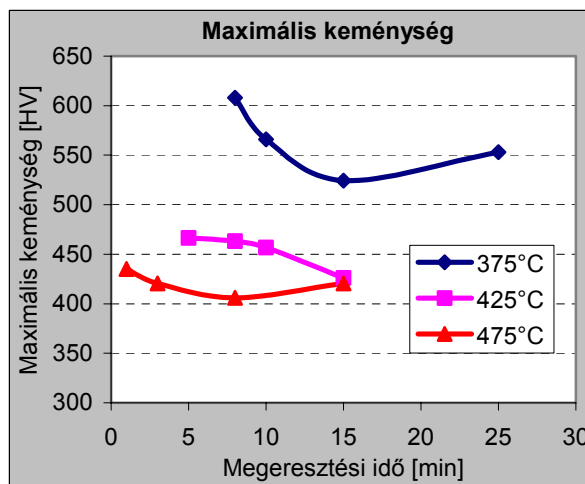
## 5. Összegzés

A különböző hőfokon előmelegített és megeresztett mintákon végzett vizsgálatok és a fázisátvitel vizsgálat eredményei közt legelősebben a keménységmérés emeli ki a kapcsolatot. A hegesztett kötések esetében a varratban tapasztalható felkeményedés a kötés fáradási tulajdonságait negatívan befolyásolja. A vizsgált mintákon mért keménységértékek is ezt támasztják alá, ugyanis a legnagyobb törésig tartó ciklusszámot azon minták mutatták, amelyek a legkevésbé keményedtek fel az alapanyaghoz képest. A törésig tartó ciklusszám és az alapanyaghoz viszonyított felkeményedés közti kapcsolatot a 11. ábra mutatja.



11. ábra – Felkeményedés a varratban

A megeresztési idő, az előmelegítési hőfok és a kialakuló maximális keménység kapcsolatát szemlélteti a 12. ábra. Az ábra alapján az alapanyag keménységéhez képest a legkisebb felkeményedést a 425 °C-os előmelegítés mellett a 8-10 perces megeresztési idő garantálja, a vizsgálatok során alkalmazott hőbevitel mellett. A próbavarratokból kimunkált mintákon végzett vizsgálatok alapján a lézersugaras hegesztés kiválóan alkalmas a nagy C-tartalmú acélszalagok tompakötéseinek hegesztésére. Mivel a nagy C-tartalmú acélszalagok lézersugaras hegesztéssel készült varratai, messze felülmúlják a jelenleg használatos Ar védőgázos fogyóelektródás ívhegesztéssel készült varratokat a fáradási és mechanikai tulajdonságok tekintetében [9], a lézersugaras hegesztési technológia kiválóan alkalmas a jelenlegi hegesztési technológia kiváltására.



12. ábra – Maximális keménység a megeresztési idő szerint

## Szakirodalmi hivatkozások

1. Barralis J., Maeder G.: Précis de métallurgie élaboration, structures-propiétés et normalisation, Afnor-Nathan, 77
2. L.P. Borrego et al.: Fatigue behavior of laser repairing welded joints, Engineering Failure Analysis 14, (2007) 1586-1593
3. K.Y. Benyounis, A.G. Olabi, M.S.J. Hashmi: Effect of laser welding parameters on the heat input and weld-bead profile, Journal of Materials Processing Technology 164-165, (2005), pp. 978-985.
4. J. Dobránszky, A. Magasdi, J. Ginzler: Investigation of notch sensitivity and blade breakage of bandsaw blade steels, Materials Science Forum Vols 473-474, (2005) pp. 79-84
5. Dobránszky J: Nagy C-tartalmú acélszalagok folyamatos hőkezelése, Dunaferr Műszaki Gazdasági Közlemények, 128, 201-204, 2002.
6. Z. Sun, M. Kuo: Bridging the joint gap with wire feed laser welding, Journal of Materials Processing Technology 87, (1999) 213-222.
7. M. Eibl, C.M. Sonsino, H. Kaufmann, G. Zhang: Fatigue assessment of laser welded thin sheet aluminium, International Journal of Fatigue 25 (2003) pp. 719-731
8. Maria das Graças Mendes da Fonseca Gomes, Luiz Henrique de Almeida, Luiz Claudio F. C. Gomes, Iain Le May: Effects of Microstructural Parameters on the Mechanical Properties of Eutectoid Rail Steel, Department of Metallurgical Engineering and Materials, Rio de Janeiro, Brazil, 1997.
9. A. Magasdi, J. Dobránszky, F. Tusz, J. Ginzler: Fatigue properties of welded joints of high-carbon steels, Materials Science Forum Vols. 537-538. (2007) pp. 47-53