

## SZALAGFŰRÉSZLAPOK FÁRADÁSOS TÖRÉSEI

Dobránszky János<sup>(1,a)</sup> Ginsztler János<sup>(1,2,a)</sup>,  
Lovas Jenő<sup>(2,c)</sup>, Magasdi Attila<sup>(2,d)</sup>

<sup>(1)</sup> MTA Fémtechnológiai Kutatócsoport  
1111 Budapest, Goldmann tér 3., Hungary

<sup>(2)</sup> Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem,  
Anyagtudomány és Technológia Tanszék

<sup>(a)</sup> dobi@eik.bme.hu <sup>(b)</sup> ginsztler@mti.bme.hu <sup>(c)</sup> magasdi@eik.bme.hu <sup>(d)</sup> jlovas@eik.bme.hu

### Kivonat

Az eutektoidos acélok egyik legelterjedtebb alkalmazási területe a faipari szalagfűrészlapok gyártása. A gyártmányokkal szembeni fontos elvárás nagy vágási élettartam. Ezt a tulajdonságot az élettartáson kívül a kifáradással szembeni ellenállás biztosíthatja. Különösen kényes részei a szalagfűrészlapnak a fogtő és a hegesztési varrat, amelynek megfelelő minőségét csak a megfelelő minőségű nagy C-tartalmú alapanyag és annak hegesztésének helyes kivitelezése képes garantálni. A nagy C-tartalmú alapanyag és a hegesztett kötések vizsgálatának nyomán a szalagfűrészlapok törését, annak okait és a tönkremenetel elkerülésének lehetőségeit mutatja be ez a dolgozat.

### Bevezetés

A fűrészüzemek folyamatosan növekvő igényei a fűrészlapgyártókkal szemben is egyre növekvő követelményeket támasztanak. A modern termelési igények kielégítése érdekében a szalagfűrészlapoknak egyre nagyobb vágási pontosságot kell biztosítaniuk, amely csak a lapok előfeszítésének növelésével érhető el. Ezért az egyik fő fejlesztési irány a nagyobb feszíthetőségű szalagfűrészlapok kidolgozása. A megnövekedett terhelés természetesen növeli a szalagfűrészlapok kifáradási veszélyét is [1]. A nagy karbon tartalmú acélok, melyek a fő alapanyagai a szalagfűrészlapoknak, kiváló fáradási tulajdonságokkal rendelkeznek. A fogtő, ami geometriai feszültséggyűjtő helyként viselkedik, a hegesztett kötés pedig, mellyel a lapokat végtelenítik, inhomogenitást és ezáltal belső feszültségeket okoz a fűrészlaptestben, melyek mikromágneses mérésekkel ki is mutathatók [2]. Az így fellépő belső feszültségek a fűrészlap fáradásos tulajdonságait jelentősen rontják. A megfelelő alapanyag választással és fogtőgeometria kialakítással a fáradásos fogtőrepedés esélye minimalizálható. A hegesztett kötés esetében pedig az azt követő hőkezeléssel a húzó irányú maradófeszültségek megszüntethetők, és nyomó irányú feszültségek hozhatók létre, melyek növelik a szerkezet fáradással szembeni ellenálló képességét [3].

### Az alapanyag és vizsgálatai

A szalagfűrészlapok anyagai jellemzően ötvöztelen vagy krómmal gyengén ötvözött szerszámacélok. A vezetőképesség a C60, a Ck75, a C75Cr és az 50CrV4 amelyeket nemesített állapotban használnak fel, és a vágóéleket keményfém- vagy gyorsacéllapkával látják el.

A szerszámok igénybevétele 3 tényező együttes hatásából adódik:

1. a szerszám előfeszítése (egy tengelyű húzás)
2. a hajtókerek görbületi ívének felvételekor létrejövő hajlítás
3. a vágáskörnyezeti terhelések.

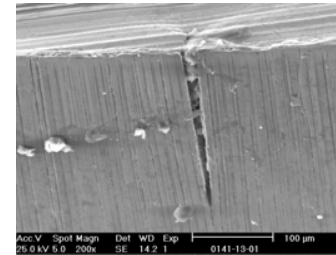
A harmadik csoportba sorolt terhelések annyira bonyolultak, hogy azok elemzése külön kutatások tárgya, az első két csoportba sorolt egyszerű terhelések viszont jól leírhatók, és együttesen a szerszám fárasztó terhelését jelentik [4], amelynél a középfeszültséget az előfeszítés adja, amire szuperonáldódik a hajlításból eredő húzófeszültség a lap külső oldalán, ill. nyomófeszültség a lap belső oldalán. Ez a terhelés a felelős a szerszámok töréseinek túlnyomó részéért, amelyet fogtőrepedés képződése vezet be [5].

### Tönkremenetel típusok csoportosítása károsodás analízissel

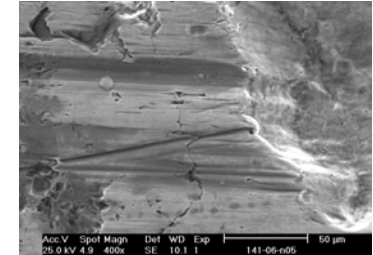
A szalagfűrészlapok törése minden esetben fáradásos jellegű. A károsodás elemzése arra mutatott rá, hogy a szerszám töréseket az alapján célszerű osztályozni, hogy a fáradásos törés első szakasza, a repedésképződés milyen kiváltó tényezőre vezethető vissza. Ebből a szempontból a töréseket a következő típusokra lehet osztani:

1. Közönséges fogtőrepedés: a hajlításból származó húzófeszültség okozza a fűrészlap külső oldalán (1. ábra).
2. Berepedés a szerszám felületén: a fűrészlaptest csiszolásakor keletkezik mindkét (külső és belső) oldalon (2. ábra).

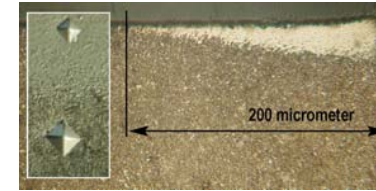
3. Kösztörülés okozta repedés: a fogélszalagon jöhet létre a kösztörűkő kifutási oldalán annak következtében, hogy egy keskeny sávban martenzit keletkezik (3. ábra).
4. Kösztörülési sorja okozta repedés: a fogélszalagon jöhet létre a kösztörűkő kifutási oldalán annak következtében, hogy a kösztörülési sorja mikrorepedései továbbterjednek a laptésben (4. ábra).
5. Hegesztési varratban keletkező repedés: a varratfémben keletkezik, ha abban martenzit keletkezik a helytelen hegesztési technológia következtében. (5. ábra).
6. Hegesztési varratban keletkező repedés: a varratfémben keletkezik, ha abban melegrepedés vagy varrathibák (porozitás) alakulnak ki (6.a ábra).
7. Hidegrepedések a hőhatásövezetben (6.b ábra): elégtelen előmelegítési illetve hűtési paraméterek eredménye képpen martenzit jelenik meg a hőhatásövezetben (6.c ábra).



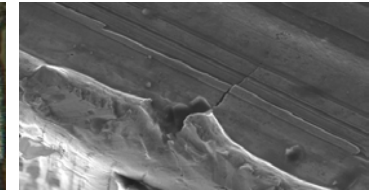
1. ábra –Általános fogtőrepedés



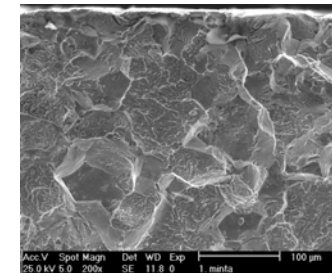
2. ábra – Kösztörülés okozta felszíni repedések



3. ábra – Kösztörülés hatására képződött martenzit



4. ábra – Kösztörüléstől “megégett” felszín repedése



5. ábra Hegesztett varrat rideg törete

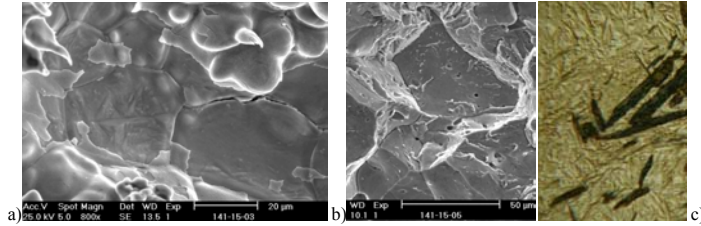
### Kísérletek és eredmények

A szalagfűrészlapok nemesített acélszalagjai tulajdonságainak vizsgálata különleges megközelítést kíván. A nagy C-tartalmú, nemesített acélszalagoknál figyelembe kell venni, hogy az esetek jelentős részében szerszám-acélként való felhasználásról van szó.

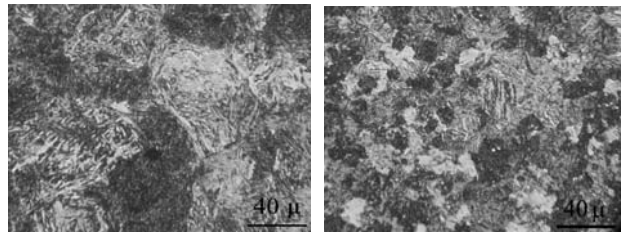
Ebből az alaptételből kiindulva a károsodás feldolgozása és a kutatómunka eredményeként letisztult egy olyan vizsgálati rendszer, amely átfogó értékelési keretet ad a nemesített acélszalagok minősítésére. A vizsgálati rendszer – a szakmai-tudományos igények különböző mélységeiben – lehetővé teszi a folyamatos nemesítősorokon gyártott, nagy C-tartalmú acélszalagok egyedi, ill. összehasonlítható vizsgálatát.

A vizsgálati rendszer elemei a következők:

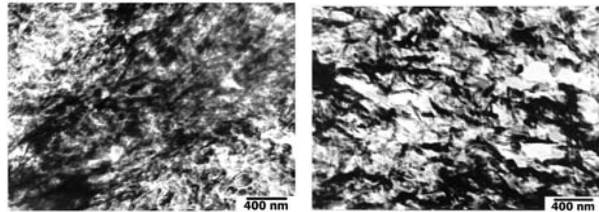
1. az alapanyag kémiai összetételének értékelése,
2. optikai mikroszkópia: az elsődleges ausztenit szemcsenagyság meghatározása (7. ábra),
3. pásztázó elektronmikroszkópos vizsgálat metallográfiai csiszolatokon [6],
4. transzmissziós elektronmikroszkópia a karbidszerkezet meghatározására (8. ábra),
5. röntgendiffrakciós vizsgálat a maradék ausztenit mennyiségének meghatározására,
6. EBSD vizsgálat a maradék ausztenit mennyiségének meghatározására, a 9. ábrán a ferrit és ausztenit szemcsék „térképe” látható [7]
7. kisciklusú fárasztás bemetszett próbatestekkel (10. ábra),
8. szakítóvizsgálat bemetszett próbatestekkel, Czoboly-Radon vizsgálat (11. ábra),
9. speciális ütővizsgálat,
10. speciális tépővizsgálat (Navy-test).



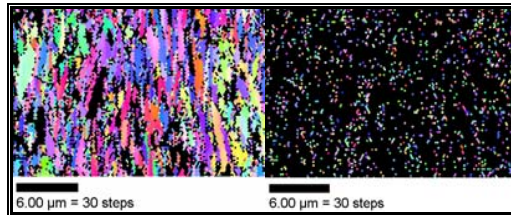
6. ábra – a) Melegrepedések a varratban b-c) Hidegrepedés és martenzit a hőhatásövezetben



7. ábra – Elsődleges ausztenit szemcseméret két különböző minta esetében



8. ábra – Két különböző szalagfűrészlap minta karbidszerkezete TEM-replika felvételen



9. ábra – Megeresztett martenzit (bal) és maradék ausztenit (jobb) szemcsék térképe. A maradék ausztenit mennyisége 5,7 és 16,8% közötti.

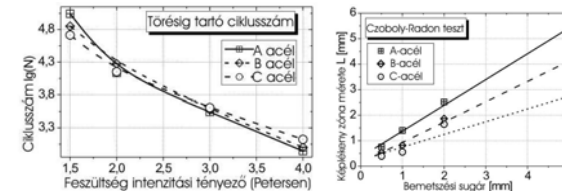
A maradék ausztenit hasznossága abban áll, hogy fékezi a repedésterjedést, és a terheléskor keményedést biztosít „ott, ahol kell”, ezzel nagyban növeli az anyag ellenállását az ismétlődő igénybevételekkel szemben. Fűrészlapokban a bombirozás során martenzit alakuló ausztenit biztosítja azt, hogy a behengerelt feszültség szerkezet relaxációja minél később, ill. minél kevésbé következzen be. A mérések szerint a maradék ausztenit mennyisége akár 10-15% is lehet, és egy anyagon belül is változhat a vastagsággal.

A bemetszett próbatesteken elvégzett kisciklusú fárasztó-vizsgálat segítségével azonos anyag típusú, de különböző gyártmányú acélzalagok be-metszésérzékenységét hasonlítottuk össze. A vizsgálat során a törésig tartó ciklus-számot regisztráltuk és vetettük össze különböző feszültségintenzitási tényezők esetében. Az alkalmazott terhelés 24 Hz-es szinuszos húzó-lüktető terhelés volt, 455 MPa amplitúdóval, 910 és 1060 MPa közép-feszültséggel.

A törési szívósságot Czoboly-Radon vizsgálat segítségével becsültük. A Czoboly-Radon vizsgálat bemetszett szakítópróbatestet használ a bemetszés tövében kialakuló képlékeny zóna méretének becsülésére ( $L_0$  a végtelen éles bemetszés tövében kialakuló képlékeny zóna mérete). Az eredmények a 11. ábrán láthatók. Az extrapolációval becsült képlékeny zóna méretének ismeretében a törési szívósság már számítható. A képlékenyen alakváltozott zóna méretei és a számított törési szívósság értékek az 1. táblázaton láthatók.

### A hegesztett kötés és vizsgálatai

A nagy karbon tartalmú acélok hegesztésének egyik legfőbb problémája a hidegrepedés [8]. A jelenség el-



10. ábra – Kisciklusú fárasztóvizsgálat eredményei 11. ábra – Képlékeny zóna mérete

	Képlékeny zóna mérete $L_0$ [mm]	Törési szívósság $K_{IC}$ [MPa.m <sup>0.5</sup> ]
A-acél	0,158	141,3
B-acél	0,107	130,8
C-acél	0,345	221,1

1. táblázat

kerülhető előmelegítéssel és hegesztést követő hőkezeléssel. A hegesztés és a hőkezelések technológiai paraméterei mind a kötés szilárdságát, mind a fáradási tulajdonságait befolyásolják. Ezért a megfelelő szilárdságot és fáradási tulajdonságokat biztosító hegesztési és hőkezelési paraméterek meghatározása elengedhetetlen a minőségi hegesztett kötés készítéséhez. A keresett paraméterek meghatározására kisciklusú fárasztóvizsgálaton alapuló kísérlet sorozatot végeztünk.

### Hegesztési kísérletek

A hegesztési paraméterek fáradásra gyakorolt hatását hogy megvizsgáljuk, hegesztési kísérleteket végeztünk. A kötések automatizált hegesztőberendezéssel készültek, hogy az emberi tényezőt kizárjuk. A felhasznált alapanyag 1,25 mm vastagságú, C75 anyagú ötvöztelen szénacél szalag volt. Az alapanyag kémiai összetétele az 2. táblázatban látható. A hegesztés mellett alkalmazott hőkezelés egy hegesztést megelőző előmelegítésből és egy hegesztést követő hűtéstől állt. Az előmelegítés és a hűtési hőmérséklete azonos volt. A hőkezelések két paramétere így az előmelegítési hőmérséklet és a hegesztést követő hőkezelés időtartama. A megfelelő paraméterek alkalmazásával a varratban és a hőhatásövezetben kialakuló ridgek megjelenése és egyben a hőhatásövezet kilágyulása is elkerülhető. E követelmények mellett a hőkezelési paramétereknek a legjobb, kifaradással szembeni ellenállást is biztosítaniuk kell.

Acéltípus	C	Si	Mn	P	S	Cr	O	N	H
C75	0,74	0,19	0,62	0,009	0,002	0,35	0,0048	0,0079	0,00056

2. táblázat. Az alapanyag kémiai összetétele

A próbahegesztések argon védőgázos fogyóelektródás ívhegesztéssel készültek. Ar + CO<sub>2</sub> keverék védőgázzal. A felhasznált hozaganyag ötvöztelen, kis karbon tartalmú, 0,8 mm átmérőjű huzal volt. A hegesztés során használt paraméterek a 3. táblázatban láthatók. A paraméter, melynek hatását vizsgáltuk a fáradási tulajdonságokra, a hegesztést követő hőkezelés ideje volt. A próbahegesztések öt különböző hűtési idővel készültek, kettőtől hat percig. A hőkezelést követően a próbavarratokat nyugvó levegőn hűtöttük le.

Hegesztő- áram	Ívfeszültség	Hegesztési sebesség	Huzal- előtolás	Előmelegítés	Védőgáz	Védőgáz- hozam
A	V	cm / perc	m / perc	°C		liter / perc
16,5	36	22	1,9	425	Ar + 2,5% CO <sub>2</sub>	12

3. táblázat. Hegesztési paraméterek

A fázistörésvizsgálathoz a próbatesteket a próbavarratokból sikközörüléssel készítettük el. A próbatestek nem tartalmaztak bemetszést, mivel a varrat és környékének inhomogén zónája már eleve biztosított egy feszültséggyűjtő szerkezetet.

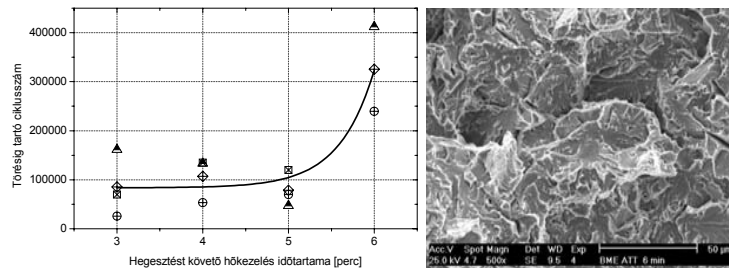
### Vizsgálatok és eredmények

A fáradási tulajdonságok vizsgálatára fázistörésvizsgálatot végeztünk. A próbatesteket MTS 810 szervo-hidraulikus fázistörésgépen vizsgáltuk. A vizsgálat során erővezérlést alkalmaztunk: terhelésnek szinuszos lüktető-húzó terhelést választottunk, egyszerűsített "vágáskörnyezeti" terhelésként. Középfeszültségnek 680 MPa-t, amplitúdónak pedig 400 MPa-t választottunk, míg a terhelés frekvenciája 25 Hz volt. A mért paraméter a törésig tartó ciklusszám volt.

A repedés megjelenését és a repedésterjedést nem vizsgáltuk, mivel az néhány terhelési ciklus alatt lezajlott. Az 12. ábrán a próbatesteken mért, törésig tartó ciklusszámok láthatók a hegesztést követő hőkezelés időtartamának függvényében.

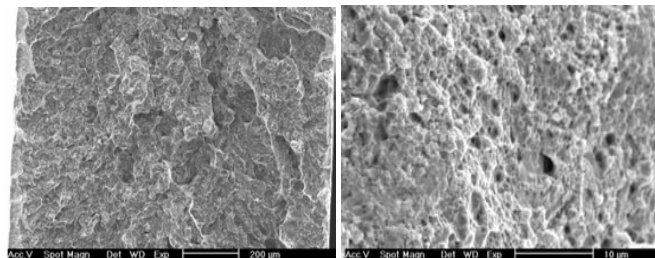
Ahogy az 12. ábrán is látható, a legjobb fáradási tulajdonságokat mutató varrat 6 perces hőntartási idővel érhető el. Ezen esetben a fáradásos törés a hőhatásövezetben zajlott le, míg a többi próbatest esetében a varratban zajlott le a repedésképződés és -terjedés, a HSLA acélokhoz hasonlóan [9].

A fázistörésvizsgálatot követően a kapott törétfelületeket is megvizsgáltuk. A vizsgálathoz pásztázó elektromikroszkópot használtunk. A törétfelületek jelentős hányada rideg jellegű, és mintegy 5%-a volt csak szívós (13. ábra). A szívós jellegű törétfelületek a keresztmetszet szélénél voltak csak fellelhetők. A 14. ábra kis nagyítású felvételén (balra) a keresztmetszet teljes szélessége látható, a nagy nagyítású felvételén (jobbra) pedig a szélek szívós törétfelülete.



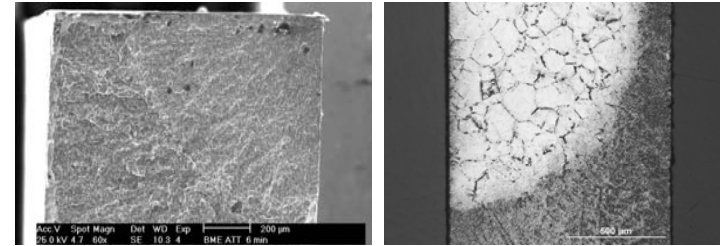
12. ábra. Törésig tartó ciklusszám a hegesztést követő hőkezelés ideje függvényében (balra)

13. ábra. Rideg törétfelület a hőhatásövezetben (jobbra)



14. ábra. A próbatest törétfelülete (bal) és a szívós törés a széleken (jobb)

A fáradásos törésre utaló nyomok is láthatók a próbatestek törétfelületein. A repedés kiindulási pontja, ahogy a radiális vonalak is mutatják a 15. ábrán, a keresztmetszet sarkánál található, ahol a feszültségkoncentráció a legnagyobb.

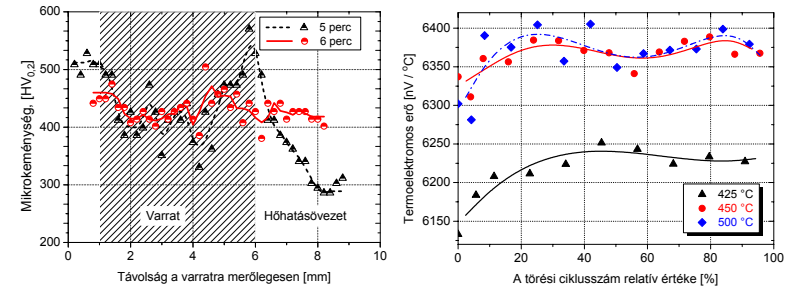


15. ábra. Fáradásos törés kiindulási pontja (balra)

16. ábra. Martenit a hőhatásövezetben (világos, a sötét rész a varrat, jobbra)

A nem elégséges időtartamú hegesztést követő hőkezelés miatt a hőhatásövezetben kialakuló mikrostrukturát martenitizációs fázis is előfordulhat, ridegítve a szerkezetet. A másik, tényező, mely hatással van a hőhatásövezet mechanikai tulajdonságaira, a hegesztési folyamat során kialakuló elsődleges ausztenit szemcsémérete. Túlzott hőközlésből adódóan az elsődleges ausztenit szemcsék átlagos mérete megnövekedhet, eldurvítva ezzel a szemcseszerkezetet, melyből a lehűlés során, a szobahőmérsékleten is stabil mikrostrukturát létrejön. Az így kapott varrat szövetszerkezete nem tudja biztosítani az elvárt mechanikai tulajdonságokat [10,11]. Megfelelő maratósi technikával az elsődleges ausztenit szemcsék határainak nyoma könnyen láthatóvá tehető, és így könnyen vizsgálható optikai mikroszkóppal (16. ábra). Emellett a másik, fáradással szembeni ellenállást befolyásoló tényező, a maradék ausztenit mennyisége a varratban és a hőhatásövezetben, amely visszaszórtelektron-diffrakcióval (EBSD) [12], röntgendiffrakcióval [13,14], mikromágneses módszerekkel [2,15] vagy Mössbauer-spektroszkópiával [16] mérhető, illetve számítható [17]. Az optimális maradék ausztenit-mennyiség megfelelő előmelegítéssel és hegesztést követő hőkezelési időtartammal biztosítható.

A varrat és a hőhatásövezet mechanikai tulajdonságainak a kötés menti eloszlását mikrokeménységméréssel vizsgáltuk. A próbatest keménységét a felülettel párhuzamosan és a kötésre merőlegesen mértük. A mérést 0,2 mm-es lépésközönként végeztük, hogy megkapjuk a hőhatásövezet és a varrat mikrokeménységeloszlását. Az 5 és a 6 perces, hegesztést követő hőkezelési idővel hegesztett próbatestek esetén mért értékek a 17. ábrán láthatók.



17. ábra. A hegesztett kötés keménységeloszlása (balra)

18. ábra – Termoelektromos erő a százalékos élettartam függvényében (jobbra)

Az 5 perces, hegesztést követő hőkezeléssel készült próbatest esetében felkeményedés tapasztalható a hőhatásövezetben, ami rideg, kemény fázis jelenlétére utal. A varratban és a hőhatásövezetben mérhető keménységértékek közti különbség befolyásolja a fáradásos tulajdonságokat is, mivel növeli a belső feszültségeket a kötés környezetében. A 6 perces, hegesztést követő hőkezeléssel készült próbatest esetében a varrat és a hőhatásövezet keménységi értékei közti kis különbség nem okoz jelentős csökkenést a hegesztett kötés fáradásos tulajdonságaiban.

A fáradási folyamat indukálta termoelektromos jellemzők megváltozását termoelektromos méréssel vizsgáltuk. A vizsgálathoz három, különböző hőmérsékleten, de azonos ideig hőkezelt (5 perc) mintát készítettünk. A termoelektromos erő először a fázistörésvizsgálatot megelőzően, majd az első 10000, és ezt követően minden



20000 ciklus után mértük. Minden mérést négyszer ismételtünk, hogy azokat átlagolva pontosabb adatokat kapjunk. A mért termoelektromos erő értékeket a százalékos élettartam függvényében a 18. *ábra* mutatja. Tiszán látható, hogy a kisebb előmelegítési hőmérséklethez (425 °C) tartozó görbe elkülönül a többi görbétől. A fázisátkezdeti ciklusai során a mért értékek növekednek, majd a görbe konstans értéken marad. A nagyobb előmelegítési hőmérsékletekhez tartozó görbék esetén a kezdeti emelkedést egy enyhe visszaesés követi a mért termoelektromos erő értékeknél.

A különbség a kisebb és nagyobb hőmérsékletű előmelegítések esetén létrejövő, eltérő karbidszerkezettel magyarázható, mivel a diffúziós feltételek eltérőek a vizsgált hőmérsékleteken és a termoelektromos erő mérése nagyon érzékeny a diffúzió meghatározta karbidszerkezetre. A 425 °C-s előmelegítéskor a fázisátkezdeti folyamat kezdetén a terhelés egy ciklikus lágyulást indukált a próbatestben, mivel a nemegyensúlyi karbidstruktúra feszültség szerkezete az egyensúlyi felé kezdett változni. A nagyobb hőmérsékletű előmelegítések esetében a karbidszerkezet egyensúlyi közeli, ezért a fázisátkezdeti folyamat indukálta képlékeny alakváltozás csak a szövetszerkezetben található ferrit keményedését okozza; ez pedig csökkenti a termoelektromos erőt, habár ez a keményedési folyamat hamar lelassul, és a ciklikus lágyulás lassan növelni kezdi a mérhető termoelektromos erőt.

### **Következtetések**

A szalagfűrészlapok bemetszésérzékenységét számos tényező befolyásolja. E tényezők és a vizsgálati eredmények értékelésével a szalagfűrészlap-alapanyagok bemetszés-érzékenysége értékelhető. A megfelelő maradék ausztenit tartalom a szalagok bemetszésérzékenységét jelentősen befolyásolja, a repedés terjedését hatékonyan gátolja. A fogtörepedés jelentős százalékáért a helytelen köszörlülés okolható.

A vizsgálatok eredményei alapján a fázisátkezdeti zóna a fűzési vonal és a szemcsedurvult tartománya a hőhatásövezetnek. A megfelelő előmelegítési hőmérséklettel illetve hőtartási idővel a varrat és a hőhatásövezet fázisátkezdeti szemben is ellenálló mikroszerkezete biztosítható.

Az ipari szalagfűrész káresetek 90%-áért, mint a fogtörepedés, a martenzites szövetszerkezet jelenléte a felelős. Ezért a megfelelő hőkezeléssel a rideg martenzites fázisok kialakulása a hőhatásövezetben elkerülendő, máskülönben a kötés szívósságának csökkenése mellett annak fázisátkezdeti érzékenysége is rohamosan növekszik.

A legrövidebb, hegesztést követő hőkezelési idő: 425 °C-s előmelegítés mellett, 6 perc kell legyen. Rövidebb hőkezelési idők nem garantálhatják a megfelelő, fázisátkezdeti szembeni ellenállást. Mindezek mellett a 6 perces hőkezelés esetén a fázisátkezdeti törés helye a hőhatásövezet, és nem a fűzési vonal, mint a rövidebb hőkezelési idők esetében.

A termoelektromos erő mérése nagyon érzékenyen követi a mikroszerkezeti változásokat, melyek a fázisátkezdeti folyamat alatt játszódnak le. A termoelektromos erő mérés érzékenysége a mikroszerkezeti különbségekre egy új eljárást nyújthat a fázisátkezdeti törés folyamatának megismerésére.

### **Köszönetnyilvánítás**

Dobránszky János a kutatás során Bolyai János Kutatási Ösztöndíj támogatásban részesült.

### **Irodalomjegyzék:**

- [1] Suresh S: Fatigue of Materials. Cambridge University Press, (1998) p. 297-302.
- [2] Mészáros I: Micromagnetic Measurements and Their Applications. Materials Science Forum, 414-415 (2003) p. 275-280.
- [3] Cheng X, Fisher JW, Prask HJ et al. : Residual stress modification by post-weld treatment and its beneficial effect on fatigue strength of welded structures. International Journal of Fatigue, 25 (2003) p. 1259-1269.
- [4] Sarwar M: Surface and Coating Technology, 108-109, 612-619, 1998.
- [5] Prohászka J: A fémek és ötvözetek mechanikai tulajdonságai, Műegyetemi Kiadó, 280-284, 2001.
- [6] Bouyne E, Flower H M, Lindley TC, Pineau A: Scripta Materialia, 39, 295-300, 1998.
- [7] Vantiger TR, Stephens RI, Karadag M: Int. Journal of Fatigue, 24, 1275-1284, 2002.
- [8] Mohandas T, Madhusudan Reddy G, Satish Kumar B: Heat affected zone softening in high-strength low-alloy steels. Journal of Materials Processing Technology, 88 (1999) p. 284-294.
- [9] Onoro J, Ranninger C: Fatigue behaviour of laser welds of high-strength low-alloy steels. J Mater Proc Tech 68 (1997) p. 68-70.
- [10] Prohászka J: Fémek és ötvözetek mechanikai tulajdonságai. Műegyetemi Kiadó (2001) p. 233-236.
- [11] Ginszler J, Nam SW, Szabó PJ: Factors affecting the change of 15Mo3 steel during creep. Mater High Temp 21 (2005:4) 187-192.
- [12] Berecz T, Szabó PJ: Study of the Isothermal Phase Transformations in Duplex Stainless Steels by EBSD Method. Materials Science Forum, 473-474 (2005) p. 177-182.
- [13] Eleőd A, Ziaja Gy, Stefániay V, Sajó I: Hidrosztatikus nyomás alatt végzett alakíthatósági vizsgálatok. Anyagvizsgálók lapja, 10 (2000:3) p. 80-83.
- [14] Nagy E, Mertinger V, Tranta F, Solyom J: Az alakítási textúra hatása a saválló acélokban végbemenő fázisátalakulásokra, Anyagok Világa, 4 (2003:1) [http://www.materialworld.uni-miskolc.hu/tartalom/2003/nov/hagy\\_e.pdf](http://www.materialworld.uni-miskolc.hu/tartalom/2003/nov/hagy_e.pdf) (2006-08-31)
- [15] Kovács J: Csapágyacélok maradékausztenit-tartalmának meghatározása. BKL Kohászat 130 (1997:8-9) p. 272-279.
- [16] Mészáros I, Káldor M, Hidasi B, Vértes A, Czako-Nagy I: Ausztenítés saválló acélban alakítás hatására keletkezett martenzites fázisok vizsgálata mikromágneses módszerrel és Mössbauer-spektroszkópiával. BKL Kohászat, 128 (1995:7-8) p. 253-257.
- [17] Réti T: The Influence of Change of Temperature Rate on the Kinetics of Non-isothermal Transformations. Gépgyártástechnológia, 39 (1999:9), p. 33-38.