



GÉPÉSZMÉRNÖKI KAR

Anyagtudomány és Technológia Tanszék

Eutektoidos acélszalagok hegesztett kötéseinek fáradása

Tézisfüzet

Magasdi Attila

okleveles gépészmérnök

Témavezető:

Dr. Dobránszky János

tudományos főmunkatárs

BUDAPEST

2009

Az értekezés bírálatai és a védésről készült jegyzőkönyv a későbbiekben a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem Gépészmérnöki Karának Dékáni Hivatalában megtekinthetők.

7. A tézispontokhoz kapcsolódó tudományos közlemények

- [1] **Magasdi A**, Molnár O, Dobránszky J: A bemetszésérzékenység és a fogtőrepedés vizsgálata szalagfűrészlapok alapanyagain. Előadások kivenetű: IV. Országos Anyagtudományi Anyagvizsgálati és Anyaginformatikai Konferencia és Kiállítás, Balatonfüred, 2003. október 12-14. 172.
- [2] Dobránszky J, **Magasdi A**, Ginsztler J: Bemetszésérzékenység és fogtőrepedés vizsgálata szalagfűrész lapokon. *Anyagok világa* 5 (2004:1) http://www.materialworld.unimiskolc.hu/tartalom/2004/dec/07_DJ_MA_GJ.pdf
- [3] **Magasdi A**, Dobránszky J, Ginsztler J: Investigation of notch sensitivity of high-carbon steel strips. Penninger A, Kullmann L, Vörös G (eds.): *Gépészet 2004, Proceedings of the Fourth Conference on Mechanical Engineering*, BUTE, Budapest, 2004, pp. 121-125.
- [4] Dobránszky J, **Magasdi A**, Ginsztler J: Investigation of notch sensitivity and blade breakage of bandsaw blade steels. *Materials Science Forum* 473/474 (2005) pp. 79-84.
- [5] **Magasdi A**, J. Ginsztler: Fatigue properties of high-carbon steel strips and their welded joints. *Scien. and Techn. Bull. of the "Aurel Vlaicu" Univ. of Arad* Vol. 1 (No. 3), 2005, pp.13-21.
- [6] **Magasdi A**, Dobránszky J, Tusz F, Ginsztler J: Fatigue properties of welded joints of high-carbon steels, *Materials Science Forum*, Vols. 537-538. (2007) pp. 47-53
- [7] **Magasdi A**, Dobránszky J: Nagy szénttartalmú acélok hegesztett kötéseinek fáradásos tulajdonságai. Előadásgyűjtemény, XII Országos Hegesztési Tanácskozás, 2006. szeptember 14-16, Budapest, Magyarország, (CD-ROM)
- [8] **Magasdi A**, Dobránszky J: Fatigue properties of the welded joints of high-carbon steel ribbons. Előadásgyűjtemény, First IIW South-East European Congress May 24-26, 2006, Timisoara, Romania, pp. 347-352.
- [9] **Magasdi A**, Dobránszky J: Szalagfűrészlapok fáradásos törései. Előadásgyűjtemény, IX. Országos Törésmechanikai Szeminárium, 2006. október 16-17, Miskolc, Magyarország

1. A kutatási téma

A faipari szalagfűrészlapok jelentős szegletét képezik a vágószerszámok körének. Anyaguk jellemzően nagy C-tartalmú ötvözetlen, nemesített állapotú acél. E szerszámok élettartamának növelése mind a felhasználó, mind a gyártói oldal közös igénye. A szalagfűrészlapok egyik jellemző tönkremenetele a fáradásos törés, ami a fogtövet és a szalagok végtelenítéséhez használt hegesztett kötést veszélyezteti. Mivel a szalagfűrészlapok fejlesztésének fő iránya a lapok előfeszíthetőségének növelése, ezért ezen acélszalagok hegesztett kötéseinek fáradásának és a hegesztési technológia fáradásra gyakorolt hatásának vizsgálata elengedhetetlen.

A szalagfűrészlapok leggyakrabban alkalmazott alapanyaga a C75S anyagminőségű nemesített, hidegen hengerelt acélszalag. A fogazott és végtelenített acélszalagból készült vágószerszámot az üzemi terhelések során jelentős húzófeszültség mellett a hajtó és vezetőkeréken történő legördülésből illetve a vágási folyamat során kialakuló laplengések következtében számottevő fárasztó igénybevétel terheli [Lengoc, McCallion 1995] [Tae 1999]. A szalagfűrészlapok fáradásával Dugdale és Sarwar foglalkozott behatóan [Dugdale, Sarwar 1996], de ők is csak a hajlításból adódó, fogtő kifáradását okozó fáradási folyamatot és a szalagfűrészlapok bevonatolásának hatását [Sarwar 1998] vizsgálták. Az előfeszítés, és az ahhoz hozzáadódó lüktető igénybevételek fogtövet és a hegesztett kötést fárasztó hatásáról, publikációk még nem születtek.

A szalagfűrészlapok alapanyagául szolgáló C75S nemesített acélszalagok hegesztett kötéseinek fáradását jelentősen befolyásolja, az eleve számos technológiai kérdést felvető, hegesztési technológia. Az alapanyag nagy C-tartalma számos hegesztési hiba forrása lehet [Bödök 1997]. A megfelelő kötészilárdságot és szívósságot biztosító hegesztett kötés készítésének alapvető feltétele a kötés előmelegítése és az elkészült varrat utólagos hőkezelése [Dobránszky 1998]. Mivel gyártástechnológiai oldalról a hegesztési paraméterek jelentősen behatároltak, ezért a kötés tulajdonságai leginkább a hegesztést kiegészítő hőkezelési lépések paramétereivel befolyásolhatók.

Mivel a fáradási folyamatokat jelentősen befolyásolják a varratban és a hőhatásövezetben kialakuló mikroszerkezeti tényezők, ezért mindazon technológiai paraméterek fáradásra gyakorolt hatásának vizsgálata indokolt, melyek a varrat avagy a hőhatásövezet mikroszerkezetét befolyásol-

ják [Tsay 1999]. A C75S anyagminőségű nemesített acélszalagok hegesztését megelőző előmelegítés hőmérséklete gyártástechnológiai megfontolások alapján mindig megegyezik a hegesztést követő utóhőkezelés hőmérsékletével, de a kötés mikroszerkezete e hőfok mellett könnyen befolyásolható az utóhőkezelés idejével is [Mohandas 1999].

A szalagfűrészlapok gyártásának jelenlegi technológiája szerint a lapokat védőgázos fogyóelektródás hegesztéssel végtelenítik, ötvözetlen hegesztőhuzal alkalmazásával. Bár szakmailag indokolt lenne [Szunyogh 2007], de sem Magyarországon, sem a magyar gyártó osztrák és francia partnereinél nem alkalmaznak ötvözött hegesztőanyagot a szalagok végtelenítéséhez [BME-MTAT 2000.]. A fogyóelektródás hegesztési technológia más, fáradási szempontból előnyösebb, koncentrált hőbevitellel járó hegesztési technológiával történő kiváltása pedig szintén teljesen érin tetlen kérdés a nemesített eutektoidos acélszalagok hegesztésének témakörében.

2. Szakirodalmi hivatkozások

- [Lengoc, McCallion 1995] Lengoc L, McCallion H, Journal of Sound and Vibrations (1995) 186(1) 125-179.
- [Tae 1999] Tae Jo Ko, Hee Sool Kim, International Journal of Machine Tools & Manufacture 39 (1999) 1185-1197
- [Dugdale, Sarwar 1996] Dugdale D. S., Sarwar M, Journal of Materials Processing Technology 56 (1996) 729-732 .
- [Sarwar 1998] Sarwar M., Surface and Coating Technology 108-109 (1998) 612-619
- [Bödök 1997] Bödök, K., Az ötvözetlen, gyengén és erősen ötvözött szerkezeti acélok korrózióállósága, különös tekintettel azok hegeszthetőségére, Budapest (1997)
- [Dobrászky 1998] Dobrászky J: Kis falvastagságú, nagy C-tartalmú acélok hegeszthetősége. Országos Hegesztési Konferencia – Siófok, 1998. MHTE, Budapest, 114-119.

mindegyikéhez meghatároztam egy-egy optimális paraméter együttest, mely fáradási szempontból biztosítja a maximális élettartamot. Meghatároztam, hogy melyek azok a mikroszerkezeti és mechanikai tulajdonságok melyek ismeretében becsülhetők a kötés fáradási tulajdonságai, hosszan tartó és költséges fárasztóvizsgálat elvégzése nélkül is. Meghatároztam továbbá, hogy melyek azok a jellegzetességek melyek az egyes technológiával készült kötések fáradásos repedésterjedését jellemzik, és azt befolyásolják. A jelenleg használatos hegesztési technológia mellett meghatároztam a lézerhegesztési technológiával biztosítható szilárdsági és fáradási tulajdonságokat, és meghatároztam azon technológiai paramétereket, melyek akár egy nagyságrenddel nagyobb fáradási élettartamot is biztosítanak a jelenlegi hegesztési technológiához képest.

fáradással szembeni optimumát a 425 °C-os előmelegítés mellett az azonos hőfokon történő 8 perces utóhőkezelés biztosítja. A rendkívül jelentős fáradásiélettartam-növekedés annak köszönhető, hogy a hőhatásövezet ömledékkal határos tartományában keményedés helyett lágyulás tapasztalható.

A tézishez tartozó közlemények: [8]

Tézis V.

A célkitűzéseim között megfogalmaztam egy olyan, a hőhatásövezet fizikai modellezésén alapuló módszer kidolgozását, amely kellő biztonsággal és kellő hatékonysággal képes a szalagfűrészlapok hegesztett kötéseinek mechanikai tulajdonságainak, és fáradási jellemzőinek vizsgálatára. Az ívhegesztési folyamatnak a hőhatásövezetre való hatását a maga fizikai valóságában biztosító módszert dolgoztam ki, amelyet sikeresen alkalmaztam az előmelegítési hőmérséklet és az utóhőkezelési idő optimalizálására.

A tézishez tartozó közlemények: [9]

Tézis VI.

A C75S anyagminőségű acélszalagok ömlesztőhegesztéssel készült varratainak törési ciklusszáma, a kisciklusú fáradás tartományában fárasztó, szinuszos, a varratra merőleges irányú és húzó terhelés esetén exponenciális görbével becsülhető a kötésben mérhető maximális keménység és az alapanyag keménységének különbsége (ΔHV) ismeretében. Az így kapott ΔHV – törési ciklusszám görbe alkalmas, ismert törési ciklusszám kritérium alapján kijelölt, biztonságosnak ítélt tartomány határát jelző, ΔHV érték megadására. Ez az ömlesztőhegesztéssel készült kötések, fáradási szempontból történő, egyszerű ellenőrzését teszi lehetővé.

A tézishez tartozó közlemények: [8][9]

6. Az eredmények hasznosítása

Az eutektoidos acélszalagok hegesztett kötéseinek fáradási folyamatának ismerete és megértése nagyban hozzájárul a tudatos szalagfűrészlap fejlesztő munka sikeréhez. A vizsgált hegesztési technológia-változatok

[Tsay 1999]	Tsay L.W. et al., International Journal of Fatigue 21 (1999) 857–864.
[Mohandas 1999]	Mohandas T., Madhusudan Reddy G., Satish Kumar B., Journal of Materials Processing Technology 88 (1999) 284–294.
[Szunyogh 2007]	Szunyogh L: Hegesztés és rokon technológiák, Gépipari Tudományos Egyesület, Budapest (2007)
[BME-MTAT 2000.]	Szakvélemény az A-LAP Fémipari és Kereskedelmi Kft. számára, BME Mechanikai Technológia és Anyagszerkezet-tani Tanszék, 2000. április 25.

3. Célkitűzések

Kutatásaim célja egyrészt az eddigieknél részletesebben elemezni a szemcsehatár-módosító technológiák működését mikroszerkezeti szinten, másrészt kísérleti eredmények publikálásával elősegíteni a gyakorlati alkalmazások kiszélesítését, ezért a következő célkitűzéseket fogalmaztam meg:

- ⇒ Az alapanyag kisciklusú fáradása és bemetszésérzékenységének vizsgálata
- ⇒ Védőgázos, fogyóelektródás ívhegesztéssel, ötvözetlen hegesztőhuzalal készült hegesztett kötések fáradási tulajdonságainak elemzése
- ⇒ A hegesztőhuzal-összetétel hatásának kutatása az ívhegesztéssel hegesztett kötések fáradási jellemzőire
- ⇒ Lézersugaras hegesztéssel készült kötések fáradásának vizsgálata a hegesztési eljárás hatásának elemzése érdekében
- ⇒ Szalagfűrészlapok gyártási feltételeit modellező, fizikai szimulációs és vizsgálati eljárás kidolgozása

4. Vizsgálatok

Az elvégzett vizsgálatok során a C75S nemesített acélszalagok és azok hegesztett kötéseinek fáradási tulajdonságait és az azokat befolyásoló

jellemzőit rendszereztem. Bemetszett próbatesteket készítettem a vizsgált acélszalagból illetve különböző technológiai paraméterekkel és különböző technológiákkal elkészítettem a vizsgált acélszalagok hegesztett kötéseit is. A vizsgált hegesztett kötések és az alapanyagból kimunkált próbatestek szilárdsági tulajdonságait szakítóvizsgálattal, míg a fáradással szembeni ellenállóképességüket fárasztóvizsgálattal mértem. A vizsgálatokat úgy rendszereztem, hogy azok kiemeljék egy-egy, a fáradást leginkább befolyásoló, technológiai paraméter hatását. A vizsgálatok eredményeit összehasonlítettem a minták mikroszerkezeti vizsgálatainak eredményeivel, hogy feltárjam az egyes, technológiai paraméterek fáradásra gyakorolt hatásának mechanizmusát.

A kísérletek során, hegesztési technológiánként külön vizsgáltam a hegesztési szempontból legnagyobb hatással bíró előmelegítési- és utóhőkezelési-hőmérséklet és az utóhőkezelés idejének hatását illetve a paraméterek közös optimumát. Elvégeztem továbbá a fáradás szempontjából kritikusnak bizonyult hőhatásövezet fizikai szimulációját és annak fárasztóvizsgálatát is.

5. Új tudományos eredmények

A disszertáció készítése során a C75S anyagminőségű, nemesített acélszalagok bemetszésérzékenységét és hegesztett kötéseik fáradási tulajdonságait vizsgáltam. A vizsgálatok során külön kitértem a hegesztett kötések hőkezelési paramétereinek, az alkalmazott hegesztőanyagnak és az alkalmazott hegesztési technológiának a fáradásra gyakorolt hatásának vizsgálatára. A vizsgálat eredményei mind az ipari felhasználók oldaláról közvetlenül felhasználhatók növelt élettartamú szalagfűrészlapok gyártás-technológiai tervezéséhez, mind pedig az eutektoidos ötvözetlen acélszalagok és hegesztett kötéseinek eddig nem vizsgált fáradási tulajdonságait rendszerezik. Az elvégzett kutatások és eredményeik alapján a következő megállapításokat tettem:

Tézis I:

A C75S szalagfűrészlap-alapanyag kisciklusú fáradási viselkedését a bemetszésérzékenységének vizsgálatával jellemeztem, és megállapítottam, hogy két fő sajátosság jellemzi: egyrészt a fáradásos törés rövid távú, a fő törési frontra merőlegesen is elinduló, majd a ferrit által megállított mikrorepedések sorozatával halad előre, másrészt pedig a bemetszési sugár

$r \leq 5$ mm értéke esetén a törési ciklusszám exponenciálisan csökken, és a statikus középfehértség értékétől gyakorlatilag független.

A tézishoz tartozó közlemények: [1][2][3][4]

Tézis II

A C75S acélszalagból védőgázos fogyóelektródás hegesztéssel ötvözetlen acél hegesztőhuzal felhasználásával készített hegesztési varratok fáradási élettartamát elsődlegesen az előmelegítési és az utóhőkezelési hőmérséklet határozza meg. Az utóhőkezelési idő szempontjából a fáradási élettartam olyan függvény szerint halad, amelynek az optimuma van. Ez az általam vizsgált esetekbenben 425 °C-hoz és 5 perchez tartozott.

A tézishoz tartozó közlemény: [5][6]

Tézis III

A Ni-ötvöztetésű hegesztőhuzallal készített hegesztett kötések fáradását kisciklusú fárasztóvizsgálattal vizsgáltam. A Ni-ötvöztetésű hegesztőanyaggal készült hegesztett kötések fáradási élettartama annak ellenére jelentősen – a vizsgált paramétertartományban mintegy 25%-al – nagyobb az ötvöztelen hegesztőanyaggal készültekénél, hogy a törés nem a varratfémbe következik be. Ennek magyarázata az, hogy a törési helyként szolgáló varrat-hőhatásövezet határfelületi zónákban a Ni-diffúzió révén megnövekedik a szívósság, a repedésterjedéssel szembeni ellenállás. A vizsgált előmelegítési hőmérsékleten az utóhőkezelési idő szempontjából a fáradási élettartam olyan függvény szerint halad, amelynek optimuma van, ez az általam vizsgált esetek közül 5 perc.

A tézishoz tartozó közlemény: [7]

Tézis IV

Az ömlesztőhegesztési technológia hatását a kötések fáradási élettartamára, lézersugaras hegesztési technológia vizsgálatával értékeltem. A fáradással szembeni ellenállóképesség a lézersugaras hegesztéssel készült varratokban, egy nagyságrenddel nagyobb, mint a fogyóelektródás hegesztéssel készült varratokban. A lézersugaras hegesztéssel készült kötések