

1.2379 acél javítóhegesztésének tervezése

Repair welding of a cold work tool steel

SZEMÁN Ákos

Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Budapest, Műegyetem rkp. 3, 1111
szemanakos1@gmail.com

Abstract

In this documentation, I present the results of a series of tests related to the design of the repair welding of a cold-forming tool steel. I have checked the quality of the prepared samples by visual inspection and with a Vickers microhardness measuring machine. One of the results of the experiment is that the best weld can be created with a filler material of its own material on the clean metal surface of the room-temperature piece.

Keywords: repair welding, cold work tool steel, joint technology, hardness measurement, tool steel

Kivonat

A következő dokumentációban egy hidegalakító szerszámacél javítóhegesztésének tervezéséhez kapcsolódó kísérlet sorozat eredményeit mutatom be. A vizsgálat során ugyanazon hegesztési paraméterek beállítása mellett készítünk varratokat különböző hozaganyaggal, előmelegítési hőmérséklettel és felülettisztasággal. Az elkészített kötések minőségét szemrevételezéssel és Vickers mikrokeménységmérő géppel ellenőriztem. A vizsgálat eredményeként képet kapunk az acél hegeszthetőségéről és a kötés tulajdonságait kedvezően befolyásoló változókról.

Kulcsszavak: javítóhegesztés, hidekalakító szerszámacél, kötéstechnológia, keménységtérkép, szerszámacél

1. Bevezetés

A következő dokumentáció során, két különböző hozaganyag, illetve az előmelegítés hatását vizsgálom a hegesztett kötés keménységére, egy a FÉMALK Zrt. által újonnan bevezetett szerszámacél javítóhegesztésének megtervezésének keretein belül. A bevezetett anyag az 1.2379 jelű hidegalakító szerszámacél, amit egy úgynevezett stancszerszám alapanyagaként vezettek be. A stancolás a lemezalakítás során alkalmazott kontúr kivágást jelenti. A stancszerszám a nyomásos öntéssel gyártott termékről választja le a gyártás során létrejött anyag többletet, ami a gyártáshoz elengedhetetlen szerkezeti elemekből áll. A stancolószerszámnak akár 120000-es ciklusszámot is képesnek kell lennie lemunkálni megfelelő karbantartás mellett, amibe beletartozik az éleken létrejövő sérülések, kipattanások javítóhegesztése is, amit jelen esetben vizsgálunk.

2. A 1.2379 jelű szerszámacél tulajdonságai

Az 1.2379 a klasszikus 12% krómtartalmú ledeburitos acélok (1.2080-1.2601) továbbfejlesztése. Az Osztrák Böhler gyártmányú (K110) "majdnem" rozsdamentes, erősen ötvözött, kis hőkezelési méretváltozású hidegalakító szerszámacél, melyet gyakran használnak késkészítők főként az Amerikai Egyesült Államokban D2 néven. Elég nehéz megmunkálás jellemzi. 11,5-13% körüli krómtartalommal rendelkezik, ami bár nagynak tűnik, de a mellé társuló igen nagy szénttartalom mellett még nem elég a teljes korróziómentesség eléréséhez [1]. Jelentős rozsdafoltok azonban nem jellemzik, inkább lyukkorrózió alakulhat ki rajta. A nagy szénttartalomnak és egy kevés karbidképző ötvözőnek köszönhetően nagyon nagy kopásállóság jellemzi, ezért kiváló éltartó. Az egyik legéltartóbb acél, bár fenni és élezni nem a legegyszerűbb. Rosszul tolerálja a lapos és finom élszögeket a viszonylag nagy szemcseméretének és ridegségének köszönhetően. Nagyteljesítményű hidegalakító szerszámacél, vágási teljesítménye nitridálással fokozható, bevonatozható és jól szikraforgácsolható [2, 3]. Az iparban széleskörűen elterjedt alkalmazási területek: vágó- és kivágó

szerszámok, üregelőtűskék, húzó-, mélyhúzó és hidegfolyató szerszámok, kerámia- és gyógyszeripari présszerszámok.

2.1. Ötvözők hatása az anyagtulajdonságokra

1.2379 hidegalakító szerszámacél ötvözői1. táblázat táblázat: Böhler gyártmányú K110 acél ötvözői [2].

C (%)	Si (%)	Mn (%)	Cr (%)	Mo (%)	V (%)
1,55	0,3	0,3	11,3	0,75	0,75

- C: karbidképző, növeli a kopásállóságot, nyomószilárdságot, meghatározza az alapmátrix keménységét;
- Mo: javítják az alapmátrix melegkeménységét, megeresztésállóságát és melegsilárdságát, nagyon kemény különleges karbidokat képeznek;
- V: a legkeményebb különleges karbidokat képi, növeli az alapmátrix melegkopás-állóságát, megeresztésállóságát és melegkeménységét;
- Cr: biztosítja az átedzhetőséget, könnyen oldható karbidokat képez, a ferrites korrózióálló acélok fő ötvözője, passzíváló hatásért felel;
- V, Mo, Cr: nitridképző ötvözők, amikkel keményebb kéreg hozható létre;
- Cr, Si, P: jól tapadó oxidréteget hoznak létre, ami véd a korróziótól;
- Mn, Mo, Cr: nagymértékben növelik az átedzhető átmérőt.

2.2. Hegeszthetősége

A hidegalakító szerszámacélacélok hegesztése esetén a fő probléma a kis alakváltozó képesség, ezért az alábbi hőkezelések ajánlottak az acélhoz:

- előmelegítés: 250-300 °C-ra (martenzit start hőmérséklet (MS) + 40-100 °C-ra) a hegesztési zsugorodásból származó keresztirányú repedések elkerülése érdekében;
- utólagos hőkezelés: ideális esetben feszültségmentesítés kemencében való hűtés formájában 650 °C-ról, ellenkező esetben lokálisan martenzites szövetszerkezet alakulhat ki, ami nagy mértékben ridegíti az anyagot (kis falvastagság esetén ez elhagyható).

Célunk a felrakóhegesztés kialakítása, ezért a hegesztést sajátanyaggal (alapanyag azonos), vagy közel azonos összetételű anyaggal végezzük, így csökkenthető a kis alakváltozó képesség miatti repedésérzékenység. A hegesztést kis hőbevitellel végezzük, hogy a szemcsedurvulást elkerüljük, ehhez a gyártói katalógus ad ajánlást. Továbbá a gyártói jegyzék a következő hőkezelést javasolja: nagyon lassú hűtés, szükség esetén 4 órás temperálás 500 °C-on és kemencében hűtés [4]. A legkedvezőbb technológia során az előmelegítés és a hegesztés az ausztenit lappangási hőmérséklet tartományában megy végbe, ez az alábbi lépésekkel érhető el: Ausztenitesítés; hűtés az ausztenit lappangási hőmérséklete tartományba (400-600 °C); hegesztés „sajátanyaggal”; hevítés azonnal a lágyítási hőmérsékletre; lágyítás; forgácsoló megmunkálás; edzés; kikeményítő megeresztés.

2.3. Szénegyenérték, előmelegítési hőmérséklet meghatározása

„A szénegyenértéknek önálló jelentése nincs. A különböző szénegyenértékek között csak abban tehető különbség, hogy adott ötvözési rendszerű acélok esetén, mint független változó, melyik van szorosabb összefüggésben a hőhatásövezet alakváltozó képességével.” [5]

A szénegyenérték az alábbi képlettel számolható A Nemzetközi Hegesztési Intézet (IIW) ajánlása alapján [6]:

$$C_e = C + \frac{M_n}{6} + \frac{Cr + Mo + V}{5} + \frac{Ni + Cu}{15} (\%)$$

$$C_e = 1,55 + \frac{0,3}{6} + \frac{11,3 + 0,75 + 0,75}{5} + \frac{0 + 0}{15} = 4,16 (\%)$$

A kapott értékből látszik, hogy rendkívül nagy a karbonegyenértéke az acélnek, ezért rendkívül nehéz a hegesztése. Szükséges előmelegítési hőmérséklet meghatározása katalógus alapján történik, amiből látható, hogy annak 250-350 °C között kell lennie.

3. Kísérleti terv - design of experiments (DOE)

A kísérlet célja, hogy megvizsgáljuk milyen hatással van a hegesztett kötés keménységére a közel alapanyagazonos hozaganyag alkalmazása és az előmelegítés. A mérés során az 1.2343 és az 1.2606 hozaganyaggal készült egysoros és többsoros hernyóvarratok segítségével hasonlítottuk össze az elkészült kötések keménységét, szobahőmérsékletű, illetve előmelegített alapanyag esetében.

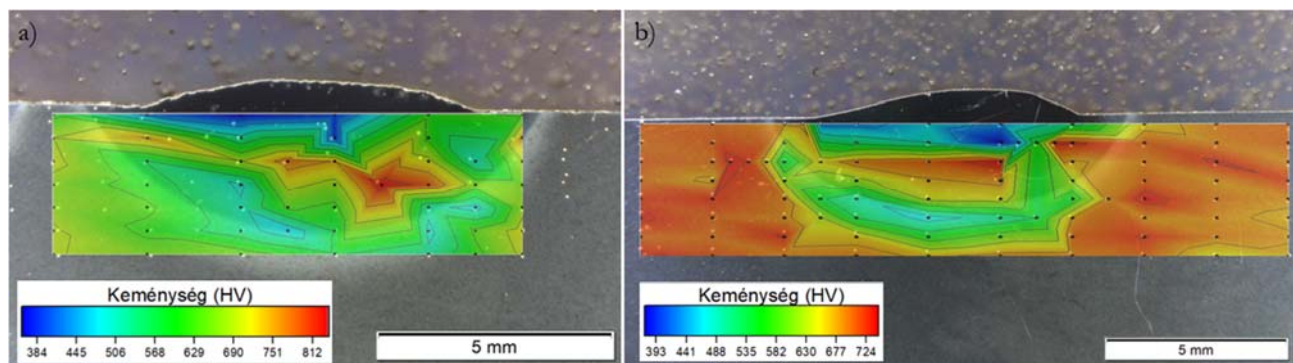
A varratok elkészítése után a próbatestet a varratra merőlegesen szikraforgácsolással darabolták, majd gyantába ágyazva készül el a vizsgálandó minta. A beágyazás után több lépésben csiszoltam, majd políroztam a mintát. A polírozott darabot 2%-os Nitál marószerszel marattam fél percen keresztül. Az így előkészített minta varratairól sztereomikroszkóppal felvételeket készítettem, majd keménységmérést végeztem egy Vickers mikrokeménységmérő gép segítségével. A vizsgálat során minden varrat esetében függőlegesen 0,5 mm-enként vettem fel vizsgálati sorokat, amiken belül oldalirányban 2 mm-es távolságban vettem fel pontokat. Ha a két szomszédos keménységértéken ugrásszerű változást tapasztaltam, akkor a távolságot 1 mm-re, majd 0,5 mm-re csökkentettem a vizsgálati távolságot, hogy kellő információt gyűjtsék a keménységtérkép elkészítéséhez.

4. Eredmények

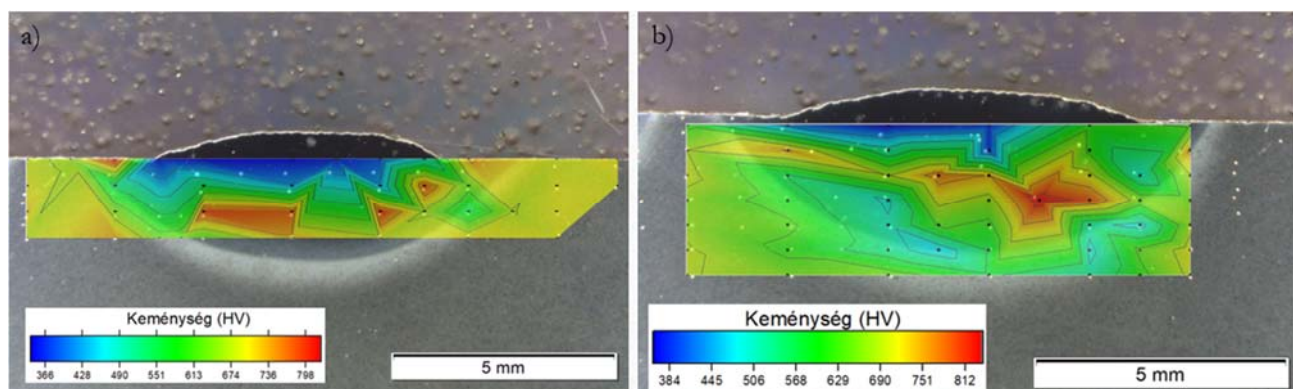
A keménységmérést egy Buehler 1105 mikrokeménységmérő gépen végeztem. A keménységértékeket Vickers keménységként 10 N terheléssel és 5 s mérési idővel mértem (HV10), aminek szabványos jelölése: HV/1.02/5 (Vickers-keménységérték/terhelőerő (kp)/mérési időtartam (s)).

4.1. Keménységtérképek

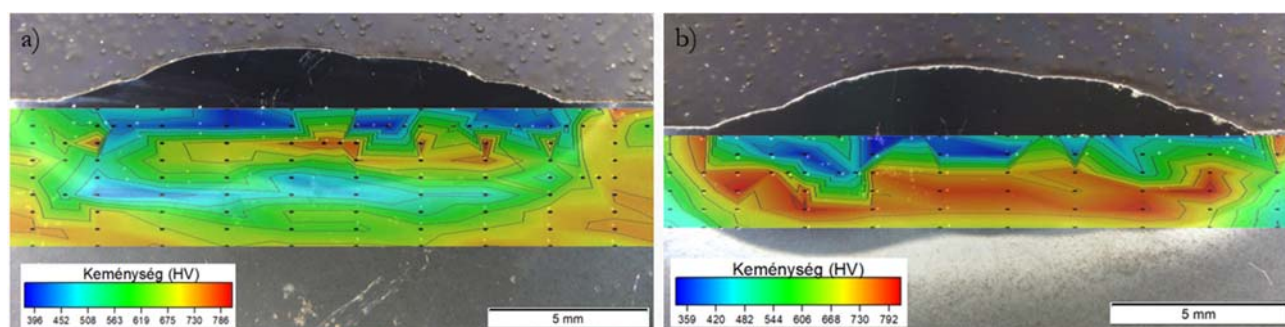
A következőkben az egyes varratok keménységtérképe látható, amit a mért adatok alapján az OriginPro program segítségével állítottam össze.



2. ábra: Keménységtérkép a) szobahőmérsékletű és b) előmelegített darabra készített varrat esetén.



3. ábra: Keménységtérkép a) acélokhoz általánosan alkalmazható hozaganyag alkalmazásával és b) közel alapanyagazonos hozaganyag alkalmazásával készült varratok esetén.



4. ábra: Keménységtérkép a) fémtiszta és b) olajos felületre készült varratok esetén.

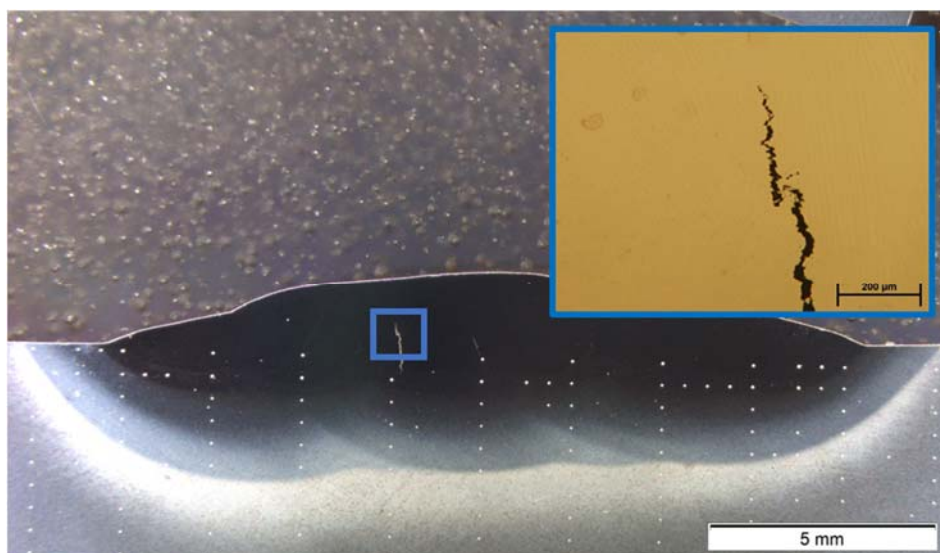
A mért értékeket összevetve látható, hogy a közel alapanyagazonos 1.2606 hozaganyag alkalmazásával kedvezőbb eredmények érhetők el, ugyanis legtöbb esetben nő a minimális keménység, ezáltal a csökken az esélye a repedéskeletkezésnek és anyagkárosodásnak a legkisebb keménységű helyen, emellett a maximális keménység több esetben megnő és csökken az értékek szórása. Az is látható, hogy a hegesztés előtti felülettisztítás hiánya csökkenti a minimum keménységet és növeli a szórások értékét. A szilárdsági értékek további növelésének céljából utólagos hőkezelések alkalmazhatóak. A kísérlet során vizsgált előmelegítési hőmérséklet alkalmazása egyáltalán nem ajánlatos, a repedéskeletkezés miatt.

4.2. Repedések vizsgálata

A felvételeket megfigyelve, akár szabad szemmel is látni lehet, hogy két minta esetén a varratfémeken belül melegrepedés keletkezett. A repedések a gyártó által előírt előmelegítési hőmérsékletre készített többsoros varratok esetén jöttek létre. A repedések a hegesztett kötésben nem megengedhetőek, mert ridegtörés kiindulási helyei lehetnek.

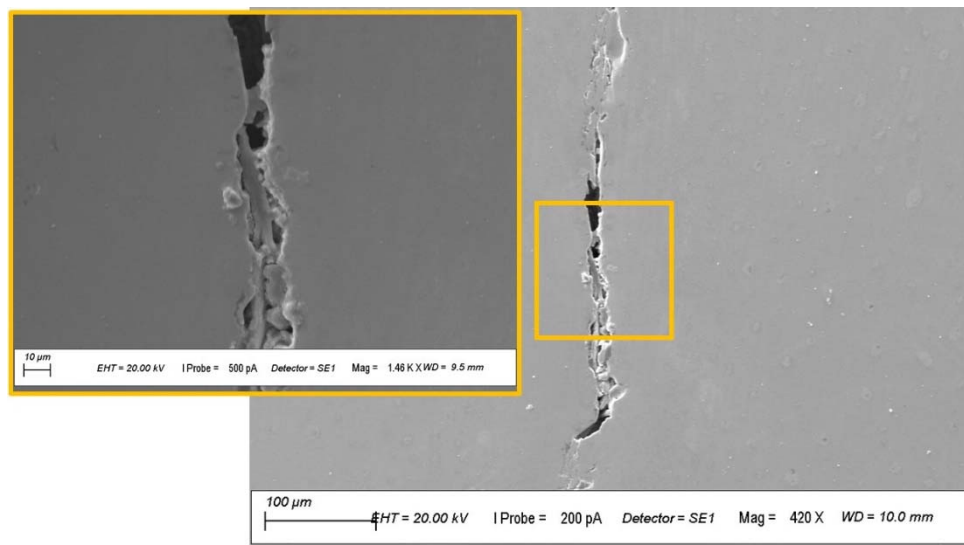
A melegrepedés jellemzően a varrat középvonalában keletkezik. A repedés követi a szemcsehatárokat, tehát a repedési vonal jellegzetesen cikk-cakkos képet mutat, ahogy azt az 1. képeken is láthatjuk.

5. ábra: Felvétel a varraton létrejött melegrepedésről.



A melegrepedés keletkezik, ha a hűlés során a fém zsugorodásából adódó alakváltozás nagyobb, mint amit az anyag repedés nélkül el tudna viselni [7]. Meg kell győződni a helyes hozaganyag választásról, bár esetünkben mindkét hozaganyagnál fellépett a repedés jelensége. A 1.2606 hozaganyaggal hegesztett varraton kisebb méretű repedés keletkezett. Valószínűleg a hozaganyag Cr, Mo ötvözője okozta ezt az eltérést, ugyanis ezek az ötvözők kellő mennyiségben azonnali feszültségmentesítést idéznek elő a varratban. A technológiai paramétereket úgy kell megváltoztatni, hogy a hőbevitel értéke csökkenjen, mert az csökkenti a melegrepedés esélyét. Valószínűleg a fentebb említett okokra lehet visszavezetni a repedések keletkezését, ugyanis egysoros varrat esetén nem észlelhető semmilyen anyaghiányosság vagy repedés, még mikroszkóppal sem. Többsoros varrat készítés esetén a varratokat egymás után hozzák létre, így lokálisan itt jelentősebb hőbevitel történik, mint egy egysoros varratsor létrehozásakor.

A 6. ábrán látható pásztázó elektronmikroszkópos felvétel alapján arra lehet következtetni, hogy a varratfémekben kristályosodási repedések keletkeztek. Feltehetőleg a hegesztés során a króm-karbid kiválások visszaoldódnak és a varratfém dendrites szerkezetében a szemcsehatárokon kis olvadáspontú fázisokat alkotnak, ami a repedéshez vezetett. A Cr, Si, de főként a C-tartalom növekedésének következményeként nagymértékben csökken az olvadáspont [8].



6.ábra: SEM felvétel a varraton létrejött melegrepedésről.

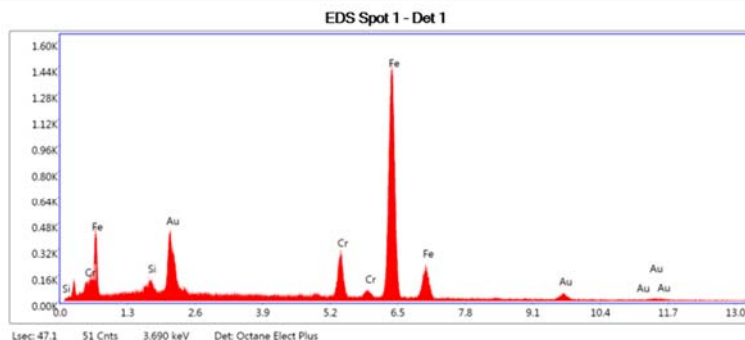
A kristályosodási repedés kialakulása a makroszkópikus dúsulásra, a lecsökkent szilárdságú szemcsehatárra és a kedvezőtlen kristályszerkezetre vezethető vissza. A repedés keletkezésének elhárítása a hőbevitel csökkentésével, Mn ötvözéssel, megfelelő kötéselektronkészítéssel és helyes hegesztéstechnikával lehetséges.

EDAX TEAM

Page5

EDS Spot 1

kV: 20 Mag: 150 Takeoff: 36 Live Time(s): 47.1 Amp Time(µs): 7.68 Resolution:(eV)127.1



eZAF Smart Quant Results

Element	Weight %	Atomic %	Net Int.	Error %	Kratio	Z	A	F
SiK	1.3	2.9	31.6	17.5	0.0079	1.2090	0.4823	1.0022
CrK	9.1	10.8	145.7	5.1	0.0998	1.0413	0.9595	1.0917
FeK	74.2	81.5	867.7	2.5	0.7549	1.0396	0.9633	1.0154
AuL	15.3	4.8	25.4	30.5	0.1080	0.7176	0.9992	0.9866

7.ábra: EDS vizsgálat eredményei a varraton létrejött melegrepedésről.

Az elektronmikroszkópos anyagösszetétel vizsgálat (EDS) eredményeit megvizsgálva látható, hogy a repedések töretfelületén több helyen akár egy nagyságrenddel nagyobb a C tartalom, valamint egy esetben a Si tartalom két nagyságrenddel nagyobb, mint amit a gyártó előír, ezek a lokális dúsulások szintén visszavezethetőek a kristályosodási repedés keletkezéséhez. Továbbá az is megfigyelhető, hogy bár a 1.2379

szerszámacél tartalmaz Mn ötvözőt, ami csökkentené a repedés kialakulásának esélyét, az EDS vizsgálatban látható, hogy a repedés felületén ennek mennyisége nem kimutatható.

5. Összefoglaló

Az irodalomkutatásban a stancszerszámok vizsgálata során arra jutottam, hogy a szerszám élettartalmán javíthat, ha aszimmetrikus, féloldalra élezett késeket terveznének, ugyanis így csak a termék felületén van pontos megmunkálás, a leválasztott anyag vágási felülete és minősége rosszabb, de nekünk ennek minősége közömbös [9]. Emellett külső cég által végzett külön erre a célra kifejlesztett plazma-diffúziós eljárással felvitt keménybevonat létrehozásával minimálisra csökkenthető a kopás, és a karbantartási idő [10].

Köszönetnyilvánítás

Köszönöm **DR. VARBAI Balázs** Egyetemi adjunktus és **DR. SZALVA Péter** ipari kutató segítségét, akik irányt mutattak a munkám során és támogattak a szakdolgozatom elkészítésében.

Irodalmi hivatkozások

- [1] ThyssenKrupp Ferroglobus: Hidegalakító szerszámacélok
- [2] *** <https://www.boehler.hu/hu/products/k110/> (Utolsó letöltés: 2023.01.15.)
- [3] 1.2379 D2 SKD11 Hidegmegmunkáló Szerszámacél, <https://hu.emilymetal.com/1-2379-d2-cold-work-tool-steel.html> (Utolsó letöltés: 2023.01.15.)
- [4] Böhler: Welding in tool making
https://www.voestalpine.com/highperformancemetals/australia/app/uploads/sites/72/2018/05/BW140E_Welding_in_tool_making.pdf (Utolsó letöltés: 2023.02.15.)
- [5] DÖGOSSY GÁBOR: Mérnöki anyagok, Szerszámacélok
http://www.sze.hu/~hargitai/Anyagvizsgalat%202012/7_hegeszthetoseg_2012.pdf (Utolsó letöltés: 2023.02.02.)
- [6] SZUNYOGH LÁSZLÓ: Hegesztés és rokon technológiák Kézikönyv, Gépipari Tudományos Egyesület Budapest, 2007 (Utolsó letöltés: 2023.02.02.)
- [7] Hegesztés 1., <https://adoc.pub/queue/hegesztes-1-bevezetes-hegesztes-elméleti-alapjai.html> (Utolsó letöltés: 2023.01.15.)
- [8] Problems in laser repair-welding a surface-treated tool steel,
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0257897206010462> (Utolsó letöltés: 2023.01.05.)
- [9] Stancolás, <https://www.paperfox.hu/stancolas---tippek,-truekkoek,-tudnivalok.html> (Utolsó letöltés: 2023.02.25.)
- [10] Oerlikon Balzers: BALINIT és BALITHERM bevonatok katalógus,
<https://www.oerlikon.com/balzers/hu/hu/termekportfolio/balzers-felueletkezelesek/hokezesi-eljarasok/balitherm/balitherm-ppd/> (Utolsó letöltés: 2023.02.25.)