



S355 acélminőség lángvágásakor bekövetkező változások acetilén és hidrogén éghető gázok alkalmazásánál

Consequences of the Asymmetric Cutting of S355 Steel Grade when Using Acetylene and Hydrogen Combustible Gases

Kuti János,¹ Pató Péter,² Fábián Enikő Réka,³ Szabó Andrea⁴

¹ Óbudai Egyetem Bánki Donát Gépész és Biztonságtechnikai Mérnöki Kar, Anyagtudományi Doktori Iskola. Budapest, Magyarország, kuti.janos@bgk.uni-obuda.hu

² Óbudai Egyetem Bánki Donát Gépész és Biztonságtechnikai Mérnöki Kar, Természettudományi és Alapozó Tantárgyi Intézet. Budapest, Magyarország, pato.peter@bgk.uni-obuda.hu

³ Óbudai Egyetem, Bánki Donát Gépész és Biztonságtechnikai Mérnöki Kar. Budapest, Magyarország, fabian.reka@bgk.uni-obuda.hu

⁴ Dunaújvárosi Egyetem, Műszaki Intézet. Dunaújváros, Magyarország, szaboandrea@uniduna.hu

Abstract

In this research, flame cutting experiments were performed on 35 mm thick S355JR steel plates using acetylene and hydrogen. During our tests, we cut the pieces so that we ended up with one much larger piece and one smaller piece. Changes in the microstructure and hardness were studied, according to the size of the pieces and the cutting position, using the two different fuel gases. The heat flow of the smaller piece was measured using thermocouples.

Keywords: *flame cutting, non-alloy structural steels.*

Összefoglalás

E tanulmány során 35 mm vastagságú S355JR acéllemezen végeztünk lángvágás kísérleteket acetilént, illetve hidrogént alkalmazva. A vizsgálataink során a darabokat úgy vágtuk ketté, hogy egy jóval nagyobb és egy kisebb darabra daraboltuk. Vizsgáltuk a szövetszerkezet és a keménység változását, a darabok mérete, illetve a vágási helyzet szerint a két különböző éghető gáz alkalmazásakor. A kisebb darab hőfolyamatait termoelemekkel mértük.

Kulcsszavak: *lángvágás, ötvözetlen szerkezeti acél.*

1. Bevezetés

Az S355 JR az EN 10025-2:2020 szabvány szerint meghatározott ötvözetlen, általános felhasználású szerkezeti acélminőség. Az S355-ös a szerkezeti acélok csoportjába sorolandó; ahogyan az elnevezéséből is levezethető, „S” mint szerkezeti acél, a szám pedig a folyáshatárának legkisebb értékére utal. Ezek alapján folyáshatárának minimális értéke 355 MPa 16 mm lemezvastagságig, a vastagság növelésével fokozatosan csökken a folyáshatárának értéke is. A dolgozat kísérletéhez használt 35 mm vastag lemez esetében ez az ér-

ték például csak 335 MPa. A JR betűkombináció a szám után pedig az anyag Charpy-féle ütvizsgálattal megállapított szívósságára utal, egy hőmérsékletértékre, amelyen az anyag ütmunkája 27 J. Jelen esetben ez az érték +20 °C. Az S355 JR acél kémiai összetételét tekintve ötvözetlen, kis karbontartalmú. A szénegyenértéke kb. 0,45 [1, 2].

A lángvágáskor az oxigénnel kevert éghető gáz lángjával a helyileg gyulladási hőmérsékletre felhevített (előmelegített) anyagot nagy nyomású oxigénsugárban elégetik, és ezzel egyidejűleg a keletkezett és megolvadó égéstermékeket az

oxigénsugárral kifúvatják. A lángvágás alkalmazhatóságának feltétele, hogy: az anyag oxigénben elégethető legyen; az anyag gyulladási hőmérséklete legyen kisebb, mint az olvadáspontja; az anyag képződő oxidjának olvadáspontja is legyen kisebb, mint az olvadáspontja; hogy az égéstermékek legyenek híg folyós állapotba hozhatók és könnyen eltávolíthatók a keletkező vágási résből; az anyag égéshője (az oxidáció reakcióhője) legyen nagy, hővezetési tényezője legyen kicsi, hogy a vágási rés gyorsan kialakuljon és keskeny maradjon [3, 4]. Ezeket a lángvágathatósági követelményeket ipari gyakorlatban csak ötvöztelen és a gyengén ötvözött szerkezeti acéloknál, acélöntvényeknél alkalmazzák. Bár az ötvöztelen acélok gyulladáspontja közel 2% C-tartalomig az anyag olvadáspontja alatt marad, de jellemzően 0,25% széntartalomig kitűnően vágathatók lánggal [3, 4].

A kis széntartalmú ($C < 0,25\%$) ötvöztelen és a gyengén ötvözött szerkezeti acélokat óriási mennyiségben alkalmazzák a hegesztett szerkezetek gyártására, és ez a tendencia előreláthatóan jelentősen nőni fog az elkövetkező években [5]. A lángvágásra használt éghető gáz leggyakrabban acetilén (C_2H_2), de a környezetvédelmi szempontok miatt egyre nagyobb szerepet kap a hidrogén [6, 7, 8].

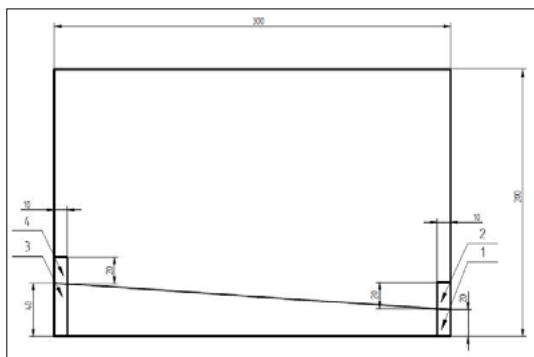
2. Próbadarabok lángvágása

A kutatásunkhoz használt próbadarabok lángvágására a Messer Hungarogáz Kft. bemutatólaborjában került sor. A vizsgálatainkhoz S355JR anyagminőséget használtunk 35 mm lemezvastagságban 200×300 mm méretben. Két próbadarab vágása történt, az egyiket acetilén mint éghető gáz alkalmazásával, a másikon pedig hidrogén éghető gáz alkalmazásával készült a lángvágás. A vágás során az egyenletes vágási sebességet a szekátorra szerelt lángvágófej biztosította (1. ábra).

A próbadarabként szolgáló lemezek méretei a 2. ábrán láthatók. Jelölve vannak a tervezett vágási rés elhelyezkedéséhez viszonyítva a mintadarabok kivételi helyei is, amelyeken a metallográfiai előkészítést követően a keménységmérés történt. A mintadarabok számozása 1-től 4-ig terjed; a dolgozat további részében e számok alapján azonosíthatóak a próbatestek. A vágást a legkisebb és legnagyobb térfogatra osztó részen kezdtük ($20/180$ mm szélességű leeső daraboktól), így az 1. és 2. darabokon a vágás kezdetekor kialakuló változásokat figyelhetjük meg, míg a 3. és 4. jelű darabokon a vágás befejező szakaszát.



1. ábra. A próbadarabok vágásához alkalmazott lángvágó berendezés



2. ábra. A próbalemez rajza, a vágott él és a próbadarabok elhelyezkedése



3. ábra. A próbadarabról készült felvétel vágás után

Az acetilén éghető gázhasználatával vágott lemezből kivett próbadarabok „A” betűjelet kapnak a szám elé (A1, A2, A3, és A4 jelű próbatestek), a hidrogén éghető gázhasználatával vágott lemezből származó minták pedig „H” betűjellel azonosítottak a szám előtt (H1, H2, H3 és H4 jelölésű mintadarabok) (3. ábra). A mintadarabok kivétele a lemezből minden esetben vízsugaras vágással történt, az egyéb szövetszerkezeti válto-

zások elkerülése érdekében. A keménységmérés a lángvágott felületre merőlegesen történt a vágott éltől mért távolság függvényében, a megfelelő felület-előkészítést követően.

A vágás során további fontos szempont a gáztér-fogatáramok megfelelő értéken tartása, amit térfogatáram-mérő segítségével ellenőrizni lehetett a folyamat megkezdése előtt. Az **1. táblázat** tartalmazza a vágás közben fontosabb paraméterek értékeit.

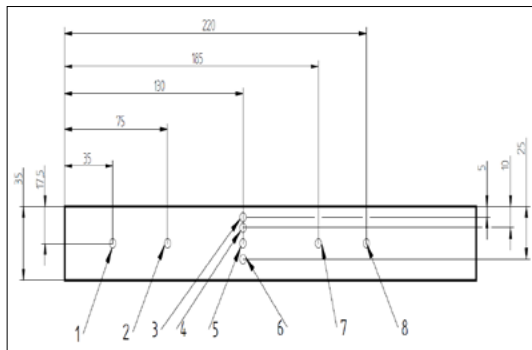
1. táblázat. Beállított paraméterek a lángvágás során

	Acetilénes vágás	Hidrogénes vágás
Vágási sebesség (mm/perc)	520	520
Éghető gáz áram (liter/perc)	1,6	1,2
Vágógáz áram (liter/perc)	5,1	5,1

3. Termoelemes mérések

A vágás előtt a lemezekbe termoelemeket helyeztünk. Ezek segítségével a folyamat során a lemezek hőmérséklete nyomon követhető. A termoelem a lemez oldalában, a vágáshoz közelebb eső részen voltak, a **4. ábrán** látható módon. A termoelemek a rajzon 1-től 8-ig számozással jelöltek. Az 1., 2., 5., 7., 8. számú hőelemeket a lemez vastagságának közepén, a vágás befejező része felől mérve 35 mm, 75 mm, 130 mm, 185 mm, illetve 220 mm távolságra helyeztük el. A 3., 4., 5. és 6. hőelemek a vágás elejétől 170 mm-re, a lemez felületétől különböző távolságra (5 mm, 10 mm, 17,5 mm és 25 mm) voltak pozicionálva. A mérési eredmények ismertetésekor, a könnyebb azonosíthatóság érdekében, a termoelemek száma elé kerül az „A”, illetve „H” betű, az acetilén és hidrogén éghető gáz alkalmazásának megfelelően (A1–A8 és H1–H8).

A méréshez alkalmazott termoelemek TC Direkt márkájú, K típusú, rozsdamentes acélból készült, 1 mm átmérőjű és 300 mm hosszú köpenyhőelemek, melyek a lemez anyagában 18 mm mélyen voltak furatokban elhelyezve, olyan módon, hogy a termoelemek neki lettek ütköztetve a furat végének. A furatokat 16 mm mélységig 3,5 mm átmérőre fúrtuk, majd további 2 mm mélyen 1,1 mm átmérőre. Így a termoelemek stabilan helyezkedtek el a furatokban. A termoelemek által szolgáltatott adatok rögzítésére DATAQ DI-710-EH típusú, többcsatornás, eternetalapú, analóg jelek rögzítésére szolgáló adatgyűjtő állt rendelkezés-



4. ábra. A termoelemek elhelyezkedése a lemez oldalában

re. Az adatgyűjtő berendezésen a gyártó saját, ingyenes szoftvere, a WinDaq futott, amellyel az eredmények táblázat formájában exportálhatóak voltak.

4. Keménységmérés. Mikroszkópia

Annak megállapítása érdekében, hogy a vágógáz hogyan befolyásolja a vágás környezetében a szövetszerkezetet, illetve a levágásra került darabok mérete milyen hatással bír, polírozott mintákon mértük a keménységet, nitállal való maratás után néztük a szövetszerkezetet.

A keménységmérésre a Dunaújvárosi Egyetem anyagvizsgáló laboratóriumában került sor. A keménységértékek meghatározásához Buehler Wilson UH4750 típusú keménységmérő műszer szolgált. A méréshez használt keménységmérő műszer pontosságának, hitelességének megállapítása kulcsfontosságú annak érdekében, hogy ne legyenek fals mérési eredmények. Ennek érdekében etalonon, melynek keménységértéke 388,6 HV10, próbamérésre került sor, hogy megállapítható legyen a mérőberendezés pontossága. A beállítások elvégzése után a próbamérés elvégzésére került sor.

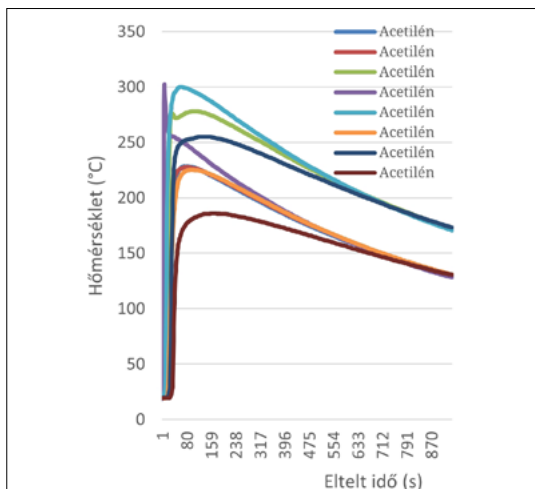
A szövetszerkezetet Zeiss Axio Observer Z1M optikai mikroszkóppal vizsgáltuk.

5. Eredmények

5.1. A termoelemes mérés eredményei

A vágás során a lemez hőmérsékletét és annak változását (hűlését) a termoelemmel mért adatok alapján az 5–6. grafikonok szemléltetik, az **5. ábra** az acetilénnel való vágáskor felvett értékeket, a **6. ábra** a hidrogén alkalmazásakor mért értékeket mutatja.

A mérési eredmények azt mutatják, hogy a vágás kezdetétől 80 mm-re a legnagyobb hőmérséklet



5. ábra. Az acetilénes lehűlés görbéi

2. táblázat. Az acetilén éghető gáz felhasználásával vágott próbatesteken mért keménységértékek a távolság függvényében

Távolság a vágott éltől (mm)	Keménység (HV10)			
	A1	A2	A3	A4
1	327,3	258,1	170,2	463,5
2	153,1	243,4	151,3	292,0
3	163,2	198,0	144,7	188,0
4	166,2	186,8	145,5	166,2
5	165,2	181,1	145,5	173,4
7	162,3	161,3	142,3	170,2
9	162,3	160,4	123,8	167,2
15	153,1	156,7	138,4	166,2

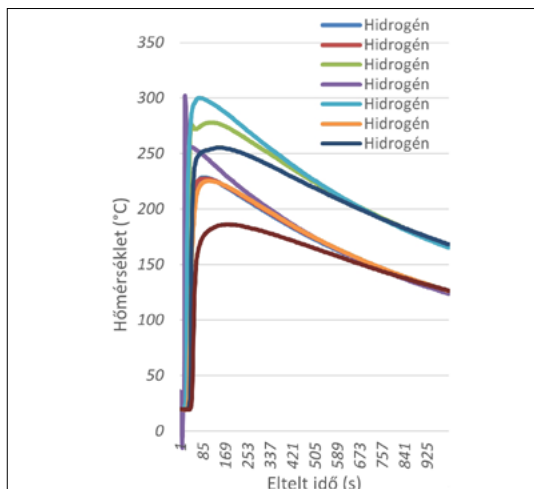
nem érte el a 200°C-ot egyik vágógáz esetén sem. Mindkét vágógáz esetén azt tapasztaltuk, hogy termoelemekkel rögzített maximális hőmérsékletek alig haladták meg a 300°C-ot. A kétféle vágógáz a mérési pontokon nem okozott különbséget.

Mindezek alapján jól látható, hogy a különböző gázok alkalmazása esetén a két lemez közel azonos hőmérsékletre hevült fel a mérési pontokon, és hőmérséklet-változásuk is hasonló volt az idő függvényében.

5.2. A keménységmérés eredményei

A keménységmérést Vickers-eljárással valósítottuk meg 98,81 N terheléssel.

A próbatestek keménységmérésére darabonként 10 pontban került sor, a vágott éltől mért távolság függvényében. A vágott éltől rendre 1, 2, 3, 4, 5, 7, 9 és 15 mm távolságban került sor a keménységmérésre (2. és 3. táblázat).



6. ábra. A hidrogén vágás lehűlési görbéi

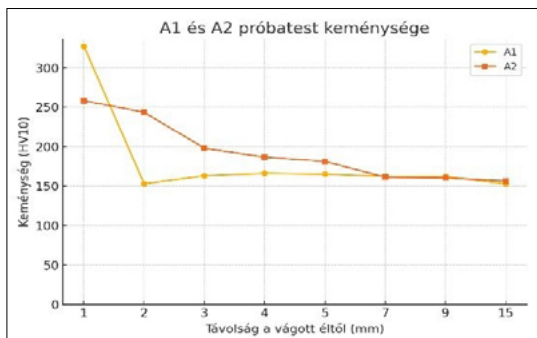
3. táblázat. A hidrogén éghető gáz felhasználásával vágott próbatesteken mért keménységértékek a távolság függvényében

Távolság a vágott éltől (mm)	Keménység (HV10)			
	H1	H2	H3	H4
1	192,9	158,5	163,2	314,0
2	172,3	148,8	151,3	179,8
3	143,1	134,7	151,3	173,4
4	146,3	133,3	143,1	177,7
5	143,9	136,2	139,9	158,5
7	163,2	133,3	139,9	154,9
9	163,2	137,7	143,1	158,5
15	149,6	136,9	143,1	158,5

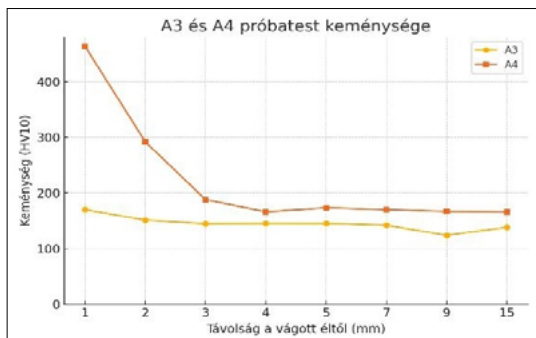
A vágáshoz alkalmazott éghető gázok összehasonlítása érdekében bizonyos próbatestek keménységértékeit szükséges egymással összevetni. Ennek segítségével megállapíthatóak a különféle gázok alkalmazására bekövetkezett szövetszerkezeti változások közt fellépő különbségek.

A továbbiakban a különböző éghető gáz felhasználásával vágott, de azonos elhelyezkedésű próbatesteken mért keménységértékek összehasonlítása látható, a vágott éltől mért távolság függvényében.

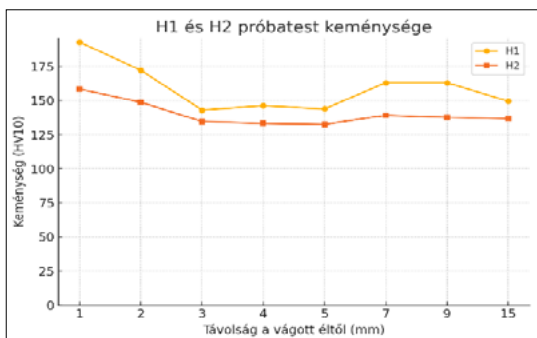
A 7–10. ábrákon megfigyelhető, hogy a vágás kezdésekor rendre, azzal ellentétben, mint amire számítottunk, a kisebb tömegű és kisebb térfogatú darabok keménysége lett nagyobb (1. számú minták). Előzetesen arra számítottunk, hogy a nagyobb tömegű és térfogatú darab hőelvonása nagyobb lesz, és ennek megfelelően a 2. és



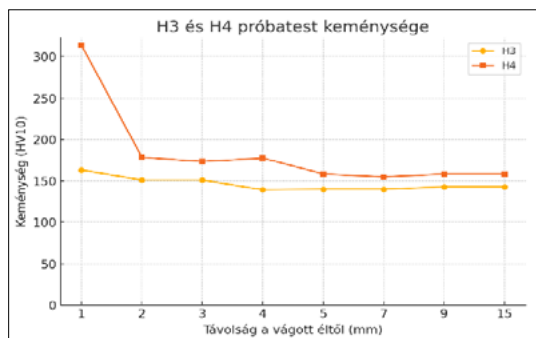
7. ábra. Keménységváltozás acetilénnel való vágáskor a vágás kezdeténél az A1 és A2 próbatesten



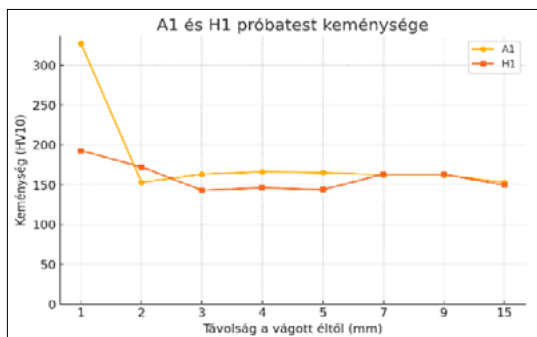
8. ábra. Az A3 és A4 próbatesteken mért keménységértékek összehasonlítása



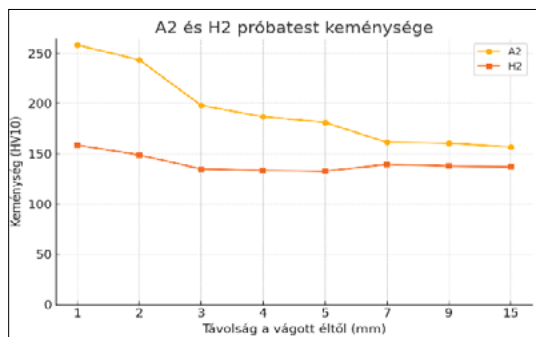
9. ábra. A H1 és H2 próbatesteken mért keménységértékek összehasonlítása



10. ábra. A H3 és H4 próbatesteken mért keménységértékek összehasonlítása



11. ábra. Az A1 és H1 próbatesteken mért keménységértékek összehasonlítása



12. ábra. Az A2 és H2 próbatesteken mért keménységértékek összehasonlítása

4. számmal jelölt minták keménysége lesz nagyobb. A 4. próbatest keménységértéke mind az acetilén alkalmazásánál, mind a hidrogén alkalmazásánál nagyobb a vágási rés közelében, mint a 3. próbatesteké. Ez annak köszönhető, hogy a 4. próbatest mögött lévő nagyobb anyagtömeg többet von el a vágási folyamatból, emiatt a nagyobb hőelvonás is ott történt, így azok a próbadarabok kevésbé hevültek fel. Az 1. darab esetében, ha feltételezzük, hogy a hő szimmetrikusan jutott a két darabba, akkor ugyanakkora energiát juttattunk a kisebb

darabba, így az hosszabb ideig volt nagyobb hőmérsékleten. Így ezekben a darabokban nagyobb mennyiségben alakulhatott ki ausztenit, illetve nagyobb lett a szemcsenagyságuk is. Mind a két folyamat a martenzitképződésnek kedvez [9, 10].

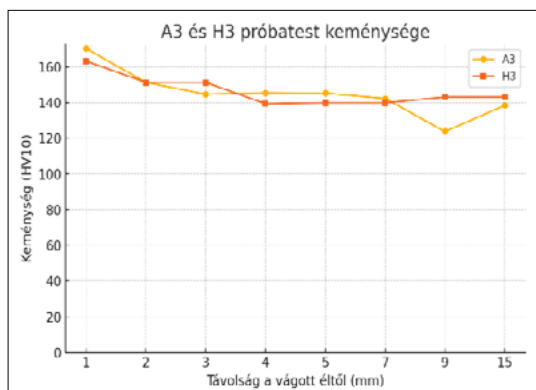
A 11. és 12. ábrákon megfigyelhető, hogy a vágás kezdetén jelentősen nagyobb az acetilén alkalmazásakor a keménység, mint a hidrogéné. A 13. és 14. ábrán a vágás végénél az figyelhető meg, hogy a kisebb darab esetén a hidrogén és az acetilén is előlegeitette a darabot a vágás előtt,

így a felhalmozott hőenergia miatt szinte egyforma a keménységük. A nagyobb darab esetén érvényesült az acetilén nagyobb láng hőmérséklete.

A keménységmérések alapján megállapítható, hogy mind az acetilén, mind a hidrogénes vágáskor gyakorlatilag a vágási felülettől mérve 3 mm-re a 35 mm-es lemez keménysége megegyezik az alapanyag keménységével. Ez a mérés összhangban van a nagy energiasűrűségű vágásokkal tapasztalt eredményekkel [11].

5.3. Metallográfiai eredmények

A 15. ábrán a lemez anyagának alapszövet szerkezete látható. Jól látszódnak a hengerlés következtében kialakult ferrites és perlitcsávok. A vágáskor bekövetkező esetleges gyors felhevülés és lehűlés hatására a csávok különböző módon viselkednek, amennyiben nincs idejük homogenizálódni.



13. ábra. Az A3 és H3 próbatesten mért keménység-értékek összehasonlítása



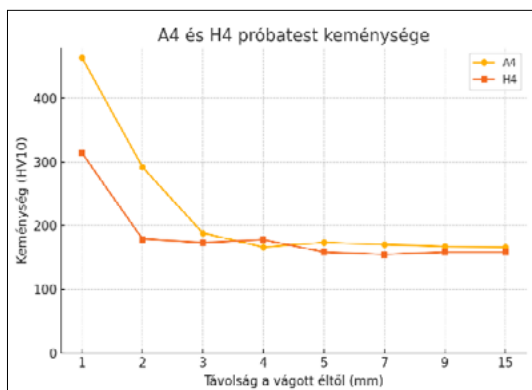
15. ábra. A lemez alapszöveve

A 16. ábrán az A4-es próbatesten szövetszerkezete látható. E próbatesten átmeneti szövetszerkezete látható az alapszöveti oldalon, a hőhatásövezet kezdetén. Észrevehető, hogy az alapszöveti perlit átalakult. Az eredetileg perlites csávok bainitesen + martenzitesen alakultak át.

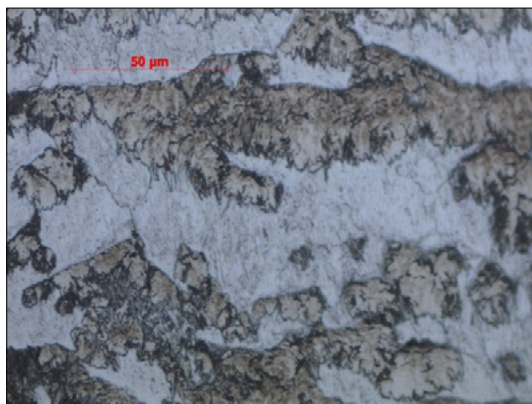
A 17. ábrán a H1-es jelölésű próbatesten szövetszerkezete látható a vágási él közelében. Homogenizálódás csak közvetlenül a vágási él közelében történt, de a hőhatásövezetben sem ferrit-perlites a szövet.

A hőhatásövezetben kialakult szövetszerkezet megállapítása érdekében nagyobb felbontást kellett alkalmazni.

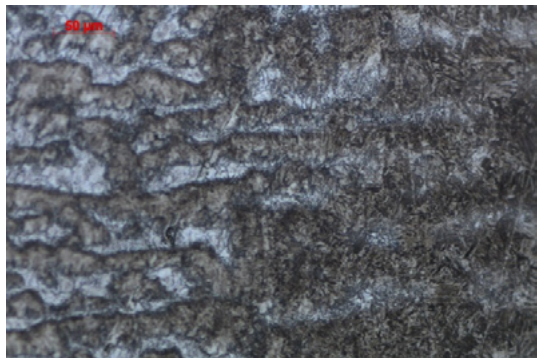
A 18. ábrán a H1-es mintadarab hőhatásövezetét mutatja. Az eredeti perlites sorok martenzitesen, bainitesen alakultak át. A ferrites sorokban némi karbidszemcse is megjelent, de alapvetően ferrites maradt.



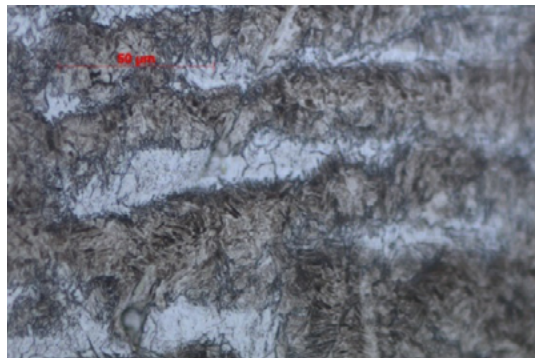
14. ábra. Az A4 és H4 próbatesten mért keménység-értékek összehasonlítása



16. ábra. Az A4-es mintadarab hőhatásövezete



17. ábra. A H1-es minta szövetszerkezete a vágási környezet mellett



18. ábra. A H1-es mintadarab hőhatásövezete

6. Következtetések

A kísérlet során összehasonlítottuk a hidrogén és az acetilén éghető gázokkal végzett lángvágásokat S355JR acélminőségen. Megfigyeltük, hogy a vágás kezdésekor a kisebb tömegű és kisebb térfogatú darabok keménysége lett nagyobb, viszont a vágások végénél a nagyobb tömegű darabhoz tartozó próbatestek keménysége lett nagyobb. Azonos helyről származó mintadaraboknál a hidrogénes vágás kisebb keménységet eredményezett, mint az acetilén gázzal való vágás.

Szakirodalmi hivatkozások

- [1] Meadinfo – Material properties of S355 steel. <https://meadinfo.org/2015/08/s355-steel-properties.html>
- [2] Gáti J.: *Hegesztési zsebkönyv*. Cokom Mérnökiroda Kft., Miskolc, 2003. 42–45.
- [3] Bitay E.: *Hegesztési alapismeretek*. Erdélyi Múzeum-Egyesület, Kolozsvár, 2021. 87–89.
- [4] Gáti J.: *Hegesztési Zsebkönyv I. Hegesztési eljárások*. Cokom Mérnökiroda Kft., Budapest, 2023. 151–158.
- [5] Market Research Report, 2025. <https://www.fortunebusinessinsights.com/industry-reports/welding-market-101657> (letöltve: 2025. december 16.)
- [6] Hamzah A.: *Development of welding technology in the future: analysis of trends and impacts on industry and the environment*. Collaborate Eng. Daily Book Series 1. (2023) 100–106.
- [7] Mehrifar Y., Zamanian Z., Pirami H.: *Respiratory exposure to toxic gases and metal fumes produced by welding processes and pulmonary function tests*. International Journal of Occupational Medicine and Environmental Health, 10/1. (2019) 40–49. <https://doi.org/10.15171/ijoem.2019.1540>.
- [8] Suban M., Tusek J., Uran M.: *Use of hydrogen in welding engineering in former times and today*. Journal of Materials Processing Technology, 119/1–3. (2001) 193–198. [https://doi.org/10.1016/s0924-0136\(01\)00956-6](https://doi.org/10.1016/s0924-0136(01)00956-6).
- [9] Tisza Miklós: *Anyagvizsgálat*. Miskolci Egyetemi Kiadó, Miskolc, 2010.
- [10] Callister William D., Rethwisch David G.: *Materials Science and Engineering*. John Wiley & Sons, Hoboken, New Jersey, USA, 2018.
- [11] Diekhoff P., Sun J., Nitschke-Pagel T. et al.: *A comparative study of the thermal and mechanical cutting influence on the cut-edge hardness of structural steels S355 and S1100*. International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 130. (2024) 5951–5964. <https://doi.org/10.1007/s00170-023-12937-2>