



Neumann János Egyetem

GAMF Műszaki és Informatikai Kar

Innovatív Járművek és Anyagok Tanszék

Nagyszilárdságú acéllemezek vágásának vizsgálata

Tudományos Diákköri Konferencia Dolgozat

Szerző:

Homonnai Bence

3. Évfolyamos Gépészmérnök hallgató

Témavezető:

Hareancz Ferenc, egyetemi tanársegéd

Kecskemét

2022

Tartalomjegyzék

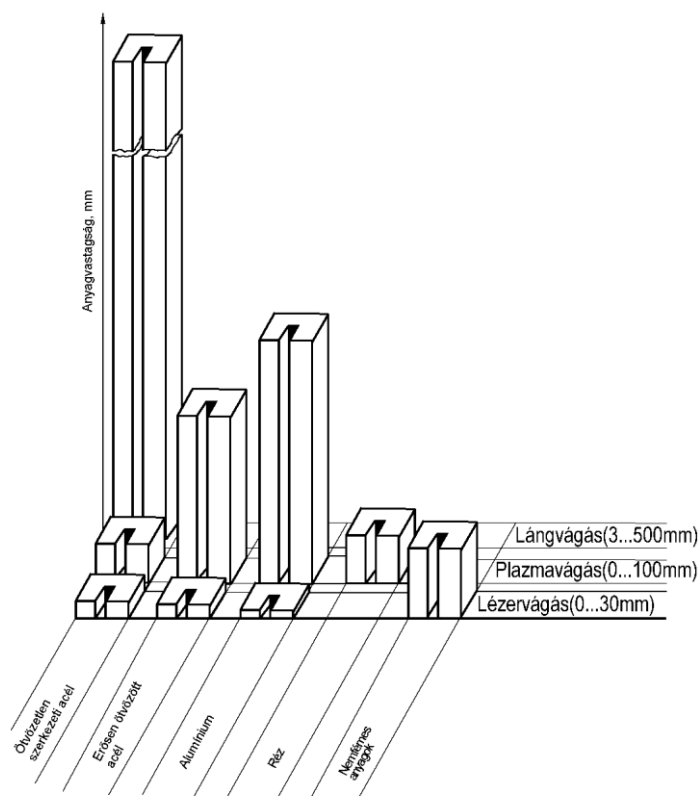
1. A LÁNGVÁGÁS TECHNOLÓGIÁJA.....	2
1.1. LÁNGVÁGÁS SORÁN AZ ALÁBBI FOLYAMATOKAT KÜLÖNBÖZTETJÜK MEG.....	3
1.2. A LÁNGVÁGÁS FELTÉTELEI.....	4
1.3. A LÁNGVÁGÁS GÁZAI.....	6
1.4. A LÁNGVÁGÁS ESZKÖZEI.....	7
1.4.1. Kézi lángvágás technológiája	10
1.4.2. Gépi lángvágás technológiája	12
2. NAGYSZILÁRDSÁGÚ ACÉLOK.....	14
2.1. A NAGYSZILÁRDSÁGÚ ACÉLOK GYÁRTÁSA	16
2.2. Q+T ACÉLOK LEGFONTOSABB JELLEMZŐI	17
2.2.1. Nagyszilárdságú acélok szívóssági viszonyai	19
2.2.2. Ötvözők a nagyszilárdságú acélban.....	21
3. KÍSÉRLET LEÍRÁS ÉS VIZSGÁLATOK	25
3.1. MIKROSZKÓPI VIZSGÁLAT	27
3.2. VICKERS KEMÉNYSÉG (HV)	35
4. ÖSSZEFOGLALÁS	39
ÁBRAJEGYZÉK	40
IRODALOMJEGYZÉK	41

1. A lángvágás technológiája

Három fő részre oszthatjuk a termikus vágás során lejátszódó fizikai jelenségeket és vágó eljárásokat.

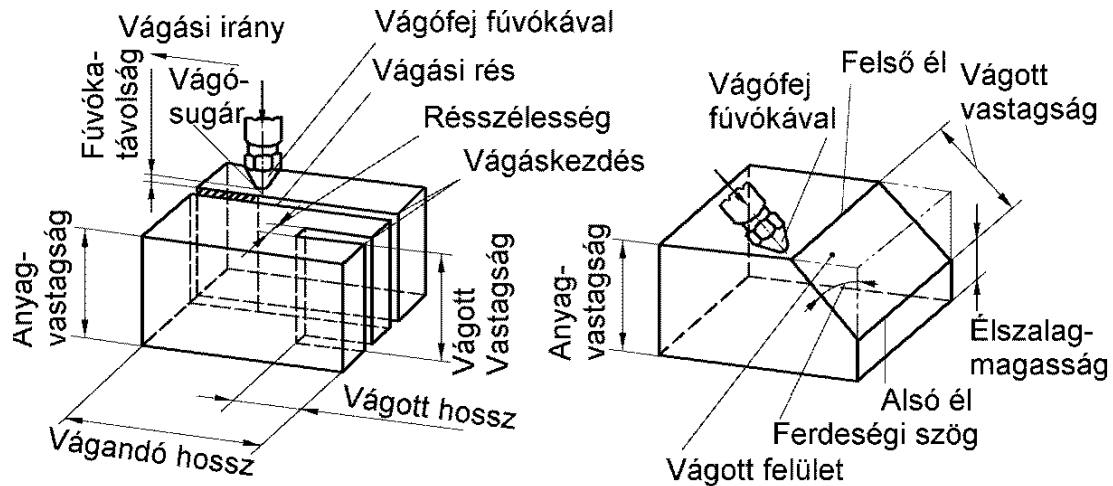
- Égetővágásnak nevezzük az eljárást, amely során a vágási részben az anyag csaknem teljes keresztmetszetében elég és nagysebességű oxigénsugár fújja ki a keletkező égéstermék.
- Ömlesztővágásnak nevezzük az eljárást, amely során a vágási részben az anyag teljes keresztmetszetében megolvad. Magas hőmérsékletű, nagy sebességű gázsugár fújja ki az ömledéket.
- Gőzölögtetővágásnak nevezzük az eljárást, amely során a vágási részben az anyag elgőzölög, és gázsugár fújja ki a fémgőzt. [8]

Az iparban a lángvágás, a plazmavágás és a lézervágás terjedt el. A lángvágáshoz oxigén és valamilyen éghető gáz, plazmavágáshoz villamos ív kialakulása, lézervágáshoz lézersugárral történő hevítés és megömlesztés szükséges. A láng-, plazma- és lézervágás során az eljárásba bevonható anyagminőségek és vágható anyagvastagságok kerültek összefoglalásra az 1 ábrán [8]



1. ábra Termikus anyagszétválasztó eljárásokkal gazdaságosan vágható anyagminőségek és vastagságok. [8]

A lángvágás technológiája a termikus anyagszétválasztó eljárások közé tartozik. Termikusnak nevezzük a szétválasztási folyamatot, ha a technológiát jellemző hőfolyamat a vágási vonala mentén vagy annak szűk környezetében anyagszerkezeti változást hoz létre.[3] A vágott felület geometriai elnevezéseit az 1. ábra foglalja össze.[6]



2. ábra A vágott felület geometriájának fogalommeghatározásai (az Msz 4317/szerint)[8]

A következőkben szeretném bemutatni a lángvágásnak a folyamatát, feltételeit, gázait, eszközeit és azon belül a kézi és gépi lángvágás technológiát.

1.1. Lángvágás során az alábbi folyamatokat különböztetjük meg

1. Előmelegítés égőgáz- oxigénlángban a gyulladási hőmérséklet eléréséig, ami kb. 1800°C –nak felel meg. Az acél ekkor készen áll az oxigénnel végbemenő reakcióra. [1]
2. Lyukasztás: A lyukasztás a vágandó felület megolvasztását jelenti, a fűvóka közepén lévő egyetlen furat állítja elő a vágó oxigénnek a sugarát, amely az acélba belépve elindítja a gyors oxidációs folyamatot. Az oxidációs folyamatban olvadt salak jön létre, amit az oxigénsugár kifúj és így átlukasztja az anyagot. [1] [7]
3. Vágás: Amint megtörtént a lyukasztás a vágó pisztoly a vágási pályának megfelelően elkezd mozogni. Mozgás közben a keletkezett ömledéket, a folyékony salakot, nagynyomású oxigénsugárral fújjuk ki a vágási résen keresztül. Az alapvető paramétereken kívül ezek a tényezők is befolyásolják a folyamatot: vágási sebesség, vágó oxigén nyomása, előmelegítő láng beállítása, vágási magasság, lemez hőmérséklete. [1] [7]

Ismert az a kémiai reakció, amely szerint az acélban lévő vas tiszta oxigénnel hevesen egyesül:



A vas-oxid keletkezése 900... 1200°C között kezdődik, és akkor válik folyamatossá, ha kellő mennyiségű oxigént fújunk a felületre.[3]

1.2. A lángvágás feltételei

A lángvágási folyamat fizikai és kémiai reakciókból áll, ezeknek összhangban kell lenniük a vágás sikeressége érdekében. A fizikai és kémiai folyamatoknak különböző feltételei vannak, melyeket a következőkben mutatok be:

4. A fém oxigén sugárban elérhető kell, legyen,
5. A fém gyulladási hőmérséklete alacsonyabb legyen, mint az olvadási hőmérséklete,
6. A fém az oxigénnel való reakciója során keletkező hőmennyiség a lehető legnagyobb legyen,
7. A fém égési hőmérséklete magasabb legyen, mint az oxidjának olvadáspontja,
8. A fém hővezetőképessége alacsony legyen.[1]

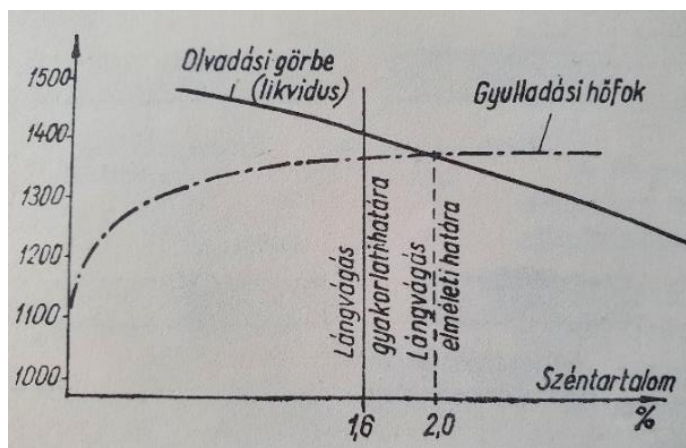
A gyulladási hőmérséklet az a legkisebb hőmérséklet, amelyben az oxigénnel történő reakció önmagától bekövetkezik. A gyulladási hőmérsékletnél az égési hőmérséklet magasabb, ezen a hőmérsékleten az elégés során fejlődő hő hatására az oxidáció/égés automatikusan folytatódik. [8]

A fenti kritériumoknak kizárólag az acél felel meg. Vegyük ellenpéldának az alumíniumot, ami nem vágható lánggal, mivel gyulladási hőmérséklete magasabb, mint az olvadási hőmérséklete és az égési hőmérséklete is magasabb, mint oxidjának az olvadás pontja, ezen kívül kiváló hővezető képessége van. Az öntöttvas vágása során keletkezett salaknak magasabb az olvadási pontja, így a folyamatos vágás nem fenntartható.[2]

Az acélok 0,25% karbon tartalomig kitűnően vághatók lánggal, ennél magasabb karbon tartalom felett edződésre hajlamosak. [8]

„A Fe – C ötvözetek 2%-nál nagyobb széntartalom esetén nem elégítik ki a 2. feltételt. Ha az acélban a krómtartalmat 1,5% fölé, és a szilíciumot 4% fölé emeljük, akkor az oxidok már olyan nehezen olvadnak meg, hogy így a 4. feltétel nem elégül ki.”[1]

Az acél gyulladási hőmérsékletének és olvadáspontjának a széntartalomtól való függését mutatja a 3. ábra. Elméletben a 2% -os széntartalom határig az acél gyulladási hőmérséklete alacsonyabb, mint az olvadás pontja. A valóságban már az 1,6% széntartalom határt szab az acél lánggal történő vághatóságának. Figyelembe kell venni, hogy 0,25% széntartalom feletti acélok beedződésre hajlamosak a lángvágás közvetlen környezetében. Ennek elkerülése érdekében alkalmazunk előmelegítést 200... 250 °C közötti hőmérséklet tartományba. [1]



3. ábra Az olvadás pont és a gyulladási hőfok változása az acél C tartalmának függvényében [1]

A szükséges előmelegítési hőmérsékletet a szénegyenérték (C_e) és a lemezvastagság függvényében az 1. táblázat mutatja. [8]

1. táblázat: Acélok előmelegítési hőmérséklete lángvágáshoz °C [8]

Szénegyenérték, C_e , %	Lemezvastagság, mm	
	<50	>50
0,3 alatt	-	-
0,3...0,4	-	100-ig
0,4...0,5	100-ig	100...200
0,5...0,6	100...200	200...350
0,6 felett	200...350	350...500

Hőkrétás ellenőrzéssel biztosítható a megfelelő hőmérséklet. Magas széntartalomnál a lángvágás után szükséges a technológiai folyamatba egy feszültség mentesítő hőkezelést beépíteni. Vörösszásig szükséges előmelegíteni az 1,6... 2,6% széntartalmú ötvözeteket a lángvágás elvégzéséhez. [1]

A nehezen lángvágható acélok esetében alkalmazzuk (lemezvastagságot is figyelembe véve) a plazmavágást, lézervágást és vízszárvágást.

Az acél egyes ötvözői, mint például a mangán segítik, néhány ötvözője, mint a szilícium, molibdén, nikkel rontják az acél vághatóságát. Vannak olyan ötvözők, amelyek nem befolyásolják egy adott százalékgig az acél vághatóságát. [8]

Előkészítő műveletek technológiai sorrendbe állítása szükséges a lángvágást megelőzően. Ilyen technológiák például a revétlenítés, rozsdátlanítás, lemezegyengetés hengerek között. Kiváló felületű lángvágást abban az esetben érhetünk el, ha a vágandó felületet a vágás megkezdése előtt a hengerlési revétől, rozsdától és más mechanikai szennyeződésektől megtisztítjuk. A tisztítás történhet homok vagy acél szemcsével. Ezeket a szennyeződéseket azért kell eltávolítani, mert gyenge hővezetők és meggátolják a hő behatolását a fém felületére továbbá az oxigén sugarat is kitérítik így lehetetlenné teszik a vágási folyamatot.[1] [8]

1.3. A lángvágás gázai

Két csoportba soroljuk a lángvágáshoz használt gázokat:

- „éghető gáz és oxigén keverékéből álló előmelegítő láng”
- az égés folyamatát biztosító oxigén

Az oxigén a lángvágás legfontosabb gáza. Az előmelegítő gázkeverékben éghető gázként leggyakrabban acetilént, propánt és hidrogént használunk. Az oxigénnek két fő feladatát különböztetjük meg, az égőgáz elégetését, ezzel párhuzamosan a hevítést és az acél elégetését valamint a folyamat során keletkezett salak kifűjtását. Az oxigén tisztaságától a beállított láng minőségétől és a kellően megtisztított vágási felülettől függ a vágási felület minősége és a vágás teljesítménye. A szennyezők jelenlétével csökken a vágósebesség és a vágás hatékonysága. „Kifogástalan felület eléréséhez 99,5% tisztaságú oxigénre van szükség.” [1] [8] Ebben az esetben a lángvágott felület alsó élén keletkező salak cseppek (cunder) kézi salakoló vassal könnyedén eltávolíthatók.

A gáz típusa olyan tényezőket befolyásolhat, mint az él minősége, a lyukasztási idő és a vágási sebesség. [7]

Acetilén: A lángvágás legjobban elterjedt égőgáza az acetilén. Az acetilénnel intenzív hevítést érhetünk el így rövid idő alatt lezajlik a vágási folyamat. Rendkívül gyúlékony, robbanásveszélyes, levegőnél könnyebb gáz. Ezért porózus masszával töltött palackban, acetonban elnyelve, nyomás alatt oldott állapotban szállítják és tárolják. Az aceton palack kötegek tárolási hőmérséklete is szigorúan szabályozott. Jellemzően 40..100 mm-es vastagságok között használjuk. Ennél vastagabb lemezeknél az elérhető magas hőmérséklete miatt a vágott felület felső élét elfűjja a láng, ezért célszerű más éghető gázt alkalmazni 100

mm fölötti lemezeknél. Acetilén előnye, hogy a vele való lyukasztás könnyebb és a lemez széleken való vágáskezddésre is alkalmas. Az acetilén állítja elő a legmagasabb hőmérsékletű lángot az összes éghető gáz közül, emiatt gyorsabb lyukasztást is el tudunk érni. Erős lángot képez, ezért csökken a hőhatás övezet mérete. Acetilén égésekor a láng hőmérséklete 3160°C feletti, míg propán esetén csak 2810°C környékén van. A magasabb hőmérsékletű láng könnyebben, sokkal gyorsabban végzi el a vágást. Az acetilénnel történő vágás kb. 2,5-3-szor gyorsabb, mint a propángázzal történő vágás. [1] [2] [3] [7]

Propán: A propán lánghőmérséklete alacsonyabb, mint az acetiléné. A lyukasztás ezért lassabban megy végbe, de a vágási sebesség megközelítőleg azonos, mint acetilén esetében.[7]

Hidrogén: A hidrogén alacsony gyulladási sebessége miatt jellemzően hosszú lánggal ég. Ezért lehet alkalmazni 100 mm-nél vastagabb acélok vágásához. A lángvágott felület felső éle éles határozott kontúr marad, a felület is egyenletes és sima lesz. A láng beállítása lényegesen nehezebben végezhető el, mint az acetilén esetében. Hidrogén gázzal történő vágáshoz 4-szer annyi hidrogénre van, szükségünk mintha ezt a feladatot acetilénnel végeznénk el. Jelentősen megnöveli a lángvágás költségét a hidrogén gáz alkalmazása.[1] [3]

2. táblázat Égőgázok adatai lángvágáshoz [2]

Égőgáz	Lemezvastagság s, mm	A vágóoxigén nyomása p, bar	Vágósebesség, v, mm/min	Gázfelhasználás			
				oxigén		égőgáz	
				m ³ /h	l/m	m ³ /h	l/m
Acetilén	10	3,1	480	2,00	70	0,17	5,9
	20	3,8	360	3,20	150	0,23	10,7
	100	6,7	180	12,50	1160	0,48	44,5
Propán	10	3,1	480	2,25	80	0,115	4,0
	20	3,8	360	3,30	150	0,125	5,80
	100	6,7	180	10,10	2100	0,180	16,68
Hidrogén	10	3,1	480	1,80	65	1,35	47,0
	20	3,8	360	2,75	130	1,70	78,7
	100	6,7	180	10,00	2080	4,30	398,0

1.4. A lángvágás eszközei

A lángvágás kézzel, gépi vagy automata lángvágó berendezéssel végezhető. A lángvágás eszközeinek fő feladatai a következők: az égőgáz és az oxigén összekeverése, az előmelegítő lánghoz való elvezetése, a vágó oxigén hengeres sugarának biztosítása kis átmérőben, de nagy sebességgel. A kézi lángvágópisztoly a legfontosabb eszköz, amiből

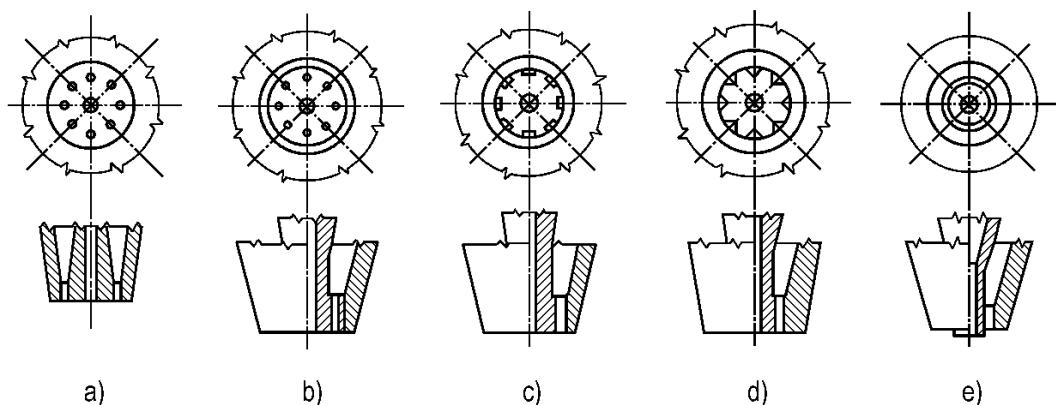
többféle kialakítás létezik a feladatok sokrétűségéből adódóan. Legjellemzőbb a gázhegesztőpisztolyhoz hasonló kialakítás. A kis karbontartalmú, ötvözetlen szerkezeti acélok vágásához oxigénüzemű, kézi vezetésű lángvágópisztoly kialakítása lehet injektoros vagy fejkeveréses rendszerű. Az injektoros pisztolyban a szelepek és hevítő-vágó fúvóka közötti vezetékben keveredik az oxigén és az éghető gáz. A fejkeverésű rendszerben, egy a fejrészbe épített hevítő-vágó fúvókában jön létre a kevert gáz. A vágópisztoly egyenes vonal mentén történő egyenletes mozgását vezetőkocsival, köríven körvezető rúddal oldjuk meg. [2] [8]

A vágópisztolyok azonos működési elvvel, de különböző változatokban készülnek, így csoportosíthatjuk az alábbi szempontok alapján:

- Égőgáz szerint,
- Vágandó lemezvastagság szerint,
- Felhasználási terület szerint.[1]

A fúvóka kialakítása fontos szerepet játszik abban, hogy a folyamat során a gázáram tiszta maradjon. Megvédi az oxigénsugarat a levegő bekerülésétől, ami légzárványokat vagy légbuborékokat okozna a fémbe.[7]

A hevítő-vágó fúvókák kialakítása többféle lehet. Ezt az 5. ábra mutatja be. Különböző hevítőláng előállítását teszi lehetővé az egyrészes, a szita-, a hornyos, valamint a réselt fúvóka. A gyűrűs fúvóka összefüggő gyűrű alakú hevítőlángot eredményez. A vágandó lemez vastagságától függően ezeket a fúvókákat cserélni kell. A sok kis furat előállítása az a. és b. típusú fúvókákon (5 ábra) nem egyszerű gyártási feladat. A hornyos, a réselt és a gyűrűs kialakítású fúvókának a kifejlesztésével koncentráltabb hőbevitel érhető el, ezeknek az egyszerűbben gyártható fúvókák használatával. [8]



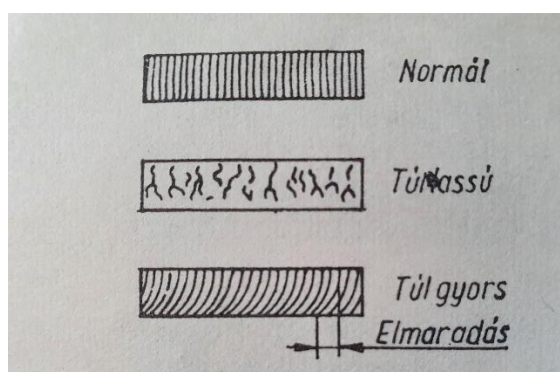
4. ábra Egy- és kétrészes fúvókák [8]

a) egyrészes (blokk-); b) szita-; c) hornyos; d) réselt; e) gyűrűs fúvóka

Centrikus fúvóka esetén az égő középső furatából lép ki a vágóoxigén, az ezt körbevevő, gyűrű alakú résből pedig a gázkeverék. Sokoldalú felhasználást tesz lehetővé ez a kialakítás. Alkalmas minden irányban, kis görbületi sugarú vágásokra is. [8]

Lángvágó pisztoly működése: A láng beállításának úgy kell történni, hogy teljesen nyitott vágóoxigén sugár esetén is semleges legyen a láng. A melegítő láng oxigén és acetilén szelepét úgy állítsuk be, hogy úgynevezett lágy lángot eredményezzen. A láng ilyenkor acetilénben dús, majd a nagynyomású vágó oxigén kinyitásával semlegessé válik. Fontos kihangsúlyozni, hogy a melegítő lángcsökkentő jellegét nem szabad átalakítani úgy, hogy normál láng legyen a kapott eredmény. [1]

Vágási sebesség: A vágási sebesség helyes megválasztásával jelentősen tudjuk befolyásolni a vágott felület minőségét. A különböző vágási sebességek hatása nyomon követhető a vágási hornyokon (6. ábra). Normál vágási sebesség esetén a hornyok majdnem merőlegesek a lemez felületére eloszlásuk egyenletes és finom vágási felületet kapunk. Alacsony vágási sebesség esetén a vágási hornyok több irányba mutatnak. Salak kifújása nem tud optimálisan megvalósulni. Magas lángvágási sebesség esetén a vágási hornyok elgörbülnek. Az anyagszétválasztásra és a salak kifújására nem áll rendelkezésre elegendő idő. A helyes vágási sebesség felismerhető arról, hogy az elégett anyag csóvaként az oxigén áramlás irányába lép ki, és nem görbül el. [1]



5. ábra A lángvágás hatása a vágási felületre [1]

A vágás minőségét meghatározza az elért felületi érdesség, a méret és alakpontosság. Vizsgálni kell a vágott felület egyenetlenségét a lángvágási hornyok vagy barázdák elhajlásának mértékét és a leolvadási sugár nagyságát. [8]

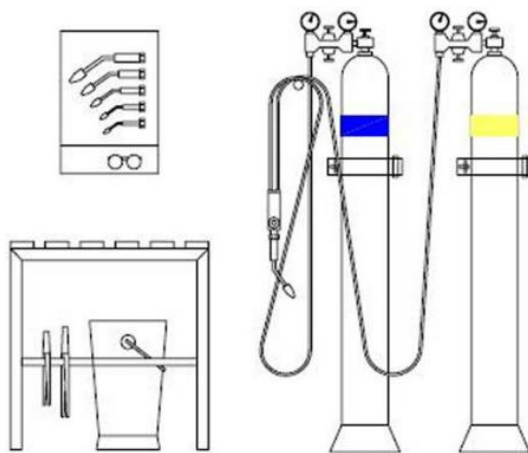
A vágás kezdési/befejezési helyének megválasztása lehetőleg úgy történjen, hogy egy éles saroknál kezdjük vágni az alkatrészt és ezen a vonalon, irányváltoztatás nélkül haladjunk tovább a kontúron. Az alkatrész vágásának befejezése is ez a legyen pont.

Minimális túlfutással a vágás a kontúron kívül fejeződik be, így az intenzív vágóoxigén nem fújja le az alkatrész sarkát. Természetesen furatban vagy íves külső kontúron ez nem kivitelezhető, ilyen helyeken íves kezdéseket és kifutásokat kell alkalmazni.

A vágás iránya és sorrendje az elhúzóadás vagy az elmozdulás csökkentése szempontjából fontos. Fő cél, hogy a táblát ne „nyissuk fel”, minél tovább próbáljuk meg egyben tartani a durvalemez táblát. További szempont lehet, amikor több azonos alkatrészt kell kivágnunk, ezt tegyük lehetőleg többfejes vágással, így gépi időt tudunk megtakarítani. [8]

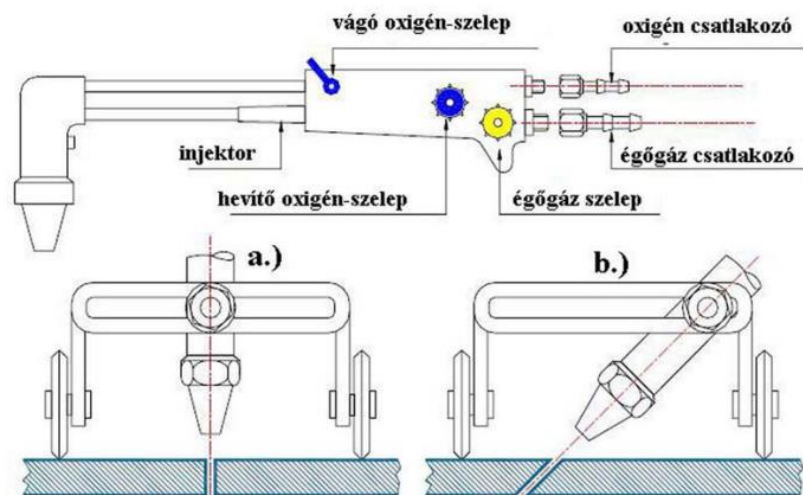
Az anyagkihozatali tényező szintén nagyon fontos szempont a szabásterv elkészítésénél. Egy gyártmány jövedelmezőségét nagyban befolyásolja a felhasznált nettó anyag és a szükséges bruttó anyag aránya.

1.4.1. Kézi lángvágás technológiája



6. ábra Kézi lángvágó berendezés [5]

Lángvágáshoz lemezvastagságoktól függően állítjuk be az oxigén és az égőgáz nyomását. A nyomásérték az égő típusától és a fúvóka fajtájától is függ. A kilépő oxigén sugárnak optimális vágást kell biztosítani. Ezen kívül az előmelegítő égő beállítása is fontos. Először égőgázban dús lángot kell állítani, majd az égőgáz folyamatos visszavételével a lángfátyol helyett élesen körül határolt lángmagot állítunk be. [2]



7. ábra Lángvágáshoz használt vágópisztoly vázlata, a vágófej fűvókája tetszőleges szögben állítható a munkadarabhoz képest a.) Vágókocsival felszerelt vágófej, a lángvágó a munkadarabhoz viszonyítva merőlegesen áll, b.) Vágókocsival felszerelt vágófej, a lángvágó a munkadarabhoz viszonyítva szögben áll [5]

Célszerű a vágást az alapanyag szélén elkezdni. Ha a vágást a belső részen kell kezdeni, akkor a lyukasztást a következők szerint végezzük. A vágás megkezdésekor az acélt a gyulladási hőmérsékletére hevítjük, és ekkor nyitjuk ki a vágó oxigén csapját. Megvárjuk, amíg a fehéren izzó anyag teljes keresztmetszetén áthatol a vágó sugár. A vágópisztolyt egyenletesen vezetjük, közben figyeljük, hogy a vágó oxigén a lemezvastagság teljes keresztmetszetén áthatoljon és a kifűjt salakmegfelelő szögben távozzon a lemezből. A kézi lángvágást jellemzően helyszíni vágásokra vagy darabolásokra alkalmazzák.[2]

3. táblázat A lángvágás technológiai adatai [2]

Lemez- vastagság s, mm	A vágóoxigén nyomása p, bar	A vágási rés szélessége, h, mm	Vágósebesség v, m/min	Oxigén- fogyasztás V, m³/h	Acetilénfogyasztás	
					m³/h	l/m
5	2,0	1,2	0,40	1,4	0,25	10
8	2,5	1,2	0,32	1,4	0,25	13
10	3	1,2	0,30	1,4	0,25	14
15	4	1,5	0,26	3...4	0,25	16
20	4	1,5	0,24	3...4	0,25	17
25	4,5	1,5	0,23	3...4	0,25	18
30	5	2,1	0,25	4,5...5	0,25	17
40	5	2,1	0,22	4,5...5	0,25	19
50	6	2,1	0,21	4,5...5	0,25	20
60	6,5	2,5	0,21	8...8,6	0,25	21
80	6,5	2,5	0,19	8,6...9	0,25	22
100	7	2,5	0,17	9...10	0,25	25

1.4.2. Gépi lángvágás technológiája

Kézi lángvágással pontos egyenletes felület kialakítása nem érhető el folyamatosan ezért ma már gépi lángvágást alkalmaznak. A gépi lángvágás biztosítja a nagy darabszámú vágások pontos és ismétlődő kivitelezését, úgy, hogy a vágási sebesség egyenletes a vágási művelet egésze során. A hatékonyság tovább javítható több vágófej egyszerre való alkalmazásával. Ez egy gazdaságos és termelékeny folyamat.[3]

Gépi lángvágásnál meg tudunk különböztetni helyhez kötött és helyhez nem kötött kivitelezést.

A hordozható lángvágógépek kis tömegűek 1 maximum 2 vágó fejjel felszereltek. A legegyszerűbb gépesített hordozható lángvágó gép a szekátor. Ez a berendezés jellemzően egyenes vágásokra vagy egyenes vonalú leélezésekre képes, hegesztési varratok kialakítására a vágófej fokban történő döntésével. Előtoló sebességüket jól lehet szabályozni, a mozgást vezető sín határozza meg. A lángvágás technológiai, munkafolyamatai megegyeznek a kézi lángvágás műveleteivel.[3] [6]

A gépi lángvágó berendezések másik csoportja a helyhez kötött lángvágógépek. Kialakítás szerint lehetnek konzolos lángvágók és a portálvágók. Konzolos lángvágó gépek jellemzően optikai lángvágó gépek voltak, ma már nincsenek használatban.[3] [6]

A portál rendszerű gépek a kialakításuknál fogva nagyobb merevséggel rendelkeznek.

A vágás során keletkező alkatrészek felhasználási területe, ismétlődő, szükséges darabszáma határozza meg a gépre kerülő lemeztábla méreteit. Ez segít kiválasztani a portál rendszer szélességi méretét, szükséges vágófejek számát. [8]

CNC, DNC technológiával felszerelve alkalmasak akár tömegtermelésre is. 1 vagy 2 oldali fogaskerék – fogasléc hajtással rendelkeznek, a keresztartón 1- 4, de akár 6-8 vágófej is elhelyezhető. Amennyiben leélezést is tervezünk a lángvágó berendezésen végezni a felszerelhető fejek számát csökkenteni kell. A vágófejeket egy acélszalaghoz rögzítve tudjuk biztosítani egy időben több azonos alkatrész kivágását. A vágási pontosság elérheti a 0,1 mm értéket is. Mindig létezik egy vezérelt fej, ez követi le a szabástervben meghatározott gyorsjáratú pozicionálásokat, az alkatrész körüljárási irányát a kontúr vágásakor. Minden további vágófej az acélszalaghoz rögzítve, egy kényszerkapcsolat eredményeként írja le az előírt mozgást. [3] [8]

A portál rendszerű gépek nagy előnye, hogy telepítésekor megfelelő hosszúságú vágóasztal fölé téve rendelkezik vágási hellyel és külön pakoló hellyel. Míg az egyik helyen dolgozik a lángvágó gép a másik helyen a dolgozónak van lehetősége leszedni, azonosítóval ellátni a kivágott alkatrészeket és leemelni a térhálós hulladékot, majd fölkészíteni vágásra

a következő tábla lemezt. A lángvágó asztalok ezen kívül biztosítják a vágandó lemez tökéletes síkkifekvését is. Kétféle kialakítása létezik a lángvágó asztaloknak. Élére állított laposacélok alkalmazása a gép haladásának irányára 45 fokos szögben, megfelelő távolságra egymástól. Öntött tüskék alkalmazása a lángvágó asztal rácsainak metszéspontjában.

Mindkét rendszernek biztosítani kell, hogy a kivágott alkatrész ne billenjen meg, mert ez a lángvágó fej fennakadásához, súlyosabb mechanikai károsodáshoz vezethet. Ennek érdekében az üzemóra függvényében az elhasználódás mértékét figyelve szükséges cserélni a laposacélt vagy tüskét.

2. Nagyszilárdságú acélok

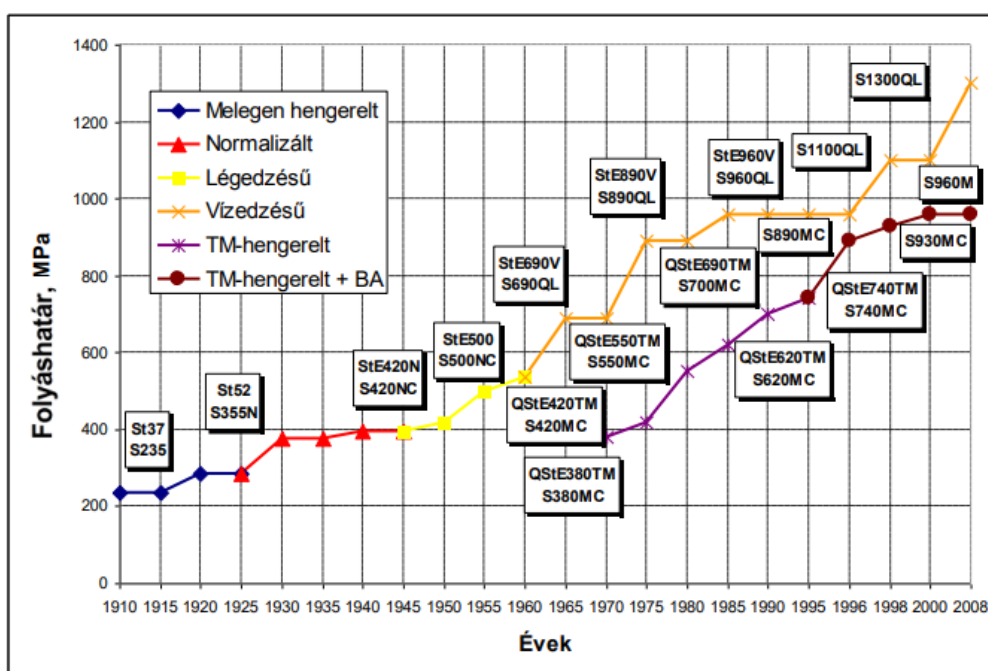
A nagyszilárdságú acélok felhasználása széles körben elterjedt a járműiparban, hajóiparban, építő iparban és a mobil emelőgépek területén. [10]

A fejlődés irányát első sorban a szilárdság növelése, a folyáshatár emelése határozta meg. A nagyszilárdságú szerkezeti acélok beépítése mozgó szerkezetek esetén hasznos, mivel a szerkezet tömege nagymértékben redukálható. A kisebb tömeg alacsonyabb gyártási költséget és alacsonyabb üzemeltetési költséget jelent a különböző területeken.[11]

További előnyt jelent, hogy a rohamosan dráguló alapanyagokból kisebb beépített tömeg szükséges. Gyártás során hegesztési szempontból a kisebb lemezvastagságok miatt kevesebb hegesztési hozaganyagra van szükség.

Járműiparban a fogyasztás csökkenés, emelőgépek esetén a nagyobb emelési magasság, építőiparban a jobb önhordó képesség területén jutunk előnyhöz.[9]

A kohászati technológiák fejlődésének köszönhetően a szerkezeti acélok széles folyáshatár tartományban (235- 1300 MPa) állnak az ipari felhasználók rendelkezésére. Az elmúlt közel 100 év során a szerkezeti acélok folyáshatára kb. ötszörösére növekedett, de a fejlődés jelenleg is töretlenül halad.[9]



8. ábra A szerkezeti acélok fejlődési trendje az elmúlt 100 évben [9]

Az acél szilárdsága és keménysége között fennálló összefüggésből következik, amennyiben növeljük a szilárdságot az acél keménységét is növekszik. Több eredményesen és gazdaságosan végezhető szilárdságot növelő eljárást ismerünk.

Ezek a következők:

- alakítási keményedés
- szilárdoldatos ötvözés
- szemcsefinomítás
- hőkezelés
- kiválasztott keményítés [12]

Ezek az eljárások önállóan vagy egymással kombinálva is végrehajthatók. Az acélgyártók a hagyományos szilárdságot növelő eljárások mellett új gyártástechnológiákat is használnak, mint például a szemcsefinomítás, nemesítés és termo mechanikus (TM) hengerlés. [12]

Az acélok szilárdsági értékeik alapján az alábbi csoportokba tartoznak:

- kisszilárdságú acélok: $R_m=250-400$ MPa, $R_{p0,2}=200$ MPa, $R_{p0,2}> 1000$ MPa.
- közepesszilárdságú acélok: $R_m=400-600$ MPa, $R_{p0,2}=275-500$ MPa,
- nagyszilárdságú acélok: $R_m=600-1200$ MPa, $R_{p0,2}=500-1000$ MPa,
- ultranagyszilárdságú acélok: $R_m> 1200$ MPa, $R_{p0,2}> 1000$ MPa [12]

Nagyszilárdságú acélokhöz a finomszemcsés jelző hozzá tartozik. A gyártás során szilárdságnövelő módszerként a szemcsefinomítást használják. A szemcseméret és a folyáshatár közötti kapcsolatban a szilárdság nő a szemcsék méretének csökkentésével. A szemcsehatárok megakadályozzák a finomabb szövetszerkezeteknél a rácshibák mozgását, egyúttal a folyáshatár növekedését eredményezik. Nő az ütőmunka értéke is és javulnak a szívóssági tulajdonságok. A repedések keletkezéséhez és terjedéséhez a finomabb szemcseszerkezetben nagyobb energia szüksége, így a szívósság növekedésével csökken a repedések kialakulásának lehetősége. [9] [12]

A finom szemcseszerkezet elérése nagyszilárdságú acéloknál több eljárással is kivitelezhető. Az acélok allotróp átalakulásában és a lehetséges hőkezelések alkalmazásával a finomszemcsés acélok mechanikai tulajdonságai széles határok között módosíthatók. A gyártási technológiák alapján az acéloknál az alábbi csoportokat különböztethetjük meg:

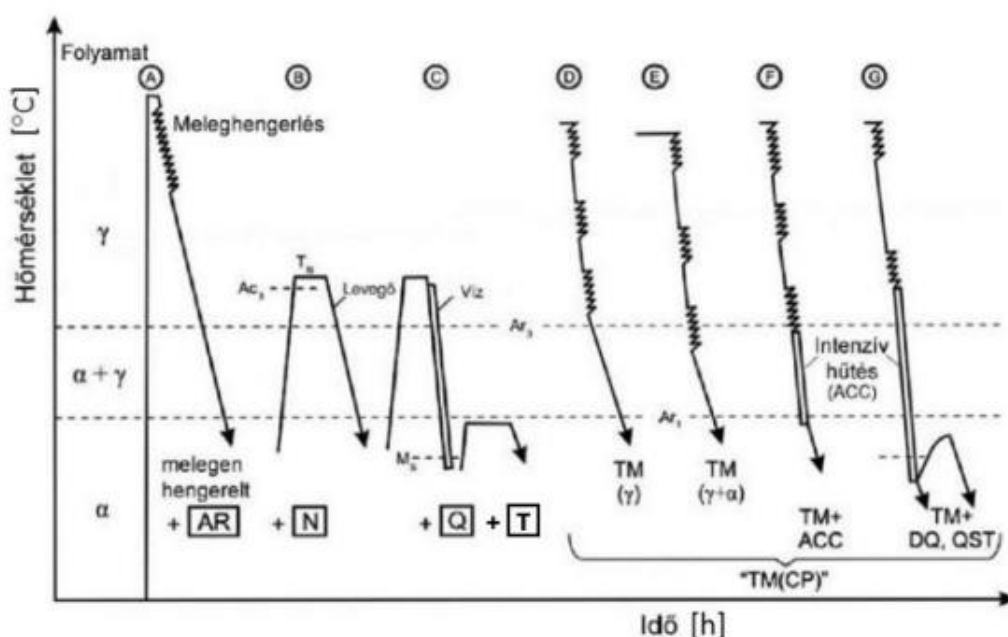
- hagyományos hengerléssel készült acélok (AR: as rolled),
- normalizált acélok (N: normalized),
- nemesített acélok (Q + T: quenched and tempered),
- különböző termomechanikus kezelésekkel készült acélok (TM: termomechanically rolled/treated)[12]

2.1. A nagyszilárdságú acélok gyártása

Ezen acélok gyártása melegalakítással kezdődik, a folyamat során a finomszemcsés szerkezetet biztosítják a használt mikroötvözők, mivel ezek adott hengerlési hőmérsékleten megakadályozzák, hogy az ausztenit szemcsék túlzottan megöljenek. Ennek érdekében fontos, hogy a hengerlés megfelelő hőmérsékleten menjen végbe, ami bizonyos acéloknál a homogén ausztenites mező hőmérséklete ($1000-1100^{\circ}\text{C}$). Azonban figyelni kell arra, hogy ne lépünk túl egy kritikus értéket (kb. 1300°C), mert ekkor a szemcsék túlzott eldurvulása bekövetkezik. [14]

Az elérhető szemcsefinomítási határ és az elérhető szilárdság normalizált acéloknál lényegesen kisebb, mint egy összetett gyártástechnológiánál. [12]

A hengerlést követi a szabályozott körülmények közötti hűtés, amellyel egy finomszemcsés ferrites szövetszerkezetet tudunk elérni. A hűtést követően következik a tényleges nemesítés. A nemesítés során A_{c3} feletti hőmérsékletre hevítjük az acélt, majd edzésre, azaz gyors hűtésre kerül sor. Újból egy hevítés következik, amelynek hőmérséklete nem haladja meg A_1 -et, ezzel érhető el a kívánt szövetszerkezet és szemcseméret. A folyamat a 10. ábra A és C görbéin követhető végig. [14]



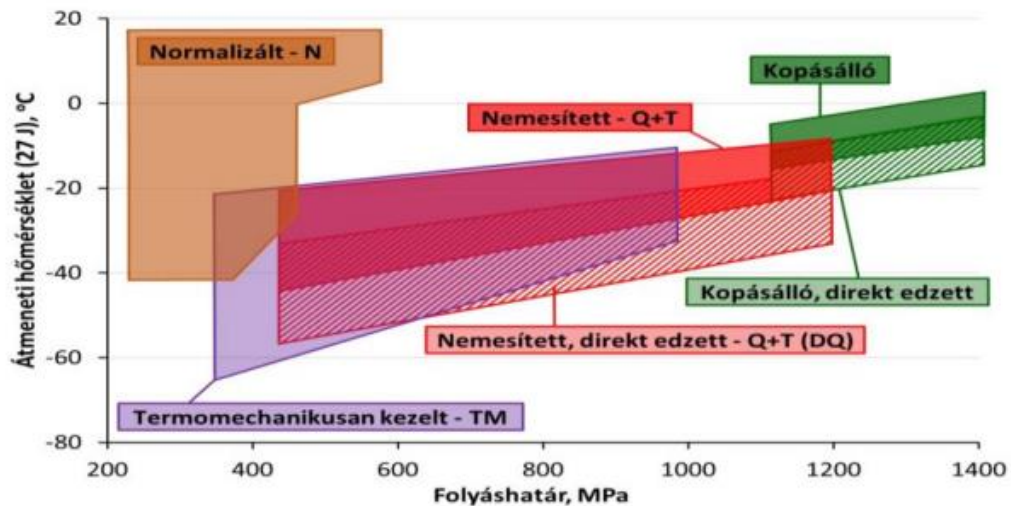
9. ábra Finomszemcsés szerkezeti acélok gyártástechnológiái (AR: hagyományos hengerlés, N: normalizálás, Q: edzés, T: megeresztés, TM: termomechanikus kezelés, ACC: gyors levegő hűtés, DQ: direkt edzés, QST: nemesített, edzésről azonnal megeresztett, CP: szabályozott folyamat) [14]

A folyamat legjelentősebb eleme az edzés, ahol előállítjuk a martenzites szövetszerkezetet. Kellően nagy hűlési sebességgel lehet csak elérni a martenzites átalakulást, ami egy diffúziós folyamat. Ekkor vas és a karbon sem képes a diffúzióra. (Az átalakulás csak úgy tud végbe menni, hogy az ausztenit és martenzit között csak rácsbillenéssel, illetve sok atom egyszerre való mozgásával.) A rácsbillenés egy rögzített kristálytani sík mentén kezdődik. Ebben a síkban a legszorosabb a kapcsolat az ausztenit és a martenzit rács legsűrűbb atomsíkjai között. Az eredeti ausztenit rács átbillenése martenzit ráccsá egy eltorzult kristályrácsot hoz létre. A még át nem alakult ausztenit kristályrács akadályozza az átbillenést. A diszlokációk száma megnövekszik, köszönhetően a polikristályos anyagban az átalakulással együtt járó képlékeny alakváltozásnak. A martenzit nagy keménységét eredményezik a rácshibák, illetve a rácsban ragadt karbon atomok. [14]

2.2. Q+T acélok legfontosabb jellemzői

A nemesített nagyszilárdságú acélok esetében a karbontartalom alacsony, nem haladja meg a 2%-ot, de általában még a 0,16%-ot sem éri el. Fő ötvözőik közé tartozik a mangán, króm, molibdén, bór és a nikkel. A lemezvastagság széles határok között elérhető, a gyártók 4 mm-től egészen 160 mm-ig terjedő lemezvastagságig is garantálják a mechanikai jellemzőket. Repedésérzékenységük nem tekinthető jelentősnek a karbonegyenértékük alacsony a kis karbontartalom és ötvözöttség miatt. Bizonyos esetekben a hidegrepedés megjelenésével lehet számolni a repedések közül. [14]

Az gyártási folyamatok az egyes lépések mértékében és időrendiségében különböznek. A meleghengerlés és az edzés közé egy anyagmozgatási lépés ékelődik be a hagyományos edzés során, ami azt eredményezi, hogy edzés előtt egy újbóli felhevítésre van szükség és ezt követi a gyors hűtés és a magas hőmérsékletű megeresztés. Míg a direkt edzés során közvetlenül a hengerlést követően gyors hűtés következik, így nem szükséges újbóli felhevítés és azonnal végbemegy az edzés, amit követ egy magas hőmérsékletű megeresztés. Ezek az acélok mikroszerkezeti tulajdonságaikat nézve különösen kemények és szívós szövetszerkezettel bírnak. A hagyományos acélok átmeneti hőmérséklete nagyobb, mint a nemesített acéloké és szilárdsági tulajdonságaikban sem maradnak el. A 11. ábra bemutatja az átmeneti hőmérséklet függvényében az acélok elhelyezkedését. [14]



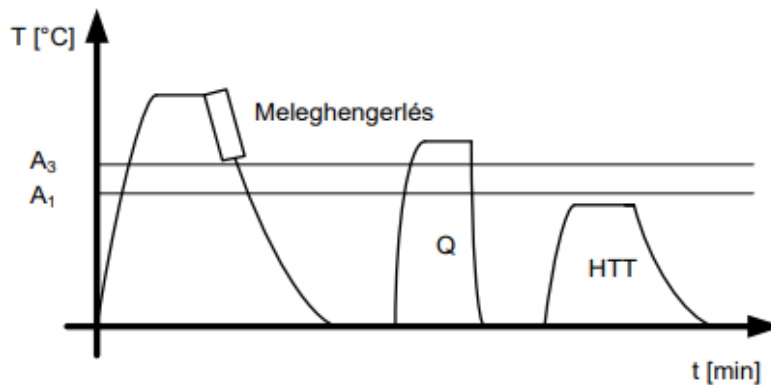
10. ábra Különböző módon gyártott acélok folyáshatára és átmeneti hőmérséklete közötti kapcsolat [12]

A nemesített állapotú acélok kifejezetten jó szilárdságát az ötvözőtartalom jó megválasztásával és a hőkezelési paraméterek együttes hatásával érhetjük el.

A nemesítési folyamatot az alábbi három részre tudjuk tagolni:

- Az A_3 hőmérsékleten végzett meleghengelés után lassan hűtik vissza az acélt szobahőmérsékletre.
- Ezután újra A_3 hőmérséklet fölé hevítjük az acélt, de csak rövid ideig (ausztenit alakuljon ki a teljes keresztmetszetben), ezt követően gyors vízhűtéssel megedzük az acélt
- Befejezőként megeresztés következik lassú hűtéssel, A_1 hőmérséklet alatti értékről. [12]

Az így kapott acél nagyszerű szilárdsági jellemzőkkel rendelkezik, emellett szívóssági tulajdonságai is megfelelőek. A magas megeresztési hőmérséklet eredményeként az acél szilárdsági tulajdonságai is javulnak. A szemcse méret finomítása ötvözőkkel és mikro ötvözőkkel történik az átedzhetőség érdekében. A folyamat során a megeresztés hőmérsékletén finom eloszlású nitridek és karbidok képződnek, melyek növelik az acél szilárdságát szemcsefinomító hatásuknak köszönhetően. [12]



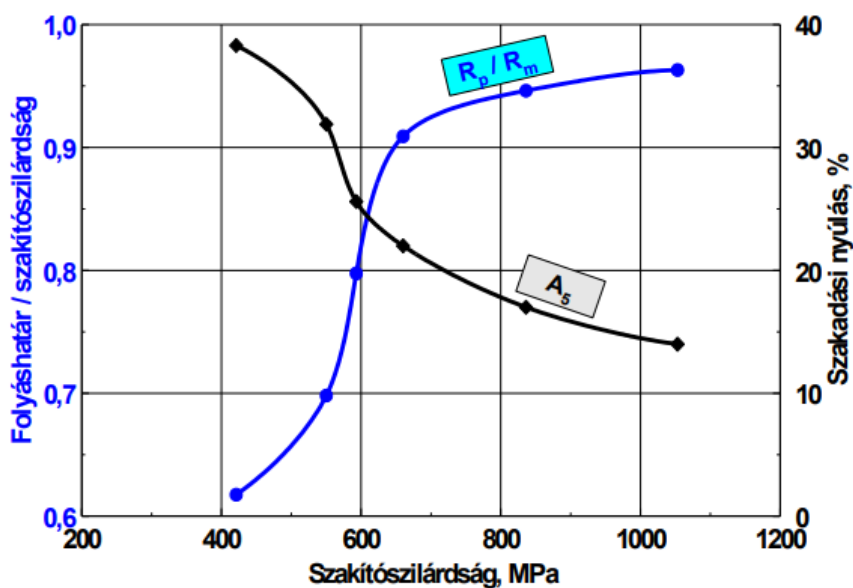
11. ábra A nemesített nagyszilárdságú acélok gyártási folyamata (Q: edzés, HTT: nagy hőmérsékletű megeresztés) [12]

Napjainkban már létezik olyan gyártástechnológia, ahol a meleg hengerlést követően, felhevítés nélkül történik az edzés. Az így gyártott acélokat direkt edzett acéloknak hívjuk.[12]

A ma ismert finomszemcsés acélok csoportjában a nemesített acélok bírnak a lehető legnagyobb szilárdsági tulajdonságokkal, 1000 Mpa fölötti folyáshatárral rendelkeznek. A nemesített acélok gyártásnak első lépése melegalakítással veszik kezdetét, ami ausztenitesítési tartományban történik, közel 1100°C-on. [12]

2.2.1. Nagyszilárdságú acélok szívóssági viszonyai

A nemesített nagyszilárdságú acélok gyártása és a felhasználásuk során alkalmazott azon technológiáknál, amelyek hőbevitellel járnak (például hegesztés, termikus vágás, lánggyengítés) fokozott figyelemmel kell eljárni. A nemesített nagyszilárdságú acéloknak jóval nagyobb a ridegségi hajlama a hagyományos acélokhöz képest, ezt már az egyhez közeli R_p/R_m aránya is mutatja. Eltérő szilárdsági kategóriájú szerkezeti acélok R_p/R_m arányát és százalékos szakadási nyúlását ábrázolja a 13. ábra a szakítószilárdság függvényében. Ebből következik, hogy a nemesített nagyszilárdságú acélok nyúlási szakasza minimális a szakítódiagrammon, ezek az acélok igen alacsony képlékeny tartalékkal bírnak. [9]



12. ábra Az acélok szilárdságának hatása a ridegségi hajlamra [9]

Különböző méretű és eloszlású rideg fázisok és a szemcseméret inhomogenitása látható a nagyszilárdságú acélok mikroszerkezetében. Ebből következik, hogy az esetleges hasadásos törés kezdetét a leggyengébb láncszem elve szerint a rideg részek és a nagyobb méretű szemcsék elhelyezkedése befolyásolja. A háromtengelyű húzó feszültségállapot miatt a bemetszésekben, a korábban kialakuló makrorepedések tövében a képlékeny folyáskor fellépő húzófeszültség mértéke nagymértékben megnő. Például a főfeszültség nagysága akár a 2,5- szerese is lehet az adott anyagminőség egytengelyű húzó folyási feszültségének a Charpy V- bemetszés tövében [9].

A nagyszilárdságú acéloknak az átmeneti hőmérséklet növekedését okozza az, hogy a képlékeny folyáshoz tartozó feszültség szint nagyobb. Ezért az acélgyártók a szemcseszerkezetet finomítják mivel ez a legalapvetőbb módja, hogy a ridegtöréshez tartozó kritikus feszültség szintet növeljék. A szilárdság növelésével kisebb törési szívósságot és kisebb kritikus repedésméretet tudnak elérni. [9]

A szemcseszerkezet a kisebb szilárdságú szerkezeti acélok esetében ferrites, ezért a szemcserefinoítás egyszerűen magyarázható. A nemesített nagyszilárdságú acéloknak, megeresztett állapotban tűs martenzit és bénit figyelhető meg, a szilárdsági osztályoktól függően. A nemesített nagyszilárdságú acéloknak az eredeti ausztenit szemcsehatárokon belül összetett szerkezet, csoportokból és a martenzit tűkből álló szubszemcsehatárok jönnek létre. „Ezek a tűhatárok kivételével mind nagyszögű szemcsehatároknak tekinthetők, amelyek az effektív szemcseméretre vannak hatással, ami alapvetően befolyásolja a hasadásos törés jelenségét.” Az alakítási hőmérséklet, a vegyi összetétel és a hűtési

körülmények befolyásolják az effektív szemcseméretet az eredet szemcsemérettől. Az előbbi tényezők megfelelő megválasztásával kis átmeneti hőmérsékletet lehet elérni akár 1000Mpa folyáshatár feletti acél esetében is az effektív szemcseméret 1µm-re való csökkentésével. [9]

2.2.2. Ötvözők a nagyszilárdságú acélban

A **karbon** az acél legfontosabb alkotója, ami a szilárdság növelésében meghatározó tényező. Oldott állapotban intersticiós ötvözőként, a fázisátalakulások (Fe_3C lemezek és korongok) és a megeresztés közben karbidok (cementit, ötvözők karbidjai) formájában növeli a szilárdságot. Ausztenitképző ötvözőként az M_s hőmérsékletet csökkenti. Szerkezeti acélokban a repedésveszély miatt a mennyiségét 0,2%-ban, nagyszilárdságú hozaganyagoknál ennél is jobban korlátozzák a varratban bekövetkező hidegrepedések kivédésének érdekében. [9] [15]

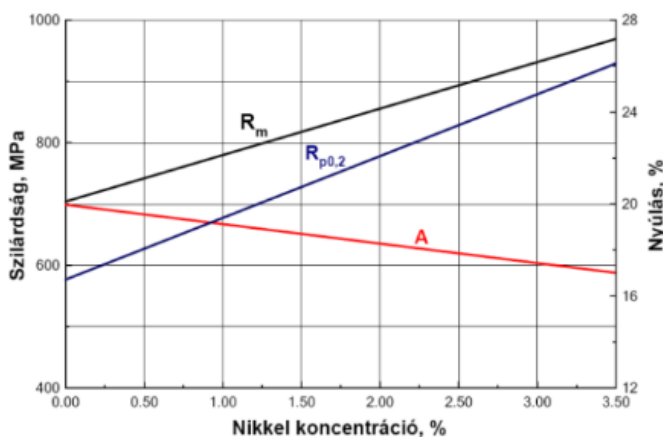
A **mangán** elsősorban alacsony ára miatt az acél elsősorban szilárdságnövelő ötvözője, meghatározott határig (kb. 1,5%) a szívósság lerontása nélkül, szubsztitúciós ötvözéssel növeli a szilárdságot. Ezen kívül előnyös tulajdonsága, hogy az oxigénnel és a kénnel könnyedén lép reakcióba, ez kedvező hatással van az acél mechanikai jellemzőire. Párhuzamosan csökkenti a melegrepedési hajlamot is. „Az edződési hajlamra gyakorolt hatása miatt a karbonegyenértékre vonatkozó összefüggésekben szerepel.” Az MSZ EN 10025-6 szabvány a nemesített nagyszilárdságú szerkezeti acélokra 1,7%-ban adja meg a mangán érték felső határát. [9] [15] [16]

A **szilícium** szintén az acélok alapvető ötvözője az erős dezoxidáló képessége miatt. Szilárd oldatot alkotó ötvözőként a szilárdságot növeli a gyengén ötvözött acélokban, viszont a szívósság értéként nagymértékben lerontja. Hidegrepedések keletkezésében nem határozható meg egyértelműen a hatása, ezért megtalálható egyes karbonegyenérték összefüggésekben (lásd a 13. ábrát is). A vonatkozó szabvány a nemesített nagyszilárdságú acélok esetében a szilícium tartalmat 0,8%-ban, mint maximális értékben adja meg. [9] [16]

„A **króm** ferrit-, karbid-, (Cr_{23}C_6 , Cr_7C_3 , Cr_3C_2) és oxidképző ötvöző”. Az átalakulási görbék jobbra eltolásával növeli az edződési hajlamot, vele párhuzamosan növeli a szilárdságot is. Hegesztés szempontjából nem előnyös a króm jelenléte az acélokban, ezért hogy jól hegeszthető acélt kapjunk, a krómot teljesen elhagyják vagy maximum 0,5%-ban engedik meg a jelenlétét. Nemesített nagyszilárdságú acélokban 1,5% fölé nem mehet a króm értéke, azonban a fokozott repedésiképződési hajlam miatt sokkal alacsonyabb értéket engednek meg a gyártás során. [9] [15] [16]

A **molibdén** szintén ferrit- és karbidképző ötvözője a nemesített nagyszilárdságú acéloknak. Megegeresztéskor az 550 °C felett keletkező, keményedést okozó Mo_2C formájában a megegeresztésállóságot intenzíven növeli. Többsoros varratkialakításkor segít megőrizni a szilárdsági jellemzőket. A szabvány a nemesített nagyszilárdságú acéloknak a molibdén mennyiségét 0,7%-ban korlátozza a repedés kialakulási hajlamelkerülése miatt. [9] [15][16]

A **nikkel** szubsztitúciós ötvöző formájában az alakváltozási és szívóssági értékek romlása nélkül tudja növelni a szilárdságot. A repedések elkerülése és a kiegyensúlyozott, biztonságos viselkedés miatt kiemelten fontos szívósságot, nyúlást és az átmeneti hőmérsékletet csak kis mértékben rontja. (14. ábra). [9] [15]



13. ábra A nikkelötvöztetés mechanikai tulajdonságokra gyakorolt hatása [9]

A nikkel mennyiségét a szabvány a nemesített nagyszilárdságú acéloknak maximum 2%-ban, a hozzájuk tartozó hozaganyagokban 2,8%-ban korlátozza. Nagyobb mennyiségben a nikkel a kénnel eutektikumot alkotva növeli a megrepedési hajlamot. A nikkel meglehetősen drága ötvöző, elsősorban előfordulása miatt, ezért jellemzően a nagyszilárdságú hozaganyagokban alkalmazzák. Az acél alapanyag szilárdságát, nikkel nélkül, a gyártás során alkalmazott technológia fejlesztésével növelik. Az acélgyártás során olcsóbb, jobban előforduló ötvözők felé fordultak, így próbálják meg kiváltani a drága nikkelt. A nikkelötvöztetés mechanikai tulajdonságokra gyakorolt hatását szintén a 14. ábra mutatja. [9] [15] [16]

Az **alumínium** erősen dezoxidáló hatású és nitritképző. Az ötvöző hatására képzett lágy oxidok és nitridek kristálycsírákat alkotnak, ennek következtében az alumínium a szemcsefinomításban is fontos tényező. Hatása kisebb, mint a titáné vagy a nióbiumé. Az ötvöző jelenlétét korlátozza, hogy csak az oxigén és a nitrogén megkötéséhez szükséges

mennyiség kerülhet az acélba. Az e feletti mennyiség lerontja az alakváltozó képességét az acélban. Az alumínium, mint ötvöző segíti a felső bénites átalakulást, ez a szívósságot csökkenti, továbbá szerepet játszik a karbonban dús törékeny zónák (M-A szigetek) kialakulásában. [9] [15] [17] [18]

A **nióbium** mikroötvözőt, ki kell emelni a nemesített nagyszilárdságú acélokban. Fontos nitrid- és karbonitridképző. A diszperz kiválások meggátolják az ausztenit szemcsék durvulását a hőhatás övezetében. A nióbium nagyon kis mennyiségben (0,02%) is hatékony egy közepes karbontartalmú acél folyáshatárának növelésében. Kedvező a hatása a szemcsés bénit és martenzit képződésére. „A nemesített nagyszilárdságú acélokban a nióbium tartalmat 0,06%-ban korlátozzák.” [9] [15] [16] [17]

A **vanádium** nitrid- és karbonitridképző a nióbiumhoz hasonlóan. Kiválások keményedés formájában és szemcsefinomító hatásának köszönhetően növeli a szilárdságot. A 0,13 – 0,15% karbon érték és az 1% mangántartalom esetén már várható a kiválások keményedés. Ha a nitrogén meghaladja a 0,01%-ot akkor még valószínűbb a kiválások keményedés. Több esetben kimutatták, hogy szoros összefüggés van a vanádium tartalom és az M-A szigetek mérete között. A nemesített nagyszilárdságú acélok vanádium tartalma maximálisan 0,12% lehet. [9] [15] [16] [17]

A **titán** szintén nitrid- és karbonitridképző, emellett nagyon erős dezoxidens is. Jelenléte nagyon fontos a hőhatásövezetben való szemcsedurvulás mértékének csökkentésében. A kiválások keményedésén túl, kedvező hatása van a szulfidok alakjának jó irányba való formálásával. Erősen dezoxidáló jellegű, ez a hatás leginkább teljes mértékben csillapított acélnál figyelhető meg. Az acél öregedésállóságára is jó a hatása a nitrogén megkötésében betöltött szerepe miatt. Folyékony állapotban is képes reakcióba lépni a nitrogénnel, viszont a keletkező nagyméretű kiválások már kevésbé gátolják a szemcsedurvulást és a repedések kiindulási helyei lehetnek. A titán megengedett maximális értéke 0,05% lehet a nemesített nagyszilárdságú acélokban. [9] [15] [16] [17]

A **cirkónium** nitrid- és karbidképző, valamint dezoxidáló hatású ötvöző. Azzal, hogy megköti a kén, csökkenti a melegrepedés veszélyét. A keletkező zárványok alakja optimálisabb lesz, ez pedig hatással van az acél alakváltozó képességére. A cirkónium maximálisan megengedett mennyisége a nemesített nagyszilárdságú acélokban 0,15%. [9] [15] [16] [17]

A **bór** igen elterjedt ötvözője a nemesített nagyszilárdságú acéloknak. Nitridképző hatása fokozott, de a karbidképző képessége még kiemelkedőbb. Nagymértékben elősegíti az átedzhetőséget, mert az ausztenit szemcsehatárán dúsulva gátolja a proeutektoidos ferrit

kialakulását. Kedvező tulajdonsága még, hogy finom karbidkiválások formájában az acél ütőmunkáját és szívósságát növeli. Nagyon pontosan szabályozott ötvözéssel érhető el, hogy az ausztenit átalakulásának akadályozásához szükséges 10...30 tömeg ppm elemi szabad bór rendelkezésre álljon, de ne haladja meg ezt a mennyiséget. Nagyobb mennyiség esetén a bór már boro-karbid formájában kiválik, így elősegíti a ferritképződést, rontja az átedzhetőség. A bór mennyiségét a nemsített nagyszilárdságú acélokban 0,005%-ban határozták meg. (Ilyen kismértékű bór alkalmazásának a feltétele a gyártásnak a magasszintű szabályozottsága, ez egyben a hátránya is.) Az előállítás technológiájának magas költsége háttérbe szoríthatja a bór alkalmazását. [9] [16]

A különböző ötvözők a következőképpen befolyásolják az acél vághatóságát:

- mangán: elősegíti a lángvághatóságot.
- szilícium: a magas olvadáspontja miatt nehezíti a lángvágást.
- foszfor és kén: jelentősen nem befolyásolja a lángvághatóságot,
- króm: a nagy krómtartalom nehezíti a lángvágást, ezért ezt plazmavágással várják,
- nikkel: nagy nikkeltartalom esetén nehezíti a lángvágást a magas olvadáspont miatt,
- molibdén: 0,5% felett nehezíti a lángvágást,
- réz: a lángvághatóságot nem befolyásolja,
- volfrám: 20% felett a volfrám tartalmú anyagok nem vághatóak,
- alumínium: 10% felett lehetetlenné teszi a lángvágást. [13]

3. Kísérlet leírás és vizsgálatok

A lángvágáshoz égőgázként acetilént (4. táblázat) és propánt (5. táblázat) alkalmaztunk. A vágási paramétereket az alábbi táblázatok foglalják össze.

4. táblázat Vágási paraméterek acetilén égőgáz esetén

Anyagminőségek	S460 NL	P460 NL2	S690 QL
Lemez vastagságok (mm)	40	60	100
Vágó fúvóka	25-40	40-60	60-100
Acetilén nyomás (bar)	0,5	0,5	0,5
Melegítő oxigén nyomás (bar)	2,5	2,5	2,5
Vágó oxigén nyomás (bar)	8	8,5	8
Vágó sebesség (mm/min.)	420	360	270
Fúvóka távolság (mm)	5-7	5-7	5-7
Vágórés (mm)	2,7	3	3
Acetilén fogyasztás (m ³ /h)	0,36	0,36	0,36
Melegítő oxigén fogyasztás (m ³ /h)	0,47	0,47	0,47
Vágó oxigén fogyasztás (m ³ /h)	5,50	7,10	11,00
Oxigén fogyasztás (m ³ /h)	5,97	7,57	11,47

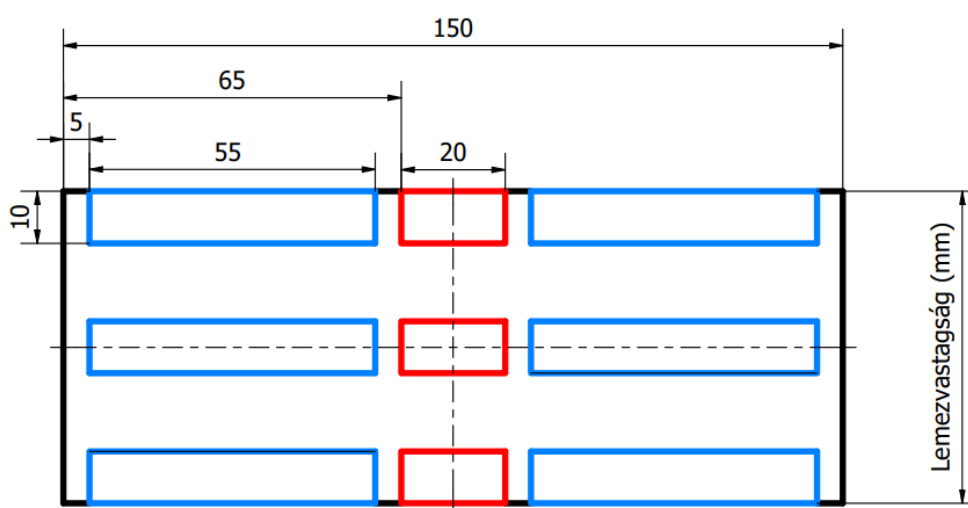
5. táblázat Vágási paraméterek propán égőgáz esetén

Anyagminőségek	S460 NL	P460 NL2	S690 QL
Lemez vastagságok (mm)	40	60	100
Vágó fúvóka	25-40	40-60	60-100
Propán nyomás (bar)	7	8	9
Melegítő oxigén nyomás (bar)	10	10	10
Vágó oxigén nyomás (bar)	1,5	2,2	2,7
Vágó sebesség (mm/min.)	460	300	210
Fúvóka távolság (mm)	6	12	12
Vágórés (mm)	2,9	3,5	3,9
Propán fogyasztás (m ³ /h)	0,4	0,52	0,62
Melegítő oxigén fogyasztás (m ³ /h)	6,95	11,1	13,5
Vágó oxigén fogyasztás (m ³ /h)	1,6	2,1	2,7
Oxigén fogyasztás (m ³ /h) l/h	8,55	13,3	16,2

Acetilén égésekor a láng hőmérséklete körülbelül 3160 °C, míg propán esetében 2810 °C. Az oxigén és az égőgáz aránya acetilén esetében 16,5:1, propánnál 25,5:1. Acetilén gázt elsősorban vékony lemezek vágásakor alkalmaznak, de nagyobb vastagságok vágására is alkalmas. Tapasztalatok szerint 100 mm lemezvastagság felett propán gáz használata indokoltabb lenne, ezért vizsgálni fogjuk az acetilén és a propán égőgázok használatának különbségét vastag, illetve vékony lemezek esetén. A kutatásunk során vizsgált alapanyagok vastagsági tartománya 40-100 mm közötti.

A vizsgálati alapanyagokat első lépésben szalagfűrészsel kezdtük el darabolni. A vágás során végig alkalmaztunk hűtőfolyadékot, annak érdekében, hogy elkerüljük a felesleges hőbevitelt. Elsőnek egy 20 mm széles darabot vágtunk le, úgy, hogy egy 20x150xlemezvastagság méretű darabot kapjunk. A levágott hasábot tovább daraboltuk, úgy, hogy a hasáb szélétől 65 mm-re egy 20 mm széles hasábot vágtunk le. Amelynek méretei a következők lettek 20x20xlemezvastagság.

A további darabolást Cuto 20 típusú precíziós vágóberendezésen folytattuk, amin 20x20x10 mm-es mintákat kaptunk a végén. A precíziós vágás során is alkalmaztunk hűtőfolyadékot, a korábban említett indok miatt. További megjegyzés, hogy a daraboknak az alapanyagból való kivágását úgy valósítottuk meg, hogy azok egyik oldala a gyártó által létrehozott lángvágott felület legyen. Minden anyagminőségből és lemezvastagságból három különböző helyről vettünk mintákat, amiknek az elhelyezkedését alábbi 14. ábra szemlélteti. A piros színnel jelölt téglalapok a keménység mérés mintái, a kék téglalapok pedig pótminták.



14. ábra Mintavételezési helyek

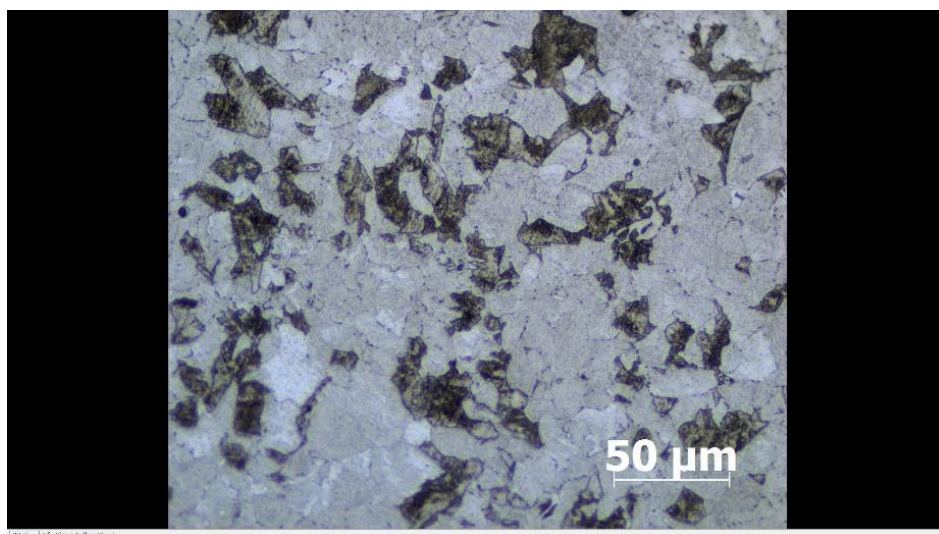
A 20x20x10 mm-es mintákat a Metkon Finopress melegbeágyazó készüléket használva beágyaztuk, és a lángvágott oldalt megjelöltük jelölő filccel a bakelit pogácsán. A beágyazott mintákon csiszolási és polírozási műveleteket hajtottunk végre a Metkon Gripo 1V csiszoló berendezés segítségével.

2%-os nitál maratószerrel maratunk a vizsgálandó felületeket. A maratószer üvegedénybe töltöttük, majd a csiszolatot a maratószerbe mártva 45 másodpercig mozgattuk, ezt követően egyből leöblítettük folyó vízzel, majd metanollal mostuk le a maratott felületet. A szárítást meleg, száraz levegővel végeztük. Szemmel látható volt a maratás sikeressége (15. ábra). A fent leírt teljes folyamatot minden minta esetében ugyan úgy végezzük el.

3.1. Mikroszkópi vizsgálat

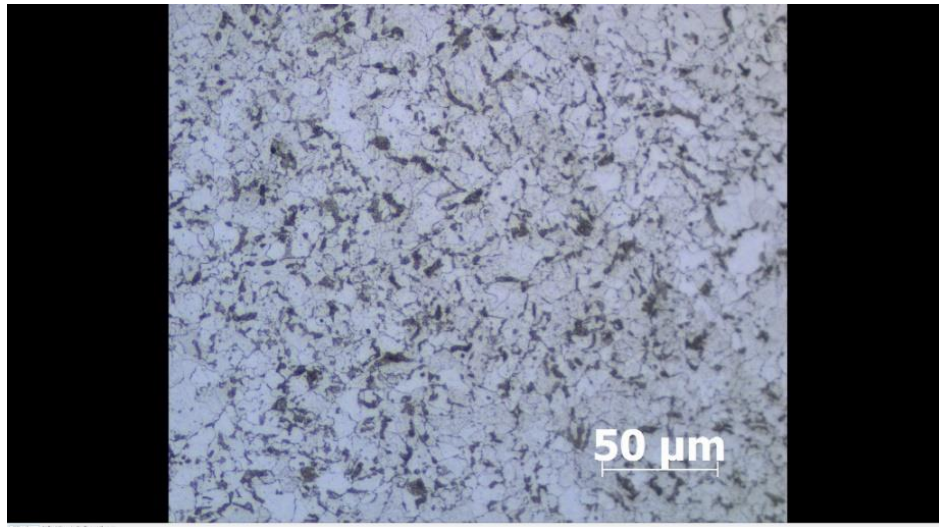
Az előkészített felületeket mikroszkóp alatt is megvizsgáltuk. Az alkalmazott berendezés Axio Imager M2m optikai fénymikroszkóp, 50-szeres és 500-szoros nagyításban.

A 15. ábrán látható a S460NL alapanyag maratott képe. Jól látszódik, hogy ez egy ferrit-perlites szövetszerkezettel rendelkező anyag, a többi alapanyaghoz képest egy nagyobb szemcsemérettel.



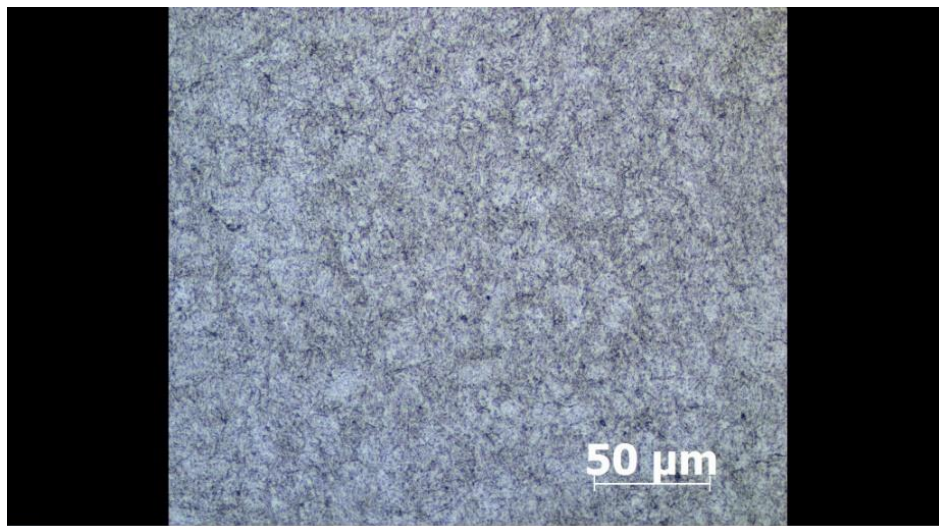
15. ábra S460NL alapanyag mikroszkópi képe 500-szoros nagyításban

A 16. ábrán látható az P460NL2 alapanyag nitállal maratott mikroszkópi képe. Ez is egy ferrit-perlites szövetszerkezettel rendelkező anyag, azonban a szemcsék mérete a S460-hoz képest sokkal kisebb, a perlites szemcsék eloszlása egyenletesebb.



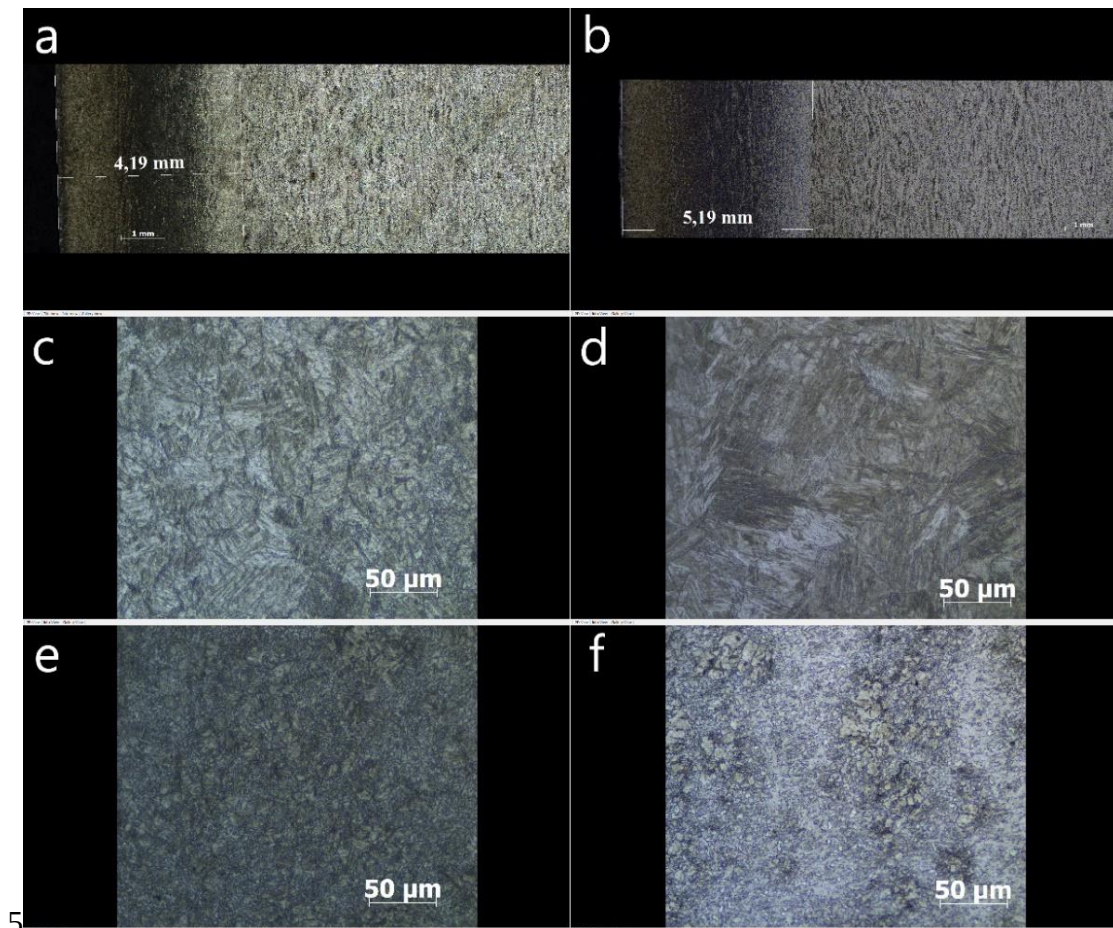
16. ábra P460NL2 alapanyag mikroszkópi képe 500-szoros nagyításban

A 17. ábrán látható az S690QL alapanyag nitállal maratott mikroszkópi képe. Jól látható, hogy a 3 alapanyag közül ez rendelkezik a legfinomabb szemcseszerkezettel. Ezt a már említett gyártási technológiával és mikroötvözők segítségével érik el.



17. ábra S690QL alapanyag mikroszkópi képe 500-szoros nagyításban

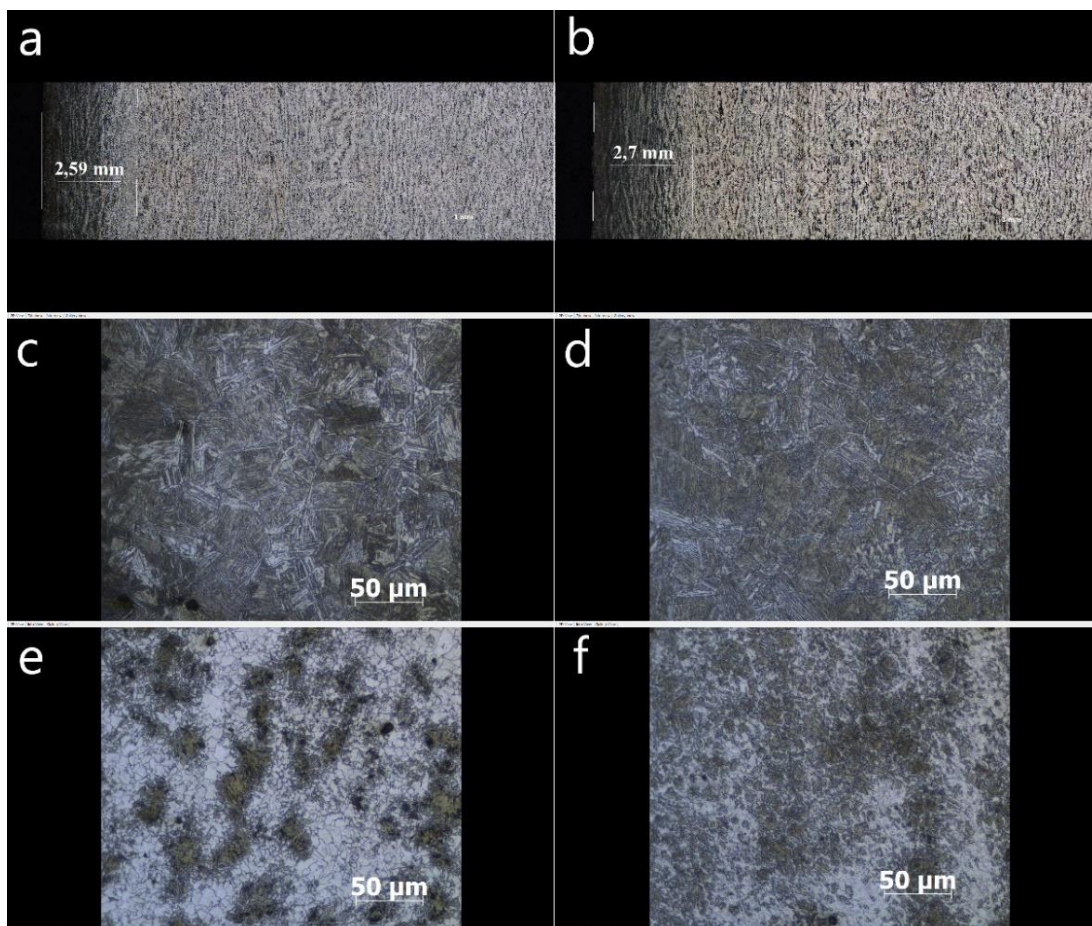
A lángvágásnak a hőhatás övezete az alábbi mikroszkópi képeken látható (18., 19., 20., 21., 22., 23. ábra). Minden egyes képösszeállítás úgy lett elkészítve, hogy a különböző gázokkal készült vágások hőhatásövezetei összehasonlíthatóak legyenek. Minden további ábrán az *a*, *c*, *e* jelölésű képek acetilénnel, a *b*, *d*, *f* jelű képek propánnal vágott mintákból származnak. Továbbá az *a* és *b* képek esetében a teljes minta látható, *c* és *d* képeken a szemcsedurvult övezetek láthatóak, *e* és *f* képeken pedig a finomabb szemcseszerkezettel rendelkező hőhatásövezeti részek.



18. ábra S460NL alapanyag hőhatásövezetének mikroszkópi felvételei a vágás felső határrétegében, acetilén (a, c, e), propán (b, d, f)

A vágott felületet felső zónájában a vágás hőhatásövezetéről készült felvételen, jól látható, hogy a hőhatásövezet allotróp átalakulást szenvedő réteg vastagsága között nagyobb mértékű a különbség. Az acetilén esetében ez kb. 4,2 mm míg a propán esetében 5,2 mm.

Ha megnézzük a vágási felülethez közeli, durvaszemcsés réteget, az acetilén esetében egy sokkal finomabb tűs szerkezetet kapunk, míg a propán esetében nagy martenzites tűk találhatók meg. Ez várhatóan a kifáradással szembeni ellenállást vagy éppen az ütőmunkát kedvezőtlenül befolyásolja. A finom szemcsés rétegben ugyan ezen a változások figyelhetők meg, mint amelyek a durvaszemcsés rétegben voltak tapasztalhatóak.

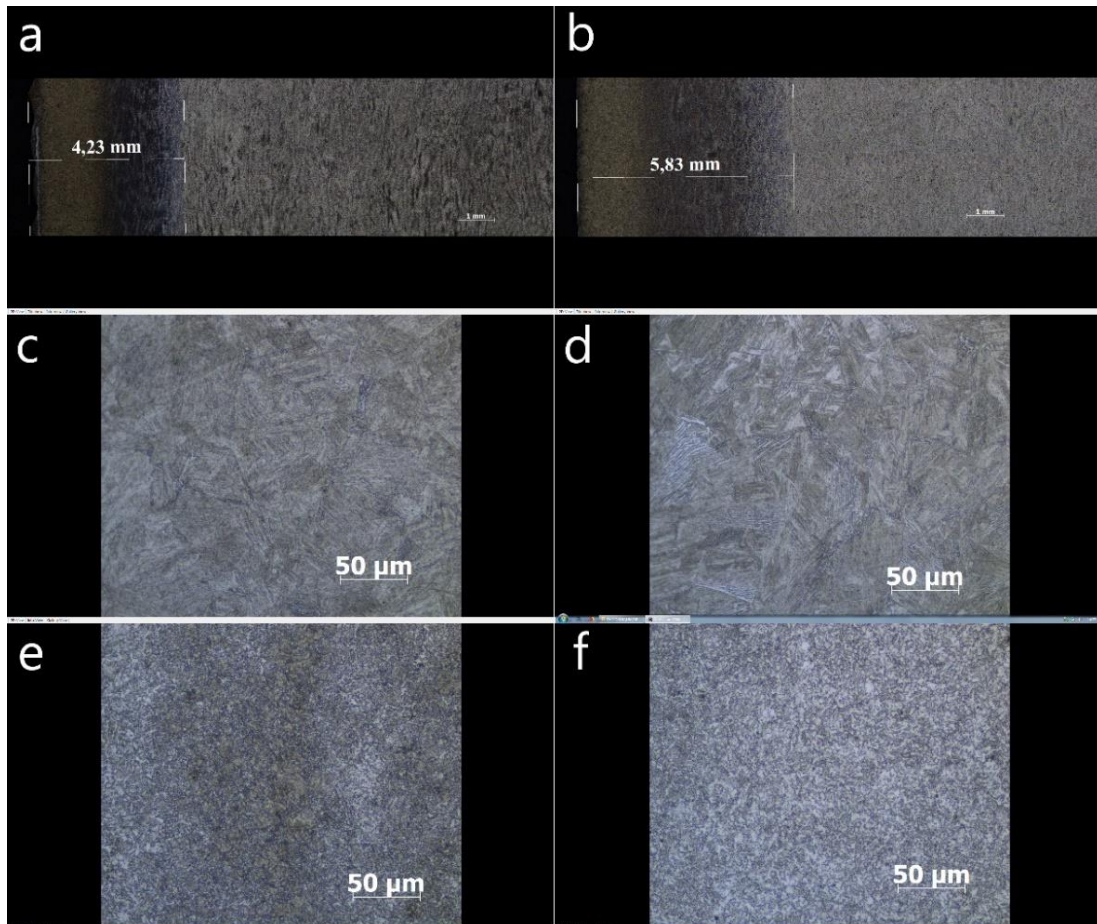


19. ábra S460NL alapanyag hőhatásövetének mikroszkópi felvételei a vágás alsó határrétegében, acetilén (a, c, e), propán (b, d, f)

A vágás alsó hőhatásövetéről készült felvételen, jól látható, mintegy 2,6-2,7 mm mélységben történt a szövetszerkezetben változás. Ez mind az acetilén és mind a propános vágásra igaz, így azt lehet mondani, hogy a két gáz között nincs markáns különbség, a szövetszerkezeti változás mélységét érintően. Azonban, ha a hőhatásövet egyes részeit nagyobb nagyításban megnézzük, tapasztalunk némi különbséget.

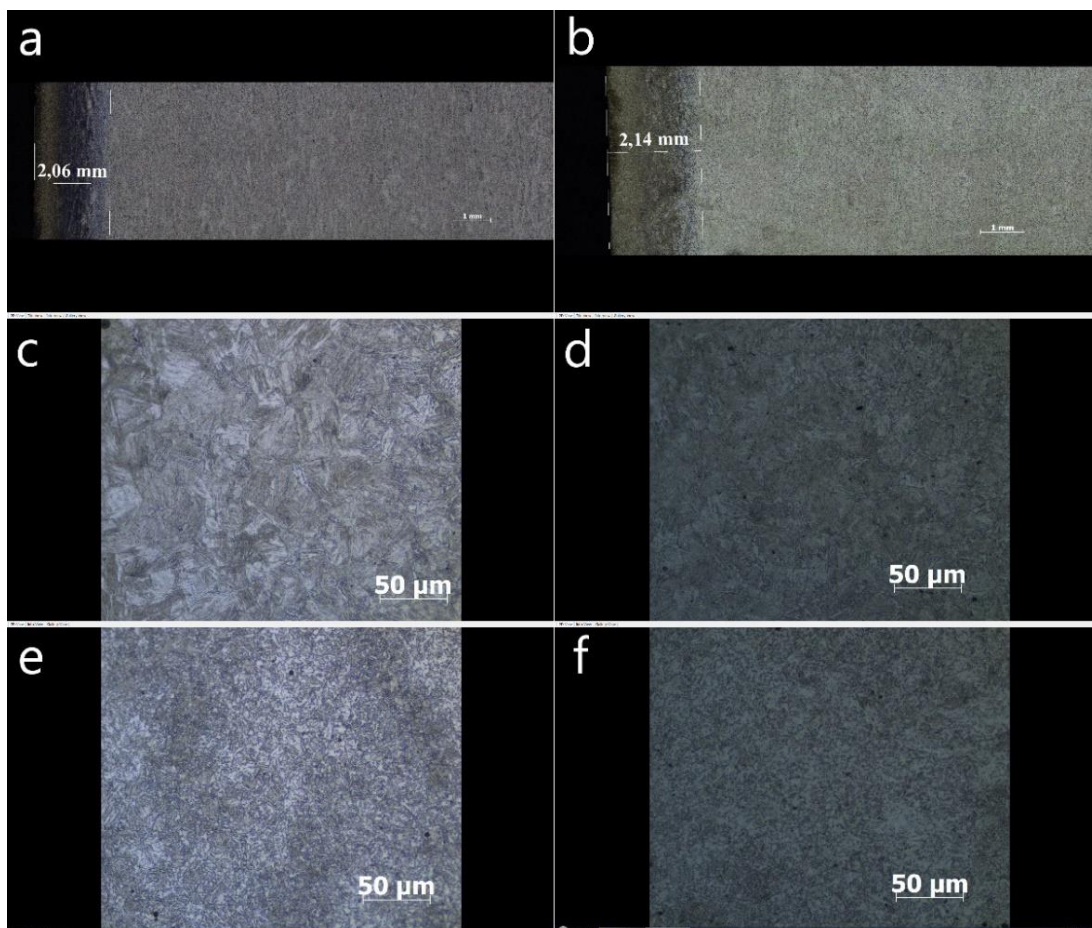
A 19. c, d ábra a vágott felülethez legközelebb eső rétegben készültek. Ez a zóna bőven 1100°C fölé hevült, ugyanis látszik a szemcsék eldurvulása. A szövetszerkezetben azonban további különbségek is észrevehetőek. Az acetilénos vágás (c) esetében megjelenő martenzit tűk sokkal vastagabbak és helyenként dúsulások figyelhetők meg, ezzel szemben az propános (d) vágás esetében ez egy sokkal egyenletesebb martenzit tű eloszlás jellemző.

A hőhatásövet 1100 °C és A3 közötti részében egy sokkal finomabb szemcseszerkezett jött létre. Azonban itt is megfigyelhetők az acetilén (e) esetében a dúsulások, szemben a propánnal (f) végzett vágás esetében ahol egyenletesebb az eloszlás.



20. ábra P460NL2 alapanyag hőhatásövezetének mikroszkópi felvételei a vágás felső határrétegében, acetilén (a, c, e), propán (b, d, f)

Az S460NL anyagnál tapasztalt változások a P460NL2 anyag esetében is hasonlóak. Amíg a felső zóna allotróp átalakulást szenvedett része között markáns különbség van, addig az alsó zóna vastagsága közel megegyező. Jól nyomon követhető a lemezvastagság változása ugyanis ez az allotróp átalakulást szenvedett réteget növeli a vágás megindításához szükséges hőtöbblet miatt.

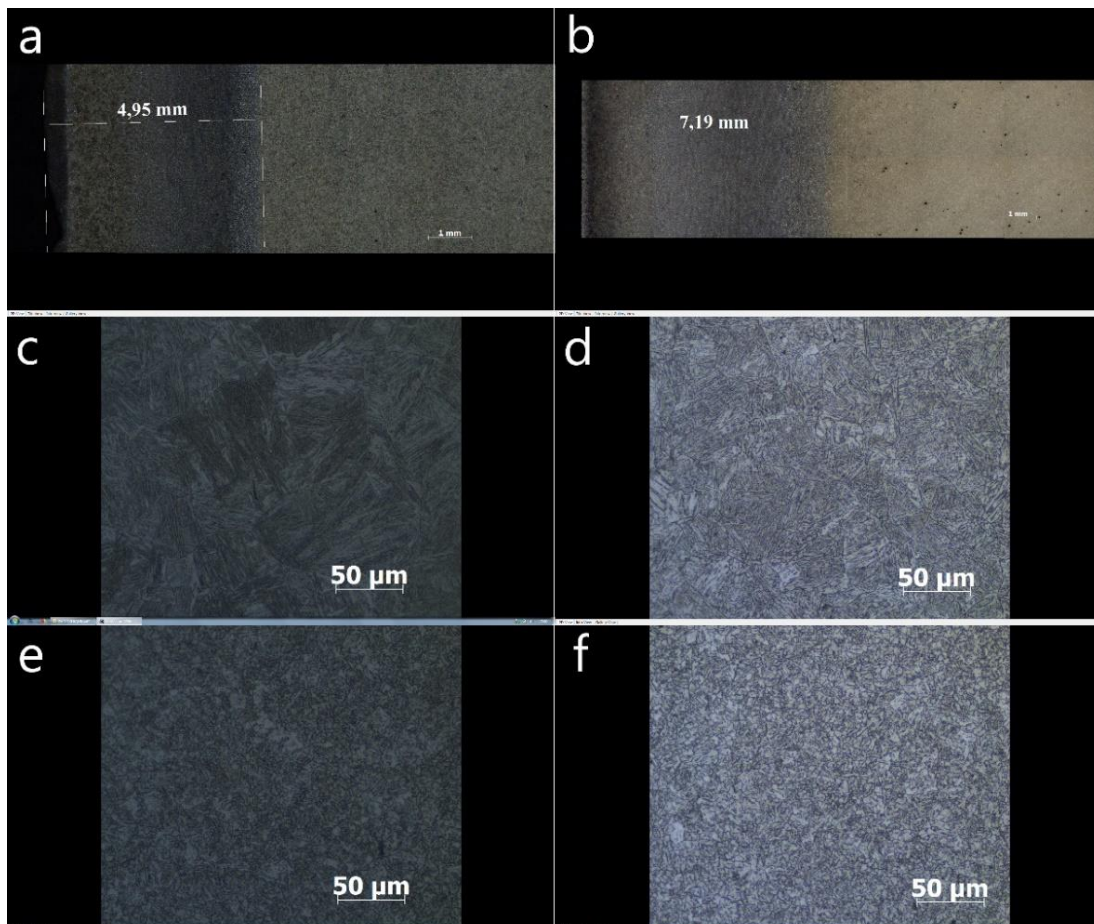


21. ábra P460NL2 alapanyag hőhatásövezetének mikroszkópi felvételei a vágás alsó határrétegében, acetilén (a, c, e), propán (b, d, f)

A 21. a, b ábrán a vágás alsó hőhatásövezetéről készült felvételen, jól látható, mintegy 2,1 mm mélységben történt a szövetszerkezetben változás. Ez mind az acetilén és mind a propános vágásra igaz, így azt lehet mondani, hogy a két gáz között nincs markáns különbség, a szövetszerkezeti változás mélységét érintően. Azonban, ha a hőhatásövezet egyes részeit nagyobb nagyításban megnézzünk, tapasztalunk némi különbséget.

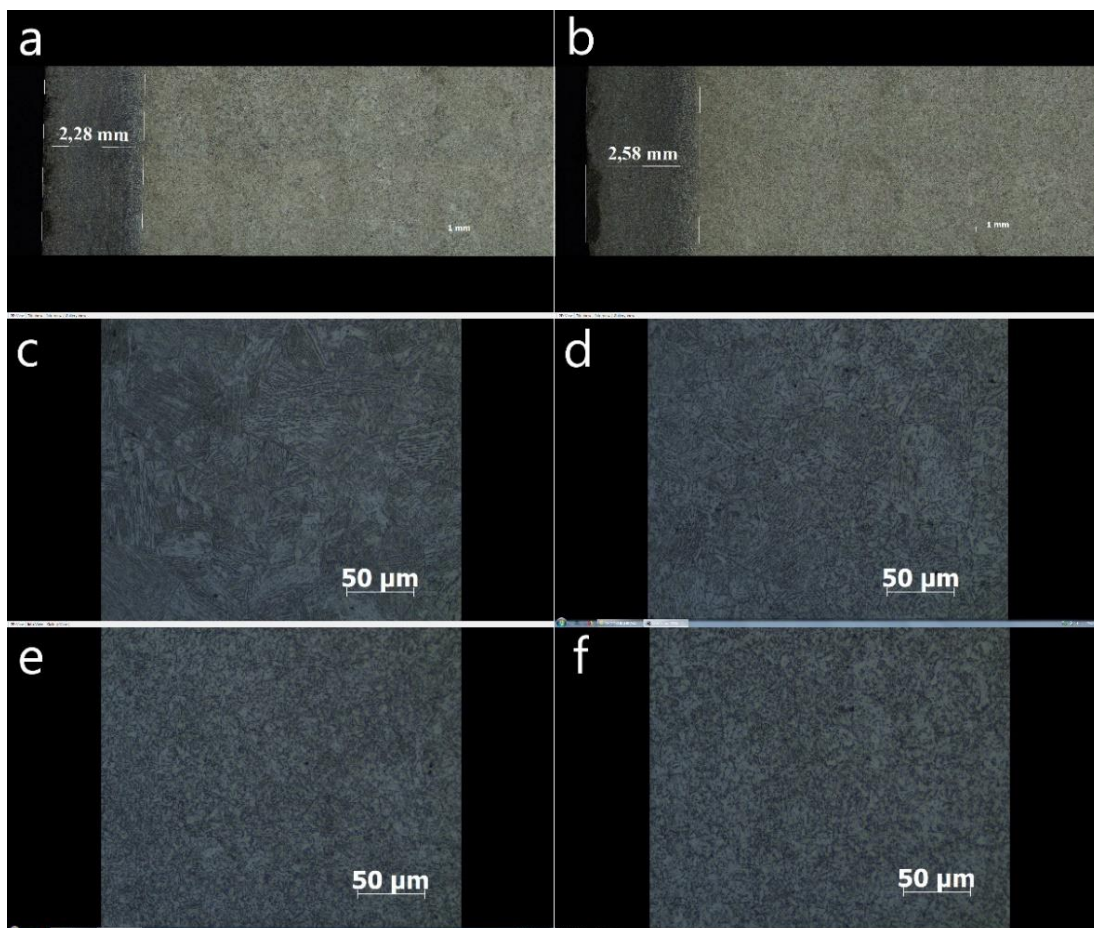
A 21. c, d ábra a vágott felülethez legközelebb eső rétegben készültek. Ez a zóna 1100°C fölé hevült, ugyanis látszik a szemcséknek az eldurvulása. A szövetszerkezetben azonban további különbségek is észrevehetőek. Az acetilén vágás (c) esetében megjelenő martenzit tűk sokkal vastagabbak és helyenként dúsulások figyelhetők meg, ezzel szemben az propános (d) vágás esetében ez egy sokkal egyenletesebb martenzit tű eloszlás jellemző.

A hőhatásövezet 1100 °C és A3 közötti részében egy sokkal finomabb szemcseszerkezett jött létre. Azonban itt is megfigyelhetők az acetilén (e) esetében a dúsulások, szemben a propánnal (f) végzett vágás esetében ahol egyenletesebb az eloszlás.



22. ábra S690QL alapanyag hőhatásövezetének mikroszkópi felvételei a vágás felső határrétegében, acetilén (a, c, e), propán (b, d, f)

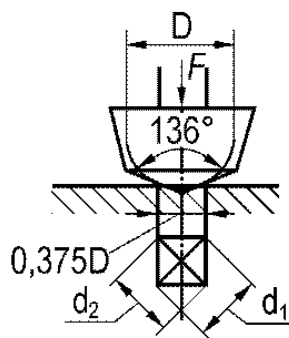
Az S460NL és a P460NL2 anyagnál tapasztalt változások a S690QL anyag esetében is hasonlóak. Ennél az anyagnál is megfigyelhető, hogy a felső zóna allotróp átalakulást szenvedett része között nagy különbség van, viszont az alsó zóna vastagsága közel megegyező (22. és 23. ábra). Jól nyomon követhető a lemezvastagság változása ugyanis ez az allotróp átalakulást szenvedett réteget növeli a vágás megindításához szükséges hőtöbblet miatt.



23. ábra S690QL alapanyag hőhatásövezetének mikroszkópi felvételei a vágás alsó határrétegében, acetilén (a, c, e), propán (b, d, f)

3.2. Vickers keménységmérés

Annak érdekében, hogy a hőhatás övezetben látott változásokat számszerűsíteni tudjuk sorkeménység mérést végeztem a darabokon. Én a vickers keménység mérési eljárást választottam, mivel ez szolgáltat a legpontosabb keménységi adatokat.



24. ábra Vickers keménység mérés vázlata [15]

Mérés elve: A Vickers keménységmérés során 136° csúcsszögű négyzet alapú, egyenes gyémántgúlát F terheléssel meghatározott ideig a vizsgálandó anyagba nyomunk és a terhelés megszűnte után, az értékelés optikai úton történik. A lenyomat mindkét átlóját megméri, majd a két átló átlagából számítják ki a lenyomat felületének nagyságát.

A szűrő szerszám minden esetben egy 136° -os nyílásszögű gyémántgúla. A nyomóerő a makrotartományban 49N- 980N-ig tejed. Mikrotartományban 1,96N- 49N-ig. Az adott szűrőszerszámhoz tartozó terhelő erőt az alábbi 6. táblázat foglalja össze.

6. táblázat Vickers keménységmérési eljárás és nyomóerők

Makrotartomány		Mikrotartomány	
Eljárás	Nyomóerő	Eljárás	Nyomóerő
	N		N
HV5	49,03	HV0,2	1,961
HV10	98,07	HV0,3	2,942
HV20	196,1	HV0,5	4,903
HV30	294,2	HV1	9,801
HV50	490,3	HV2	19,61
HV100	980,7	HV3	29,42

A terhelés időtartama 10-15 másodperc között, vagy 30 másodpercig is eltarthat, de az időtartamot megállapodás szint is meg lehet választani.

A Vickers-keménység (HV) kiszámítása a következő képlet alapján történik:

$$HV = \frac{0,102}{A} = 0,1891 * \frac{F}{d^2} \quad (2)$$

$$A = \frac{d^2}{1,854} \quad (3)$$

A = a lenyomat felülete, mm²

F = nyomóerő, N

A Vickers-keménységmérést kemény és lágy anyagokhoz egyaránt alkalmazhatjuk. Továbbá a MikroVickers-keménységmérést fóliákhoz. A méréssel szövetszerkezet keménység eloszlását tudjuk megmérni.

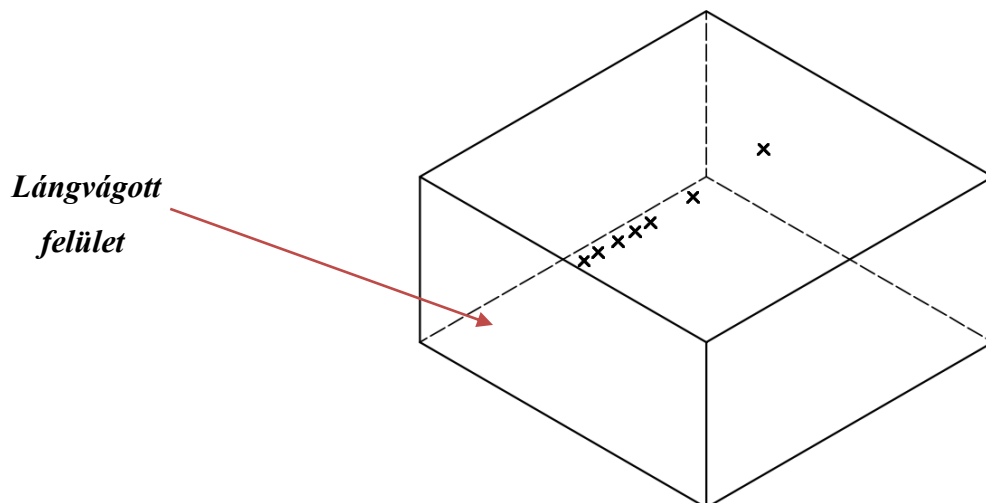
A Vickers-keménységmérés legfőbb előnyei:

- Kis lenyomatra köszönhetően gyakorlatilag sérülés mentes felület marad a mérés után
- Vékony anyagok, kisméretű próbatestek, vékony falú csövek keménységmérésére is alkalmas
- A mérést követően egy igen pontos eredményt kapunk

Hátrányai közül meg kell említeni, hogy a mérés lassú, a mérendő anyag előkészítése időigényes folyamat.

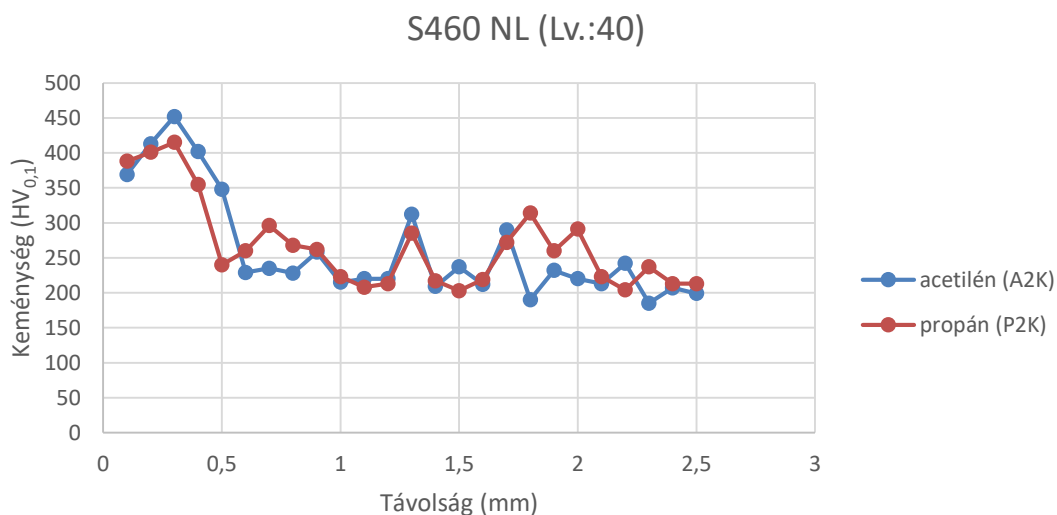
A Micro Vickers keménység méréshez a Wilson Wolpert 401MWD keménységmérő gépet és MSZ EN ISO 6507-1:2006 mérési szabványt használtuk. Két szomszédos lenyomat legalább 2,5d távolságra kell, hogy elhelyezkedjen egymástól, így mi a 0,1 mm távolságot választottuk, amely megfelel a kritériumnak. Az első mérést a minta szélétől 0,1 mm távolságra helyeztük el, és a szélétől számítva 2,5 mm-ig készítettünk méréseket. Ilyen távolságnál a lángvágott szélétől már nem tapasztaltunk változást az anyag keménységében.

Ellenőrzésként még további 3 mérést készítettünk a minta szélétől 5, 10, 15 mm-re. A lenyomatok elhelyezkedését elvi ábrán szemléltettük (25. ábra). A terhelési idő 12 másodperc volt. Kutatásunk célja, hogy a lángvágás során létrejött hőhatás övezetben milyen mikroszerkezeti és mechanikai tulajdonság változások jöttek létre, ezért a méréseinket a lángvágott felülethez igazítva hajtottuk végre.



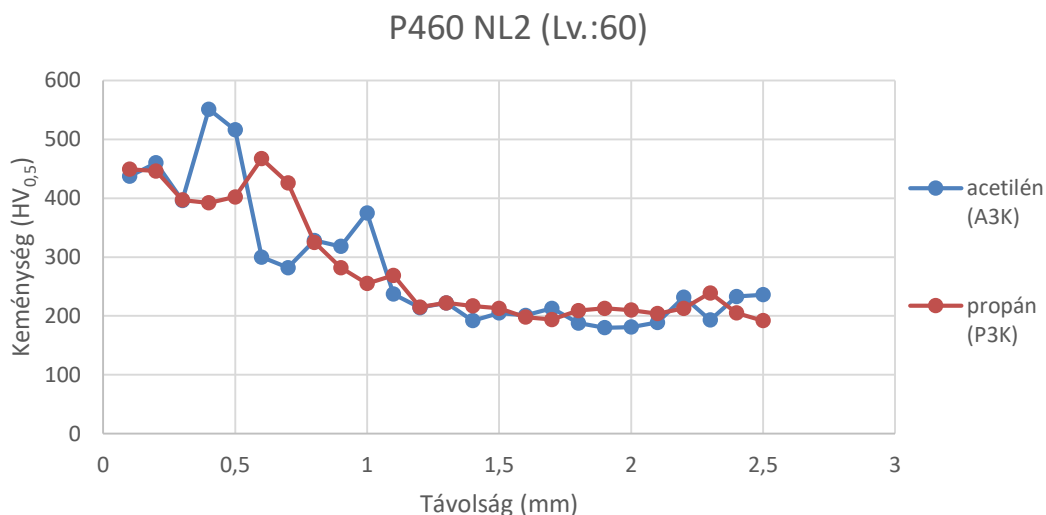
25. ábra Micro Vickers keménységmérés lenyomatok elvi elhelyezkedése

A 26., 27., 28. ábra szemlélteti a keménységmérési vizsgálat eredményeit, amely alapján látható, hogy a hőhatás övezet 0,5-1,2mm-ig terjed a lángvágott oldaltól számítva. Körülbelül 0,5 mm-ig növekszik a keménység, 1 mm-re távolodva elkezd, csökkenni a keménység a lángvágott oldaltól számítva. A keménység 1,5 mm-re állandó értéket ér el, ami már az alapanyag keménysége.



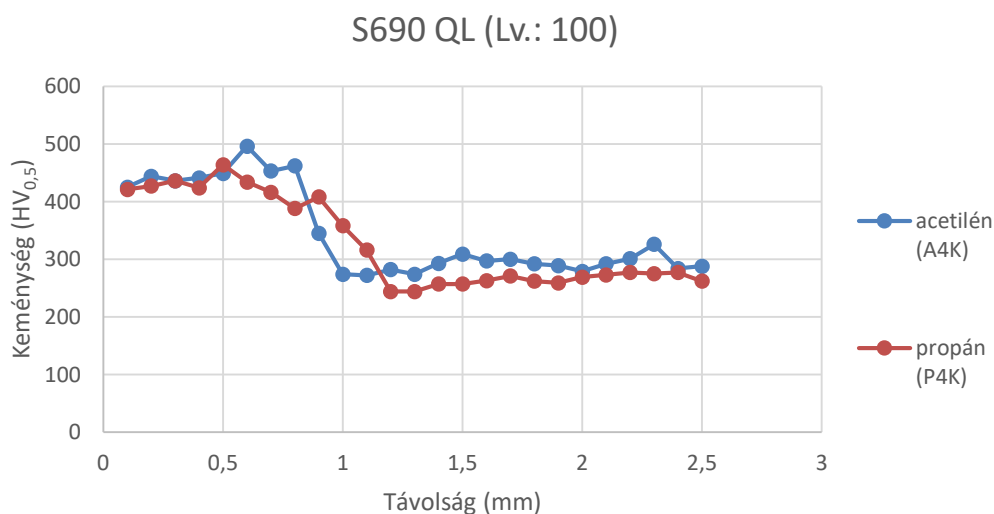
26. ábra Micro Vickers keménységmérés eredménye (Lv.: 40 mm)

A 26. ábrán látható eredmények alapján látszódik, hogy 40 mm-es lemezvastagság esetén nem tapasztalható jelentős különbség az acetilénnel és a propánnal történő vágás között. A legnagyobb keménység értéket acetilén esetében mértem, ami 452 HV volt.



27. ábra Micro Vickers keménységmérés eredménye (Lv.: 60 mm)

A 27. ábrán látható a 60 –as lemezvastagságon mért keménység eredményei. A 40 mm-es lemezvastagsághoz képest látható, hogy a beedződött réteg megnőtt 0,5 mm-ről kb. 1mm-re. Itt az acetilénes vágás esetében mértem egy nagyobb kiugró értéket 551HV.



28. ábra Micro Vickers keménységmérés eredménye (Lv.: 100 mm)

A propánnal történő vágás esetén nagyobb a felkeményedett réteg, mint az acetilén esetében. 100-as lemezvastagság esetében a beedződött réteg kb. 1,2 mm-ig tart. Ennél mélyebbre menve az alapanyag keménységét mérhetjük, ami 281HV.

A mérési eredményekből látható, hogy 60, és 100 mm-es lemezvastagság esetében a beedződött réteg 1-1,2 mm, míg 40 mm-es lemezvastagságnál ez az érték, csak 0,5 mm. Ebből látható, ahogy nő a lemezvastagság úgy nő a beedződött réteg vastagsága is. Az alapanyagok későbbi felhasználásához szükséges, hogy ezt a beedződött réteget eltávolítsuk.

4. Összefoglalás

A dolgozatom elkészítésének kezdetekor különböző magyar és idegen nyelvű cikkeket, szakirodalmakat kerestem, majd olvastam el, amik egy megfelelő alapot biztosítottak a dolgozat megírásához. A szakirodalmakban különböző kísérleteket ismertem, meg amik a lángvágással és a lángvágás hatásának a vizsgálatával foglalkoztak. A dolgozatomban az acetilén és propán égőgáz alkalmazását lángvágásnál vizsgáltam különböző anyagminőségeken és különböző lemezvastagságokon. A vizsgált anyagminőségek S460NL, P460NL2, S690QL nagyszilárdságú acélok voltak.

Táblalemezekből lettek kivágva 150x150xlemezvastagság méretű darabok. A vizsgált lemezvastagságok 40-től 100 mm-ig terjedtek. Az előbb említett méretű tömbökből lettek kimunkálva a későbbiekben felhasznált minták. A minták előkészítése darabolással kezdődött, amihez szalagfűrész használtam, a folyamat során végig hűtőfolyadékot alkalmaztam, hogy elkerüljem a hőbevitelt az anyagba. Ezt követően a pontosabb méretek elérése érdekében precíziós vágóval daraboltam tovább. A megfelelő méretű minták 20x20x10 mm nagyságúak voltak. 10 mm vastagságra volt szükség ahhoz, hogy későbbiekben a keménység mérés megvalósítható legyen. A 20 mm szélesség pedig elegendő ahhoz, hogy a beedződés mértékét megállapítsuk.

A minták felületét előkészítettem csiszolással és polírozással, ami elengedhetetlen volt, mivel a Mikro Vickers keménységméréshez megfelelően kellett legyen a felületet, hogy pontos keménység értékeket kapjak. A minták másik részét pedig 2%-os nitállal maratva szövetszerkezeti képeket készítettem különböző nagyításban.

A keménységi adatokból látszódik, hogy a lemezvastagság növekedésével nő a beedződött réteg is. Ennek a rétegnek fontos az eltávolítása mivel ezen a szakaszon megváltoztak az alapanyag mechanikai tulajdonságai. Látható továbbá a mikroszkópi képeken, hogy az lemez felső rétegéből vett mintákon nagyobb a hőhatásövezet, mint az alsó rétegből származó mintáknak. Az acetilénnel és a propánnal vágott lemezek keménységének értékei közti különbségek nem jelentősek. Viszont a szövetszerkezetben láthatóak különbségek acetilén és propán alkalmazása között.

Későbbiekben tervezek ütve-hajlító vizsgálatok elvégzését.

Ábrajegyzék

1. ábra Termikus anyagszétválasztó eljárásokkal gazdaságosan vágható anyagminőségek és vastagságok. [8]	2
2. ábra A vágott felület geometriájának fogalommeghatározásai (az Msz 4317/szerint)[8]. 3	
3. ábra Az olvadáspont és a gyulladási hőfok változása az acél C tartalmának függvényében [1]	5
4. ábra Egy- és kétrészes fűvókák [8]	8
a) egyrészes (blokk-); b) szita-; c) hornyos; d) réselt; e) gyűrűs fűvóka	9
5. ábra A lángvágás hatása a vágási felületre [1]	9
6. ábra Kézi lángvágó berendezés [5]	10
7. ábra Lángvágáshoz használt vágópisztoly vázlata, a vágófej fűvókája tetszőleges szögben állítható a munkadarabhoz képest a.) Vágókocsival felszerelt vágófej, a lángvágó a munkadarabhoz viszonyítva merőlegesen áll, b.) Vágókocsival felszerelt vágófej, a lángvágó a munkadarabhoz viszonyítva szögben áll [5]	11
8. ábra A szerkezeti acélok fejlődési trendje az elmúlt 100 évben [9]	14
9. ábra Finomszemcsés szerkezeti acélok gyártástechnológiai (AR: hagyományos hengerlés, N: normalizálás, Q: edzés, T: megeresztés, TM: termomechanikus kezelés, ACC: gyors levegő hűtés, DQ: direkt edzés, QST: nemesített, edzésről azonnal megeresztett, CP: szabályozott folyamat) [14]	16
10. ábra Különböző módon gyártott acélok folyáshatára és átmeneti hőmérséklete közötti kapcsolat [12]	18
11. ábra A nemesített nagyszilárdságú acélok gyártási folyamata (Q: edzés, HTT: nagy hőmérsékletű megeresztés) [12]	19
12. ábra Az acélok szilárdságának hatása a ridegségi hajlamra [9]	20
13. ábra A nikkelötvöztetés mechanikai tulajdonságokra gyakorolt hatása [9]	22
14. ábra Mintavételezési helyek	26
15. ábra S460NL alapanyag mikroszkópi képe 500-szoros nagyításban	27
16. ábra P460NL2 alapanyag mikroszkópi képe 500-szoros nagyításban	28
17. ábra S690QL alapanyag mikroszkópi képe 500-szoros nagyításban	28
18. ábra S460NL alapanyag hőhatásövezetének mikroszkópi felvételei a vágás felső határrétegében, acetilén (a, c, e), propán (b, d, f)	29
19. ábra S460NL alapanyag hőhatásövezetének mikroszkópi felvételei a vágás alsó határrétegében, acetilén (a, c, e), propán (b, d, f)	30
20. ábra P460NL2 alapanyag hőhatásövezetének mikroszkópi felvételei a vágás felső határrétegében, acetilén (a, c, e), propán (b, d, f)	31
21. ábra P460NL2 alapanyag hőhatásövezetének mikroszkópi felvételei a vágás alsó határrétegében, acetilén (a, c, e), propán (b, d, f)	32
22. ábra S690QL alapanyag hőhatásövezetének mikroszkópi felvételei a vágás felső határrétegében, acetilén (a, c, e), propán (b, d, f)	33
23. ábra S690QL alapanyag hőhatásövezetének mikroszkópi felvételei a vágás alsó határrétegében, acetilén (a, c, e), propán (b, d, f)	34
24. ábra Vickers keménység mérés vázlata [15]	35
Lángvágott felület	37
25. ábra Micro Vickers keménységmérés lenyomatok elvi elhelyezkedése	37
26. ábra Micro Vickers keménységmérés eredménye (Lv.: 40 mm)	37
27. ábra Micro Vickers keménységmérés eredménye (Lv.: 60 mm)	38
28. ábra Micro Vickers keménységmérés eredménye (Lv.: 100 mm)	38

Irodalomjegyzék

- [1] Becker István, Márton Tibor (szerk.): Hegesztés, Műszaki könyvkiadó, Budapest 1971
- [2] Lehoczky Csaba, Bertz Gy. (szerk.), Fodor J. (szerk.), Izsák S. (szerk.), Molnár J. (szerk.), Szentkúti K. (szerk.): Lángvhegesztés és lángvágás, Műszaki könyvkiadó, Budapest 1982
- [3] Dabi Ágnes: A lángvágás eszközei, anyagai, segédanyagai, technológiája, gyakorlata, munkabiztonsági előírásai, NSZFI Budapest 2008
- [4] Dobránszky János, Varbai Balázs: A hegesztés és a rokon gyártási eljárásai a fémek technológiájában, DyTh Bt., Budapest, 2021.
- [5] Dr. Németh György: Lánghegesztés és lángvágás, Széchenyi Egyetem, Győr, 2008
- [6] Vincze István: Termikus vágás, darabolás- lángvágás, NSZFI, Budapest, 2008.
- [7] ESAB: Mi a lángvágás?, Elektronikus forrás:
https://esab.com/hu/eur_hu/esab-university/articles/what-is-oxy-fuel-cutting/
Megtekintés dátuma: 2022.10.15.
- [8] Dr. Béres Lajos Dr. Czitán Gábor Dr. Gáti József Dr. Gremesberger Géza Dr. Kovács Mihály: Hegesztési zsebkönyv, Cokom Mérnökiroda Kft, Miskolc, 1996
- [9] Gáspár Marcell Gyula: Nemesített nagyszilárdságú szerkezeti acélok hegesztéstechnológiájának fizikai szimulációra alapozott fejlesztése, Miskolci Egyetem Gépészmérnöki és Informatikai Kar, Miskolc, 2016.
- [10] Dr. Kövesdi Balázs: Nagyszilárdságú acélok a hídépítésben, Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Budapest, 2018
- [11] Török Ádám: Korszerű autóiipari nagyszilárdságú acéllemezek vizsgálata, Miskolci Egyetem Gépészmérnöki és Informatikai Kar, Miskolc, 2017
- [12] Gyura László: Lángtechnológiák hatása a nagyszilárdságú acélok tulajdonságaira, Miskolci Egyetem Gépészmérnöki és Informatikai Kar, Miskolc, 2021
- [13] Sulinet: Lángvágás technológiája, Elektronikus forrás:
<https://tudasbazis.sulinet.hu/hu/szakkepzes/gepeszet/gepeszeti-szakismeretek-1/langvagas-technologiaja/a-langvagas-gazai-es-vagastipusok>
Megtekintés dátuma: 2022.10.16.
- [14] Dobosy Ádám: Tervezési határgörbék nagyszilárdságú acélokból készült, ismétlődő igénybevételű szerkezeti elemekhez, Miskolci Egyetem Gépészmérnöki és Informatikai Kar, Miskolc, 2018
- [15] Komócsin, M.: Gépipari Anyagismeret, Ötödik, átdolgozott kiadás, COKOM Kft., Miskolc, 2001.
- [16] MSZ EN 10025-6: MSZ EN 10025-6+A1: Melegen hengerelt termékek szerkezeti acélokból 6. rész: Nagy folyáshatárú szerkezeti acélokból készült, nemesített lapos termékek műszaki szállítási feltételei, 2020.
- [17] Metals Handbook, Volume 1.: Properties and Selection: Iron, Steels, and High Performance alloys, ASM International, 1990.

- [18] Matsuda, F. et al: Review of Mechanical and Metallurgical Investigations of M-A Constituent in Welded Joint in Japan, Transactions of JWRI, Osaka University, Japan, 1995.