



ÓBUDAI EGYETEM
ÓBUDA UNIVERSITY

Óbudai Egyetem

Bánki Donát Gépész és Biztonságtechnikai Mérnöki Kar

Láng és plazmavágás összehasonlítása egy adott termék mentén

OE-BGK
2022.

Hallgató neve:
Hallgató törzskönyvi száma:

Bogyay Bernadett
T007146/F112904/B



ÓBUDAI EGYETEM
ÓBUDA UNIVERSITY

Óbudai Egyetem

Kar neve

HALLGATÓI NYILATKOZAT

Alulírott hallgató kijelentem, hogy a szakdolgozat/diplomamunka saját munkám eredménye, a felhasznált szakirodalmat és eszközöket azonosíthatóan közöltem. Az elkészült szakdolgozatban/diplomamunkában található eredményeket az egyetem és a feladatot kiíró intézmény saját céljára térítés nélkül felhasználhatja, a titkosításra vonatkozó esetleges megkötések mellett.

Budapest, 20.....

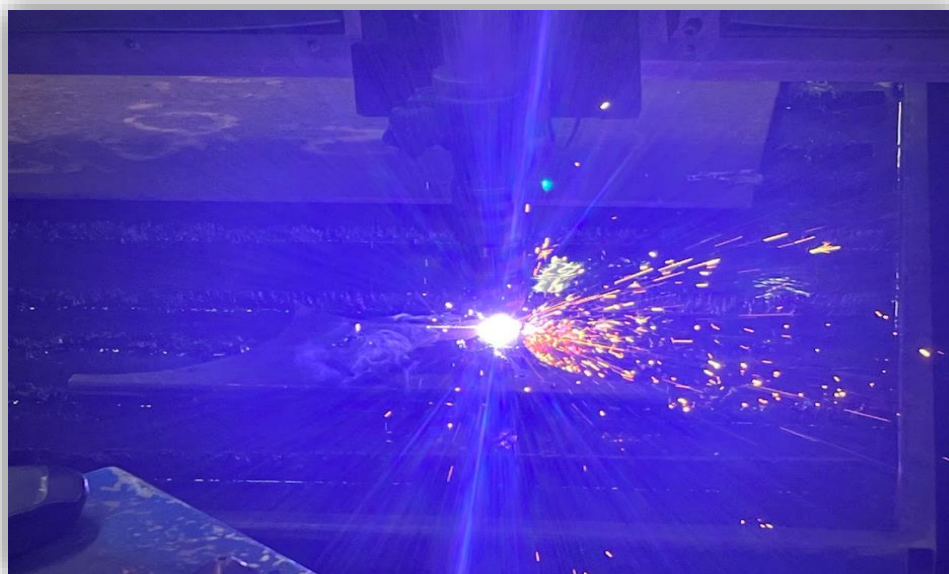
.....

hallgató aláírása

Tartalomjegyzék

1. Bevezetés	3
2. Vágási eljárások csoportosítása	4
2.1. Lángvágás	5
2.2. Plazmavágás	8
2.3. Lézervágás	12
2.4. Vízvágás	15
3. Az alkalmazott vágási technológiák specifikációi	18
3.1. Lángvágási technológia a gyakorlatban	18
3.2. Plazmavágási technológia a gyakorlatban	20
4. Választott munkadarab	22
4.1. Lángvágási dokumentáció	28
4.2. Plazma dokumentáció	31
5. Mérések	33
6. Mérési adatok kiértékelése	36
6.1. Furatképek vizsgálata	42
7. Vágással járó költségek összehasonlítása	43
8. Összegzés	47
9. Ábrajegyzék	50
10. Felhasznált irodalom, források	52

1. Bevezetés



1. Plazmavágógép munka közben

Szakmai gyakorlatomat egy 1998-ban alakult családi vállalkozásnál a Sebestyén Lángvágó Kft.-nél töltöttem, ahol lehetőségem nyílt különböző darabolási technológiát megismernem. A cég fő profilja a melegen hengerelt durvalemezek lángvágása CNC vezérlésű gépekkel, valamint az elmúlt években a vevői igények növekedésének hatására bővítették tevékenységi körüket finomsugaras plazmavágással és vízvágással egyaránt. Kiegészítő szolgáltatásként a darabolt termékeket igény szerint tisztítják, szemcse szórják.

Szakdolgozatom témája az egyes darabolási eljárások összehasonlítása, és az általuk elérhető mérethűség, pontosság valamint a felületi minőség megvizsgálása eltérő vágási sebességek mellett ugyanazon kontúrral rendelkező darabok esetén.

A munkadarabokat plazma és lángvágó gép segítségével a vágási sebességek változtatásával vágattam le, a különbségeket pedig felületi érdesség mérésekkel dokumentáltam.

Hogy megéri-e költségekben a minőség kockáztatásával csökkenteni vagy éppen növelni a vágás sebességét, és milyen felületet eredményez ezeknek a paramétereknek az állítása? Ezekre a kérdésekre kerestem a választ.

2. VÁGÁSI ELJÁRÁSOK CSOPORTOSÍTÁSA

Meghatározás szerint a vágás: „*A szerkezeti anyagok geometriáját vágással, az anyagfolytonosság megszüntetésével változtatják meg.*” [1] Tehát az egymáshoz kapcsolódó anyagrészecskék megszakítása a vágás során, amit meglehet tenni: alakító-, eróziós-, forgácsoló- és termikus vágással. [1] Szakdolgozatomban a mechanikus vágási technológiákra nem térek ki, a téma összetettségéből adódóan csak a termikus és az abrázív vágási eljárásokat ismertetem.

Termikus vágási eljárás azt jelenti, hogy a szilárd anyagot, hőhatás segítségével szétválasztjuk, például ilyen magas hőmérséklettel járó technológia a plazma, a lézer és a lángvágás. [1]

A termikus vágásoknál, a fizikai jelenség szerinti csoportosítás alapján három fő csoportba sorolhatók a folyamatok:[2]

- Éghető vágás, amikor a vágni kívánt anyag teljes vastagságban elég, ilyenkor a salak eltávolítását az oxigénsugár végzi, és nagy sebességgel fújja ki az anyagból;
- Ömlesztő vágás, amikor a vágandó anyag megolvad és a fölösleget, az ömledéket a gázsugár távolítja el;
- Gőzölögtető vágás, amikor a létrejövő vágórés, a vágáskor segít elgőzölnie az anyagot, fémgőz jön létre, amit a gázsugár kifúj.

2.1.Lángvágás

Lángvágáskor az anyagot hőhatás segítségével választjuk szét, ezért ez a vágástípus a termikus vágási eljárások közé sorolható. Elve, hogy a vágandó anyag szétválasztása gyulladási hőmérsékletre hevítéssel és oxigénsugárban való elégetéssel működik. A lángvágás végezhető kézzel, gépi vagy automata vágóberendezéssel. [2]

Első lépésként hevíteni kell az alkatrészt éghetőgáz-oxigén lánggal, egészen a fém gyulladási hőmérsékletére. A gyulladási hőmérséklet az a legkisebb hőmérséklet, ahol az elégés, oxigénnel való egyesülés magától bekövetkezik. Fontos, hogy a láng csak a felületet hevíti, a mélyebben fekvő részeket a fém égéshője, a salak hője, és a hevítőláng melegíti. Ezután a felhevített fém elégetése történik oxigénsugárral. Az égési hőmérséklet a gyulladási hőmérsékletnél nagyobb. Végezetül a keletkezett égéstermékek, az oxidok kifúvatása oxigénsugárral, a már kivágott részen keresztül megy végbe. [2]

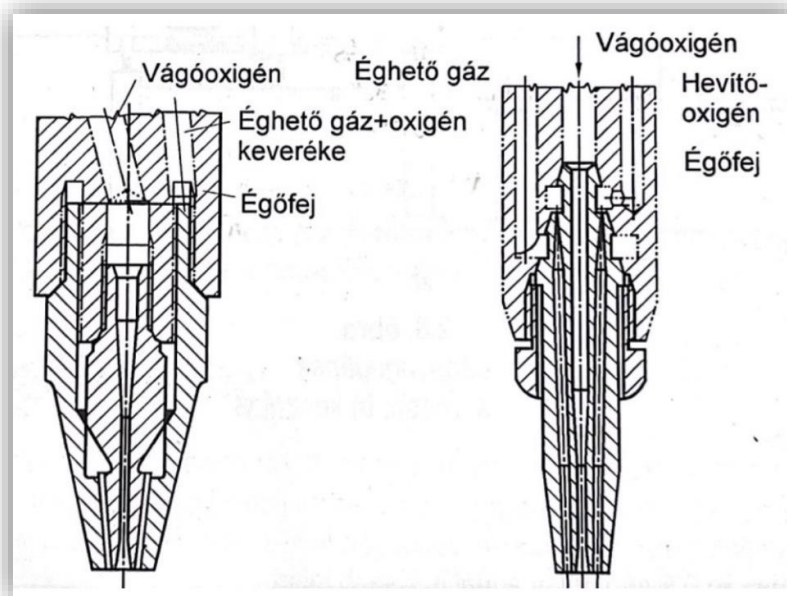
A lángvágás választásához az alábbi feltételeknek kell megfelelnie az elvágandó anyagnak, fémnek [2]:

- Oxigénben éghető legyen;
- Gyulladási hőmérséklet az olvadáspont alatt legyen;
- A fém oxidjának az olvadáspontja kisebb legyen, mint a fém olvadáspontja, égéstermékei pedig könnyen eltávolíthatók legyenek;
- Az anyag reakcióhője, égéshője nagy legyen, ezzel szemben hővezető képessége kicsi;
- 5 mm és 300 mm-es lemezvastagság közötti tartományba eső anyag legyen.

Ezzel a termikus vágással az acélok 0,25%-os széntartalomig vághatók. A magas hőmérsékleten végbemenő vágás során a környezetben bekövetkező edződést ki lehet küszöbölni előmelegítéssel, melynek mértékét a lemezvastagság és a karbonegyeneérték tudatában kell meghatározni. [2]

Dolgozatomban szereplő alkatrészek vágására egy portállángvágó berendezés végezte a vágást. A portállángvágók a helyhez kötött lángvágógépek csoportjába tartoznak. A vezérlőegység ebben az esetben különálló részt képvisel, tehát nem a berendezésen helyezkedik el. A gép portáljai 3-5 m szélesek és nagyon merevek, ezért a vágási pontosság 1 mm is lehet a szabvány szerint (ISO09013-332). A lángvágófej hossz és kereszt irányban vezetése is elősegíti a pontos vágást.

A lángvágáshoz használt vágóégő és a hozzá tartozó fűvóka lehet injektoros és gázkeverős. [2]



2. Vágófűvókák gépi lángvágáshoz [2]

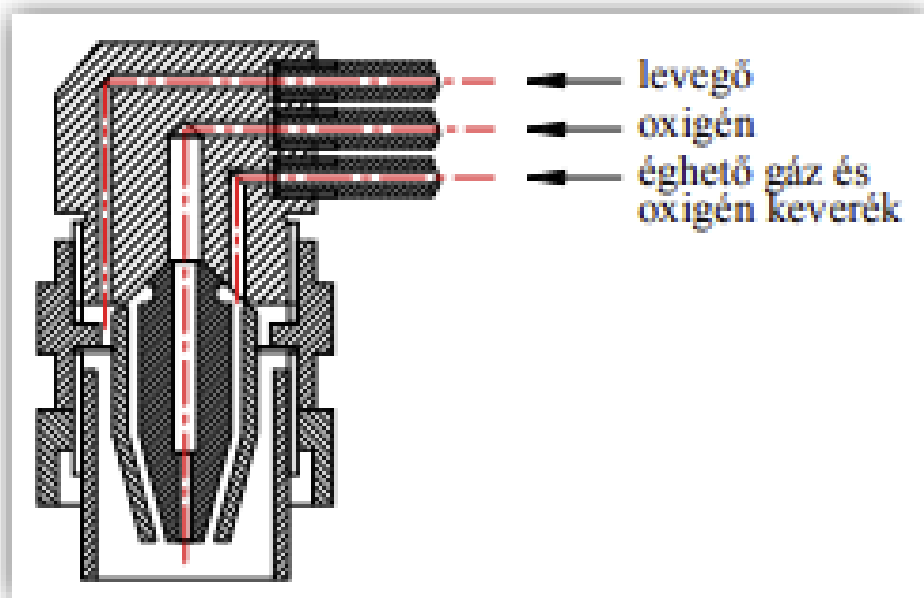
Az injektoros vágóégő testébe épített injektor hozza létre a hevítő láng táplálásához szükséges éghetőgáz-oxigén keverékét, ezáltal a fűvókába már a gázkeverék jut. Mivel az égőben végigvezetett gázkeverék felhevül, fokozottan kell figyelni a láng visszacsapásra és a visszaégés veszélyére. [2]

Ennek az akadálnak a kiküszöbölésére alakult ki a gázkeverő rendszerű fűvóka, melynek lényege, hogy elkülönítve vezetik be az éghető gázt és a hevítő oxigént, ezáltal csak a fűvókán belül kialakított csatornán keverednek össze. [2]

A lángvágáshoz használt gázok két csoportba oszthatók, az éghetőgáz és oxigén keverékéből álló elő melegítő lángra, és az égést tápláló oxigénre. Az előmelegítő

gázkeverékben éghető gázként az esetek túlnyomórészt a földgázt és a propán-bután gázt használnak gépi sorozatgyártáshoz. [2]

Érdekességgéppen megemlíteném, hogy különleges esetben víz alatt is képesek vagyunk a lángvágásra. Gondoljunk például, egy elsüllyedt hajóroncs kiemelésére. Ilyenkor sűrített levegő veszi körbe a lángot. A mélység miatt acetilént csak 15 m mélységig lehet használni, míg hidrogént egészen 60 m ig. [3]



3. Víz alatti vágásra alkalmas vágófej [3]

2.2.Plazmavágás

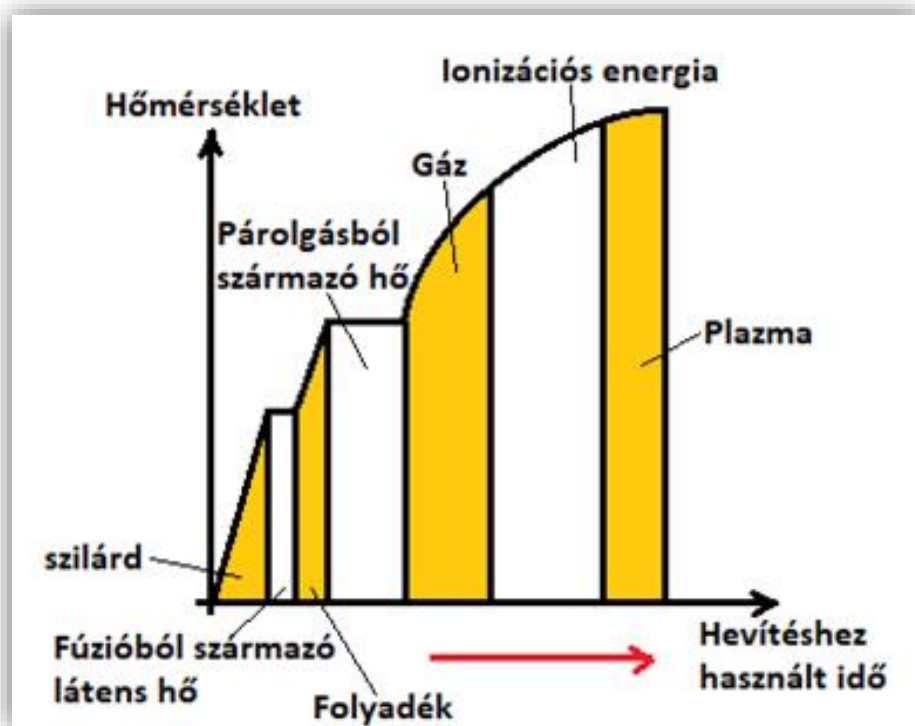
A plazma gáz halmazállapotból keletkezik a gáz atomjainak illetve molekuláinak ionizációja révén. Ezt a halmazállapotot kétféleképpen lehet létrehozni. Első megoldás a gáz hevítése. Ennek során a gáz molekuláinak mozgási energiája megnő, az ütközések hatására a semleges atomok vagy molekulák egy vagy több elektront veszítenek (ütközési ionizáció). A másik, vágástechnológiában is használt megoldás az enyhén ionizált gáz töltött részecskéinek elektromos mezővel történő felgyorsítása. A gáz halmazállapottal ellentétben a plazma vezetőképessége nagyon magas.

Plazmavágási technológiával jellemzően a korrózióálló acélok, az öntöttvasak, a réz, az alumínium és ötvözeteik vághatók, darabolhatók. Ezzel a módszerrel maximálisan 160 mm vastagságú fémlemezeket tudunk feldarabolni. Ha a lángvágással hasonlítjuk össze, akkor:

- lángvágásnál a vágórés anyagának elégetésével felszabaduló exoterm hőt hasznosítjuk
- plazmavágás során nem megy végbe hőtermelő folyamat, mert a vágandó anyag nem ég el. A vágórésben a plazma a fémeket megolvasztja és a gázok kinematikai energiája a megolvasztott fémeket a vágási résből eltávolítja [2].

A plazmavágó egy áramátalakító, ami nagy feszültséggel rendelkezik, a gázok atomjait gerjeszti, és állítja elő a plazma halmazállapotot. Ehhez az energiát a villamos ív és a plazmasugár szolgáltatja. A rendszer által előállított plazmaív körülbelül 10-30 000 [K] hőmérsékletű, technológiától függően. (Összehasonlításképpen, a Napnak a felszíne körülbelül 10 000 [K]) [4]

A Plazma kialakulásának folyamatát az alábbi diagrammon láthatjuk.



4. Plazma kialakulása [4]

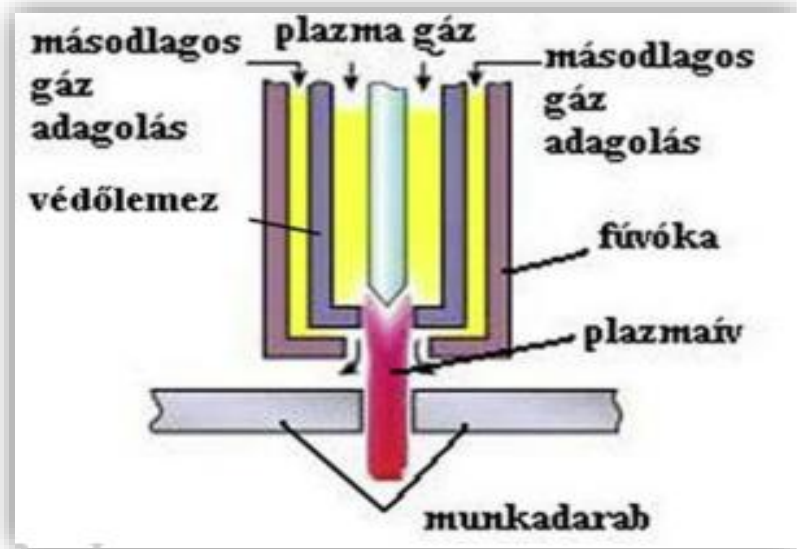
A kisebb furatok készítése nem jellemző a plazmavágó géppel, a vágás során ezek nem lesznek szabályosak, ezért a lemezvastagságnál kisebb furatok nem helyezhetők a darabba. Amennyiben csökken a fúvóka átmérője, úgy arányosan nő a vágó sebesség és csökken a generálási feszültség. [5]

Két fő változata ismert a plazmavágásnak: a plazmaíves és a plazmasugaras vágás. Leggyakrabban a plazmaíves vágást alkalmazzák.

Sok változata van a gázkeverék arányának kiválasztására, ami főleg attól függ, hogy milyen anyagminőségű lemezt darabol a vágógép. Alkalmazhat például levegőt, oxigént, nitrogént, és argont vágási gázként. Leggyakrabban használt gáz az oxigén, mivel gyors vágási sebesség jellemezi. Termelékenység szempontjából előnyös, mert olcsó, ráadásul az oxigén használatával történő vágásnak legjobb a darabolási minősége a szénacélok körében. [5] A plazmavágásnál a védőgázok alkalmazását is meg kell említeni, amely tisztább, szebb felület eredményez, emellett védi a darabot a környezeti levegőtől. A vágáshoz használt védőgázokat a gázkonzol szabályozza. Hagyományosan a kézi plazmavágónál nincs védőgáz, ilyenkor csak levegő, vagy nitrogén használata jellemző.

Abban az esetben, amikor kétféle gáz alkalmazására kerül sor, kétgázos plazmavágásról beszélünk, az adagolást az elsődleges és a másodlagos gázadagoló végzi, a védőlemez pedig elhatárolja a gázokat, a plazmaívet és a fűvókát. [5]

Kétgázos plazmaív felépítését az alábbi ábra szemlélteti:



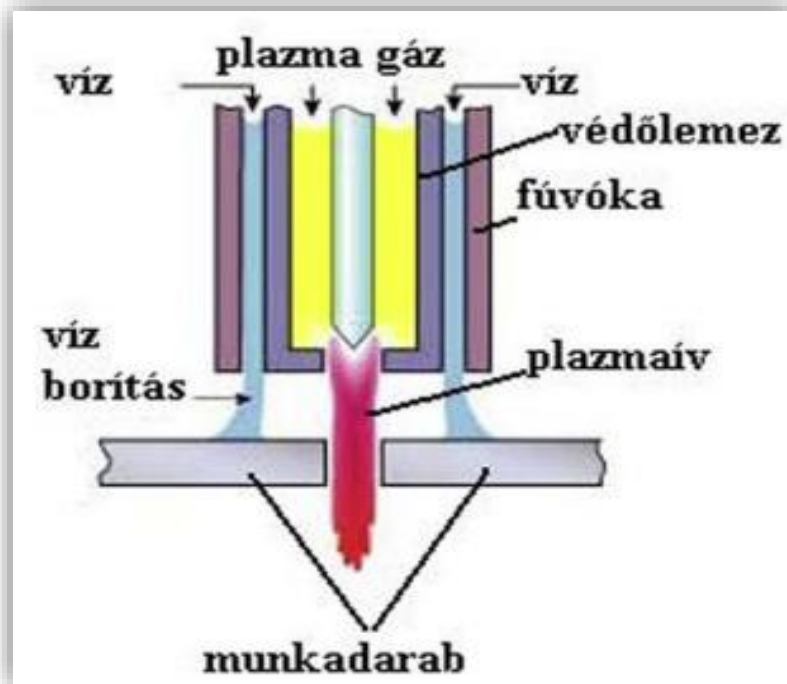
5. Kettős adagolású, vagy két gázos plazmaív [5]

Bármilyen gázok alkalmazásáról is van szó, ezeknek az elhatárolt íve miatt pontosabb vágást kapunk eredményül.

Az elsődleges és másodlagos gázok akár vegyíthetők is. Legelterjedtebb és legegyszerűbb mégis a levegő-levegő keveréke, ilyenkor a plazmagáz és a védőgáz is levegő.

A kétgázos plazmavágás egyik változata, amikor nem gázzal, hanem vízzel védett a vágás. Ilyenkor nem gáz a védő közeg, hanem víz, és működés közben kétoldaltól víz áramol a felületre. Ezzel a módszerrel a kivágott darab hűtése biztosított, amivel nagyban meghosszabbodik a darab élettartama, ráadásul a vágás felülete is szebb lesz. Hátránya, hogy nagymennyiségű gőz termelődik. Előnye, hogy a gép halkabban vág és a fűvóka élettartama hosszabb. [5]

Vízzel védett plazmaívnél a fűvóka felépítése a 6. ábrán látható. Gyakornoki munkám során a mérésekre szolgáló alkatrészek kivágását ilyen típusú plazmavágóval végeztem. [5]



6. Vízrel védett plazmaív [5]

Ettől eltérő módszer, amikor közvetlenül a plazmaívre történik a víz fecskendezése sugárirányban, az oxigén vagy nitrogén plazmagáz mellé. Ilyenkor a plazmaív keresztmetszete csökken, ami gyorsabb vágási sebességet eredményez. Az ív felbontja a vizet, hidrogén keletkezik, és hiába párolog el a víz egy része, a maradék hűti a felületet, ezáltal szebb, és sarkosabb kontúr eredményezhető. [5]

Következő eljárás a precíziós plazmavágás, amely során nagyon lassú sebességgel történik a vágás, viszont nagyobb a plazmagáz áramlása és nyomása, ezáltal sokkal több energia szükséges, ami költséghatékonyság szempontjából előnytelen, de rendkívül nagy méretpontosságot eredményez. [5]

A következő típus, amikor a plazmagáz a levegő. Ennél a technológiánál nagyon különleges elektróda (cirkónium), helyezkedik el a fejben, ami kívül rézborítással rendelkezik. Hűtésére lehet akár vizet, akár levegőt, használni, ezért egy rendkívül költséghatékony módszer lenne, ha nem okozna a speciális elektróda többletköltséget. [5]

Mivel a cél, hogy minél jobban sikerüljön összehúzni a plazmaívet, ezáltal minél pontosabb vágást eredményezni, a következő egy olyan speciális eljárás említése, ahol a plazmaívet mágneses mezővel vonják körbe, amely feladata a stabilizálás, és így a másodlagos gáz cirkulációja folyamatos, ez a nagy pontosságú plazmaív vágás. [5]

A fent említett plazmavágási technológiák fajtái rendkívül összetettek, ezáltal még sok érdekes fajtát, párosítást lehetne megemlíteni, összehasonlítani valamint érvelni a védőgázok keverékeinek használata mellett és ellen. [5]

A fent bemutatott plazmavágási technológia főbb hátrányai:

- a maximálisan vágható lemezvastagság tartomány kicsi, mivel csak a plazmaív szolgáltatja a vágáshoz szükséges hőt.
- a vágás során keletkezett zajszint magas (90-115 dB) és nagy füst képződik, bizonyos vágófej használata során, és ezt a füstmennyiséget még vízzel teli kád/vágóasztal használatával sem lehet kiküszöbölni.

Végül pedig érdekesség, hogy a természetben sok helyen előfordul a plazma. villámláskor például plazma jön létre, a napszél is plazma, a sarki fényben vagy az ionoszférában is jelen van ez a halmazállapot.[6]

2.3.Lézervágás

Amikor egy bonyolult kontúrral rendelkező, vékony darab vágását vagy gravírozását kell megoldani, a legmegfelelőbb megoldás a lézervágás. "LASER" vagyis angolul Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation (fényerősítés a (fény) sugárzás indukált/stimulált emissziójával). [7]

Előnye ennek a vágási technológiának:

- minimális hőfeszültséget eredményez,
- pontos vágás jellemezi a jól fókuszálható sugár miatt,
- szinte sorja-mentes vágást eredményez,
- kevés salak anyag keletkezik
- a vágószerszámnak hosszú az élettartama, mivel nem kopik.

Hátrányai:

- a többi vágástechnológiához képest drága,
- szűk lemezvastagsági tartománnyal dolgozik
- helyigényes vágási technológia.

A lézertechnológiával vághatunk: szénacélokat, lágyvasat, alumíniumot, fát, rozsdamentes acélt, de üveget is. [7]

A lézer fejlettségét tekintve, 25 mm-es lemezvastagságig képes az anyagot elvágni, ami nem túl nagy tartomány, például a lángvágáshoz képest. Komoly harc folyik az egyes vágási technikák között, mert aki lézervágóval rendelkezik, próbálja úgy fejleszteni, hogy sikerüljön elcsábítani a plazmavágási technológiával dolgozó vásárlókat, a kivágható lemezvastagság növelésével. A plazmavágással foglalkozók pedig próbálnak egyre vékonyabb lemezzel, egyre pontosabban dolgozni, hogy kiszorítsák a lézervágó gépeket. Ennek a nagy piaci versenynek a hatására ez a technológiai ágazat rohamosan fejlődik. [2]

A lézervágó gép, attól függően, hogy melyik lézerforrásról beszélünk, lehet:

- szén-dioxid lézer
- fiber lézer, ami egy optikai szálon vezetik a lézersugarat a vágófejig. [8]

A tűrés, amivel a gép dolgozik, $\pm 0,2$ mm, ami bármilyen eddig említett technológiával szemben a legkisebb. [2]

A szén-dioxid lézer működési elvét tekintve van egy kristály, vagy egy gázkeverék, amit két tükör (bonyolult tükörrendszer) közé teszünk, ami teret alkot (rezonátor teret). A fény itt egyre jobban és jobban felerősödik és lézerfény alakul ki egy adott hullámhosszon. A két tükör közül az egyik olyan tulajdonsággal bír, hogy csak a kialakult lézerfényt engedi át, az onnan kiáramló sugár egy lencsén halad át és egy nagy energiájú fénynyalábbá alakul. A lézervágó 5kW-os, sugár átmérője körülbelül 13 mm és háromféle lézergázra van szükségünk: szén-dioxidra, nitrogénre és héliumra más arányban. [8]

Előnyei:

- szén-dioxid fogyasztása kicsi
- nitrogén fogyasztás nagyobb, mint a szén-dioxid, de olcsó gáz

Hátránya

- Nagymértékű Hélium fogyasztás. [8]

A Fiber egy új technikának számít, (teljesítménye 6 kW, kis hullámhosszúságú lézer) melynek lényege, hogy a lézersugár egészen a vágófejig egy optikai szálon fut.

Előnye:

- a gázlézerhez képest 60%-kal kevesebb energiát használ.
- hűtési igénye kisebb
- meghibásodási aránya kisebb
- karbantartási igénye minimális.

Hátránya:

- veszélyes a sugárzása (szembe kerülve maradandó károsodást okoz), ezért alaposan igyekeznek elburkolni az ilyen technikával dolgozó gépeket,
- éppen ezért körülményessé válik az alkatrészekhez való hozzáférés, szervizelés.
- még új kiforratlan technológiának számít, jelen állás szerint még nem készült olyan Fiber lézergép, amely teljes egészében leváltaná a szén-dioxid lézert. [\[8\]](#)

Tehát lézersugaras vágást akkor javasolt választanunk, ha nagyon pontos követelményeknek, tűréshatárnak kell megfelelnie a kivágandó alkatrésznek, és ha vékony anyagvastagságú, bonyolult darabról beszélünk.

2.4.Vízvágás

Másik vágási technológiai alternatíva a lézervágás mellett a vízvágási technológia. Felépítését tekintve a gép szíve a kompresszor és a nyomásfokozó egység. Onnan a 4000 bar nyomású víz a korrózióálló vezetékeken keresztül jut el a vágófejhez. A hajsza vékony fűvókán keresztül, a vágófejben homokkal keveredve éri el a vágandó anyagot, 1mm vastag sugarat alkotva. A fűvóka anyaga kopásálló kerámia, zafir. [2]

A vízsugaras vágás egy olyan, nem termikus vágási technológia, amely során a vízsugár homokkal keverve választja szét az anyagot, a vágás során a víz mennyiségét változtatlanul hagyjuk az anyag vastagságától független és változatlan, viszont az abrazív anyag, ebben az esetben a homok mennyisége módosul az alábbi táblázat szerint. A homokszemcsék mennyiségét a fűvóka keresztmetszet állításával lehet szabályozni.[2]

Abrasive consumption tables												
Abrasive nozzle 1.05												
Orifice washer	Garnet 80 Mesh Australian (g/min)			Garnet 120 Mesh Australian (g/min)			Barton 80 Mesh USA (g/min)			Barton 120 Mesh USA (g/min)		
	0.25	0.30	0.35	0.25	0.30	0.35	0.25	0.30	0.35	0.25	0.30	0.35
ø2.4	75	95	120	80	110	135	80	90	110	80	100	125
ø2.6	80	110	130	100	125	150	90	110	125	100	125	135
ø2.8	100	135	170	120	155	170	100	130	150	135	140	155
ø3.0	160	155	200	145	190	215	120	155	180	160	170	185
ø3.2	180	185	215	180	225	245	140	175	200	190	195	205
ø3.4	200	205	240	220	245	280	180	200	230	210	215	235
ø3.6	250	255	285	260	280	325	220	235	265	240	245	260
ø3.8	280	285	320	300	330	350	240	265	295	275	285	285
ø4.0	295	310	345	320	355	395	280	295	335	295	305	305
ø4.2	310	350	400	340	395	445	300	340	370	315	315	320
ø4.4	340	380	425	360	430	485	320	375	395	360	365	375
ø4.6	400	425	495	400	480	540	360	415	435	390	400	400
ø4.8	460	480	540	470	540	570	400	465	500	410	425	435
ø5.0	500	515	565	520	570	635	440	500	545	460	460	465
ø5.2	540	565	625	580	630	685	480	550	590	495	500	500
ø5.4	580	595	675	640	670	730	520	580	630	530	535	535
ø5.6	650	660	730	700	725	*OF	570	635	680	600	600	645
ø5.8	710	720	790	780	*OF	*OF	635	695	735	635	635	*OF

*OF=Over flow

Működését tekintve a vízvágásnál a folyadéksugár a hangsebesség duplájával áramlik a munkadarab felé, amihez egy adagoló rendszer keveri a kifejezetten erre a célra kevert nagy szilárdságú homokszemcséket. A fűvókával lehet szabályozni a kiáramló homokszemcsék sugarát. Az eredmény egy szabályos kontúrral rendelkező alkatrész, amit utómunkálni nem szükséges, így elmondható, hogy ezzel a vágástechnikával közel köszörülés szintű állapotig lehet elkészíteni a darabot. Mivel nem éri magas hőhatás az alkatrészt, csak minimális, maximum 25-40 °C, ezért sem az anyag szerkezetében, sem keménységében változás nem történik. [9]

Vízvágó eljárás esetén a víznyomás nagysága miatt, a gép nagy teljesítményű szivattyújának energiaellátása a mai energiaárak miatt nem elhanyagolható nagyságú, emellett az elhasznált vízmennyiség, a homokszemcse, és a gép karbantartása költséges [9]

Az energiafelhasználásának és az azzal járó költségek ellenére rendkívül sok előnye van a vízvágásnak:

- nem veszi igénybe különösebb hőhatás az anyagot, ezáltal nem változnak az anyag jellemzői
- nincs feszültség, tehát nincs deformitás.
- a vágórés rendkívül kicsi, olyan 0,3 és 1,03 mm közötti érték, tehát jól lehet optimalizálni az anyagihasználást, az anyagveszteség minimalizálásával. [2]
- rendkívül pontos gép, sima felületet eredményez,
- nincsenek sorják, sem makró repedések a vágás mentén és a kivágott alkatrészen
- magas az ismétlési pontossága, (pl. a plazmavágásnál a fűvóka a 20. furat készítésénél már nagyon elhasználódik, eltömődik, ezáltal deformálódik a furat, nem lesz szép szabályos a furatkép, addig a vízvágásnál még a negyvenedik furatnál is tökéletes a furatkép.) [9]

Ezzel a vágástechnikával lehet különböző fémeket, acélokat, acélötvözeteket, rozsdamentes acélokat, hardoxot, alumíniumokat, színesfémeket, réz, bronz, magnézium, nikkel ötvözeteket, üvegszál, szénszál anyagokat, bakelit, kevlárt, csempét, követ, betont, hungarocellt, márványt, szilikont, teflont, és vitont is vágni. [9]

Bonyolultabb alakzatok vágására is, nagy pontossággal képes a gép, az anyagminőségtől függően a vágható vastagsági tartomány tág, ami azt jelenti, hogy 150 mm vastag anyag gond nélkül vágható ezzel a technológiával, ráadásul szögben történő vágásra is képes.[2]

Vízvágásnál több dimenziós fajtáját lehet megemlíteni, az alapján, hogy a vágófej dönthető-e, illetve hány fokban. [9]

- Egydimenziós vágás: Hálós felület vágására használják, sok vágófej dolgozik egy szalagra felpakolt alapanyagon, több műszakos termelés valósítható meg, gyors vágási sebesség és megbízhatóság jellemzi.
- Kétdimenziós vágás: Legelterjedtebb vízvágás, bonyolult alakok vágására a CNC rendszerrel vezérelt fej szolgál, X és Y tengely mentén megy a tervezés (néha z mentén is a magasság beállítása végett), 5 tengelyen dolgozik a gép, a fejet szögben lehet állítani, gyors vágási sebesség, egyidejűleg sok alkatrész vágása, tükröt is lehet vele vágni.
- Háromdimenziós vágás: Robotalkalmazás, jellemzően autóiparban használatos technika, háromdimenziós vágószoftver használata szükséges, a vágófej egy robotkaron helyezkedik el (3D vágófej, 65 fokos szögben képes vágni).

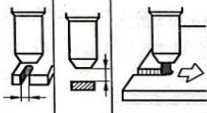
3. AZ ALKALMAZOTT VÁGÁSI TECHNOLÓGIÁK SPECIFIKÁCIÓI

3.1. Lángvágási technológia a gyakorlatban

Lángvágás első lépése a gyakorlatban az alapanyag szennyeződésektől való eltávolítása, ha a lemez állapota látszólag nem megfelelő, akkor egyengetésre is szükség lehet. Ha ez a lépés kimarad és a tisztítás nem következik be, az ronthatja a vágás minőségét, és a vágás időtartamát növelheti. Előfordulhat olyan eset is, hogy a felverődött szennyeződés miatt a kivágandó darab vágása akadályba ütközik, a vágófej nem vágja át teljesen az anyagot és torzul a vágás kontúrja.[2]

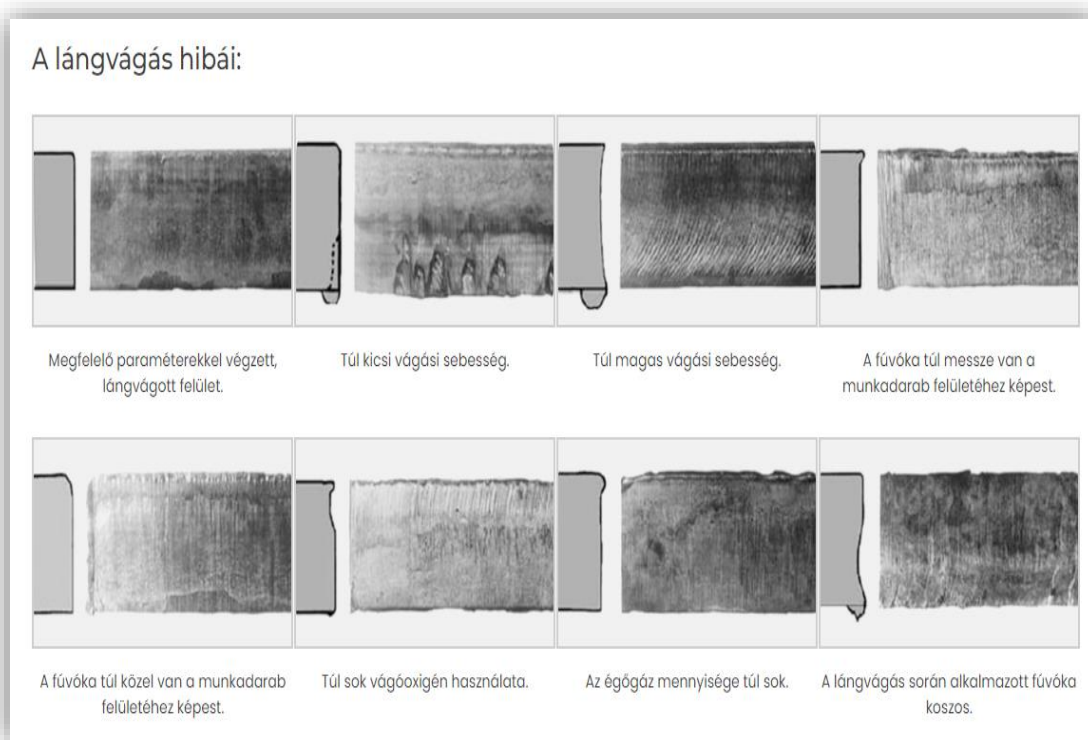
A vágás során a felület minőségét a vágósebesség és a vágóoxigén mennyisége jelentősen befolyásolja. Tökéletesen beállított paraméterek mellett a vágott felület bemeneti és kimeneti oldalon elhelyezkedő éle ép, derékszögű, a vágás során keletkezett barázdák párhuzamosak, és kevés, vagy egyáltalán nem marad salak a vágott felületen.[2]

A mérésekre szánt munkadarabok kivágására a lángvágógép PB gázt használt. A vágás egy 2500x6000 mm széles vágóasztallal rendelkező, portál lángvágógéppel készült, aminek gázszükségletét és nyomását a 15 mm-es anyagvastagság ismeretében ki lehet olvasni az alábbi táblázatból.

Lemez- vastag- ság, t	Fű- vóka szám				Oxigén		Normálüzem				Intenzív üzem			
		mm	mm	mm/s	MPa	m ³ /h	oxigén MPa	oxigén m ³ /h	propán MPa	propán m ³ /h	oxigén MPa	oxigén m ³ /h	prop MPa	prop m ³ /h
5	1	2,8	6	14...16	0,8	5,65	0,15	1,6	0,2...0,8	0,4	0,25	2,25	0,4	
10				13...14										
15				12...13										
20				10...11										
25				9...10										
30				8...9										
40	2	2,9	6	6...7	1	6,95	0,15	1,6	0,2...0,8	0,4	0,25	2,25	0,4	
5				14...16										
10				13...14										
15				12...13										
20				10...11										
25				9...10										
30				8...9										
40				7...8										
50		3,3	9	6...7										
70				4...5										
		3,5	12	4...5	1	11,1	0,22	2,1	0,2...0,8	0,52	0,31	2,65	0,52	

Áram használat szempontjából a lángvágógép csupán annyit fogyaszt, mint egy számítógép, mivel a fő fogyasztást a vágógáz használata okozza. A nem megfelelő paraméterekkel beállított gépnél a fogyasztás nőhet, a darabon pedig vágási hibák észlelhetők. A mérésre kivágott munkadarabokon a kis vágási sebesség által okozott hibát lehet felfedezni, illetve a túl gyors vágási sebesség által okozott felületi minőség romlást.

Néhány hiba szemléltetésére a 9. ábra mutat példákat.



9. A lángvágás hibái, nem megfelelő beállítás esetén

Összevetve az általam kivágatott alkatrészeknél megfigyelhető hibákkal, valóban így néznek ki a gyakorlatban.

A lemezek vágóasztalra való felhelyezését és levételét targonca végzi.

3.2. Plazmavágási technológia a gyakorlatban

A munkadarabok kivágására használt plazmagép vágóasztala 2000x6000 mm szélességű, típusa Kjellberg power source Smart Focus 300. A gép felépítését a 10. ábra mutatja.

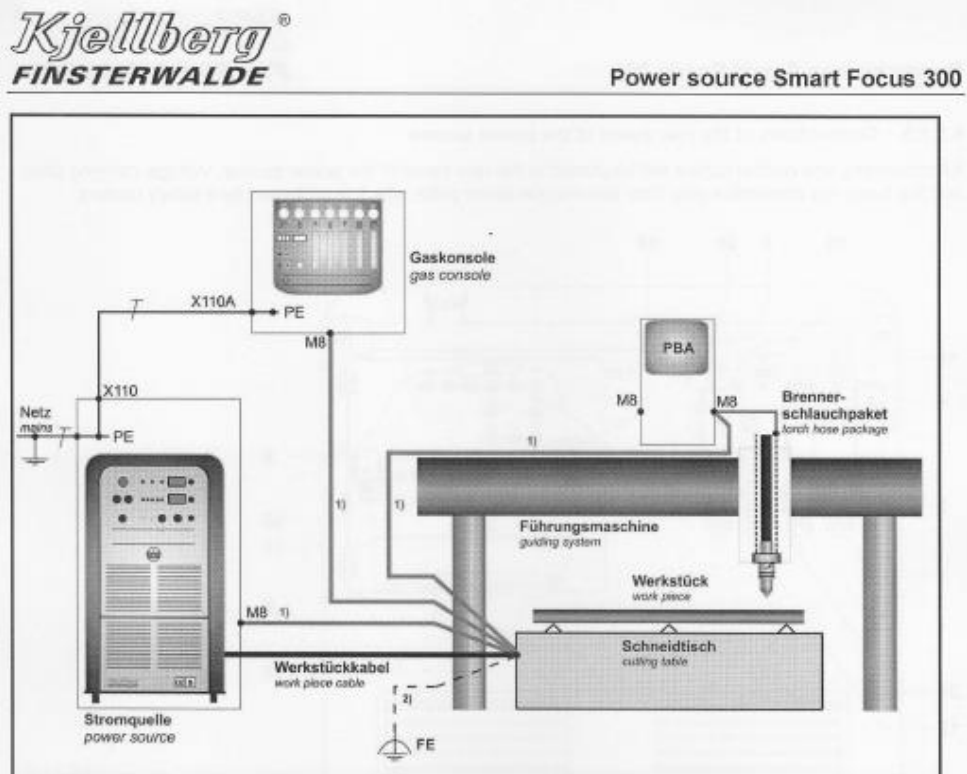


Fig. 5: Potential equalisation and protective conductor guidance, example

Footnote/Term	Explanation	Note
	Symbol for protective earth PE	
	Symbol for functional earth (FE)	
¹⁾	Installation by operator	Wires are not part of the delivery content
²⁾	External wire for additional functional earthing	Optional
Torch hose package		The earthing wire is not part of the torch hose package
PBA	Plasma torch connecting unit	With integrated ignition unit

A gáz előállítására, adagolására a kép bal oldalán látható, különálló egység szolgál. Ha valami probléma van a plazma fűvókával, az egység jelzi a gépkezelőnek, hibakóddal, és nem lehet a gépet elindítani, amíg az nincs javítva.

A 11. ábrán a gépkönyv következő oldala található. Plazmavágás alkalmával nagyságrenddel több áramot fogyaszt a gép, mint egy lángvágó berendezés.

Kjellberg®
FINSTERWALDE

Power source Smart Focus 300

6.1 Technical data

Article number	.11.037.3002
primary side:	
mains voltage U_1^* :	3~ 400 V $\pm 10\%$, 50 Hz
max. connecting load:	79 kVA (100% ED)
fuse, slow:	T 125 A
mains cable, cross section Cu	4 x 35 mm ²
power factor cos phi:	0,86 at 300 A
efficiency:	0,89
cutting side:	
open circuit voltage (OCV) U_0 :	400 V
cutting current I_2 :	35 - 300 A
arc voltage U_2 : (100 %)	200 V
cutting power P_2 :	60 kW
duty cycle X:	100 % at 300 A
marking current:	10 – 50 A
workpiece cable:	conductor cross section: 35 mm ² Cu
characteristic:	drooping (CC)
ignition process:	pilot arc ignition by high voltage ignition unit; (at plasma torch connection unit PBA-300) main arc ignition by pilot arc
weight m:	488 kg
dimensions (l x b x h):	1030 x 680 x 1450 mm (with undercarriage „castors and wheels“)
protection class:	IP21
heat resistance class:	F
cooling:	Air cooled by built-in fan
torch cooling:	internal circulating cooling
coolant:	coolant mixture with integrated corrosion protection - „Kjellfrost -15 °C“ (anti freeze protection up to -15 °C) or - „Kjellfrost -25 °C“ (anti freeze protection up to -25 °C)
volume coolant box:	approx. 17 l
pressure:	5 bar at 5 l/min
*... more voltages, see chapter "mains connection"	

Fig. 1: Technical data Smart Focus 300

11. Plazmavágó áramfelvétele

4. VÁLASZTOTT MUNKADARAB

A vágási technológiák általános ismertetése és a vágógépek bemutatása után, az összehasonlítás céljából kivágott alkatrészek alapanyagválasztását, méreteit és a CNC vezérlésű vágógépek programozását ismertetem.

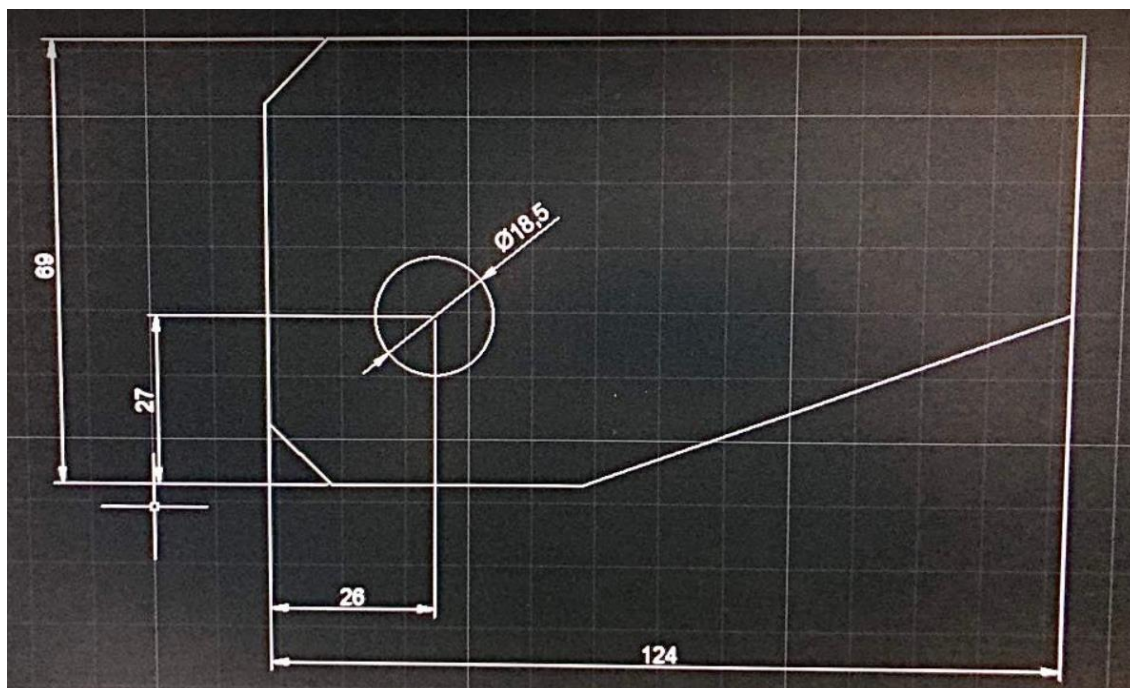
A három-három munkadarabot egy melegen hengerelt durva lemezből vágja ki mindkét termikus vágógép. A melegen hengerlés azt jelenti, hogy az acélt magas hőmérsékletre hevítve, (több mint 1700 fokra, az újra kristályosodási hőmérséklet fölé) egy olyan acél keletkezik, amit egy nagy hosszúkás tömbként lehet leírni. Az anyagot görgőkön keresztül vezetik, hengerelik, miközben a hőmérséklet meghaladja az újra kristályosodási hőmérsékletét és így alakítják ki a melegen hengerelt acéllemezeket. Ez egy olcsó megoldás, amely nem rendelkezik szigorú tűréshatárral, a lemez mérete csökkenhet a hűlés során, zsugorodás miatt.

Kiválasztott darabok 15 mm-es lemezvastagsága, ami alapján a tömeggyártás történik, a mérések szemléltetésére megfelel. Össze lehet hasonlítani a plazma illetve lángvágó gép programozása szempontjából, mert mindkét vágógép képes ezt az anyagvastagságot vágni. Abban az esetben, ha 200 darabos rendelésre készítjük elő a programot, nem vágatjuk az alkatrészeket plazmavágó és lángvágó gépen egyszerre, egy időben, csak lángon, mivel műbizonylat szempontjából jobb, ha ugyanabból a lemezből van levágatva az összes darab. Az S235J2 anyagminőségű, 15 mm anyagvastagságú, melegen hengerelt lemez műbizonylata a 12. ábrán látható.

		Marcegaglia 40144 San Giovanni 16 Giovinetti High Speed Steelworks Italy Tel. +39 - 0576 885 1 Fax. +39 - 0576 885 800 www.marcegaglia.com		Type Inspection Certificate 3.1 EN 10204 First document was produced automatically and is valid without signature		Number 16622514828 Issued On 23/08/2022																																																																																																																																										
		Product: Hot Rolled Heavy Plates Standard: EN10025-2:2019 Steel Grade: S235J2+N																																																																																																																																														
Customer SEBESTYÉN LANGVÁGÓ KFT. 0187/29 HRSZ. PET#FI-TANYA 2316 TÖKÖL HU		Code: 000008913		Del. Address SEBESTYÉN LANGVÁGÓ KFT. 0187/29 HRSZ. PET#FI-TANYA 2316 TÖKÖL HU		Delivery No Of 8960802791 23/08/2022 Delivery note nr 1066010369		Quality Control Q.M.D./G.M. M.Rizzatti Plant Palini e Bertoli		Pages 2/4																																																																																																																																						
Material LTS		Surface Quality: EN10163-2 CL A1 Flatness: rf EN 10029 cl. N Tolerances: EN10029 CLASSE B		Delivery Condition: Normalizing Rolling Steel Making Process: BO+ Basic oxygen		Order No 119145802/80		Client Order MAT12		Client Date 24/01/2022																																																																																																																																						
Description LTS 2000,0X 6000,0X 15,00 S235J2+N		Remarks: CE Marking Certificate N.0474-CPR-0033 last issued 14/09/2020 Rev.05. Hot rolled products of structural steels in compliance with Regulation n°305/2011/EU dated 09/03/2011. DOP available on (www.quality.marcegaglia.com/marcegaglia-palini-e-bertoli-dop).																																																																																																																																														
Item	Identification Nr	ID Palini	Heat	Quantity KG	Quantity PZ																																																																																																																																											
1	22KY024253	14H.78.01/A	120348	1440	1																																																																																																																																											
2	22KY024241	14H.75.05/A	220385	1440	1																																																																																																																																											
3	22KY024242	14H.75.05/B	220385	1440	1																																																																																																																																											
4	22KY024243	14H.75.05/C	220385	1440	1																																																																																																																																											
<table border="1"> <thead> <tr> <th>Identification Nr</th> <th>C (%)</th> <th>Mn (%)</th> <th>Si (%)</th> <th>S (%)</th> <th>P (%)</th> <th>Cr (%)</th> <th>Ni (%)</th> <th>Cu (%)</th> <th>Al (%)</th> <th>Mo (%)</th> <th>Nb (%)</th> <th>V (%)</th> <th>Ti (%)</th> <th>N (%)</th> <th>H (%)</th> <th>B (%)</th> <th>Ceq (%)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td></td> <td>0.17</td> <td>1.4</td> <td></td> <td>0.025</td> <td>0.025</td> <td>0.3</td> <td>0.55</td> <td>0.3</td> <td>0.02</td> <td>0.3</td> <td>0.08</td> <td>0.06</td> <td>0.1</td> <td>0.05</td> <td>0.012</td> <td></td> <td>0.35</td> </tr> <tr> <td>22KY024253</td> <td>.160</td> <td>1.040</td> <td>.190</td> <td>.0050</td> <td>.0150</td> <td>.030</td> <td>.010</td> <td>.010</td> <td>.030</td> <td>.0020</td> <td>.003</td> <td>.003</td> <td>.0030</td> <td>.0060</td> <td>.00000</td> <td>.0000</td> <td>.34</td> </tr> <tr> <td>22KY024241</td> <td>.160</td> <td>1.040</td> <td>.220</td> <td>.0060</td> <td>.0110</td> <td>.030</td> <td>.010</td> <td>.020</td> <td>.040</td> <td>.0020</td> <td>.003</td> <td>.002</td> <td>.0030</td> <td>.0050</td> <td>.00000</td> <td>.0000</td> <td>.34</td> </tr> <tr> <td>22KY024242</td> <td>.160</td> <td>1.040</td> <td>.220</td> <td>.0060</td> <td>.0110</td> <td>.030</td> <td>.010</td> <td>.020</td> <td>.040</td> <td>.0020</td> <td>.003</td> <td>.002</td> <td>.0030</td> <td>.0050</td> <td>.00000</td> <td>.0000</td> <td>.34</td> </tr> <tr> <td>22KY024243</td> <td>.160</td> <td>1.040</td> <td>.220</td> <td>.0060</td> <td>.0110</td> <td>.030</td> <td>.010</td> <td>.020</td> <td>.040</td> <td>.0020</td> <td>.003</td> <td>.002</td> <td>.0030</td> <td>.0050</td> <td>.00000</td> <td>.0000</td> <td>.34</td> </tr> </tbody> </table>												Identification Nr	C (%)	Mn (%)	Si (%)	S (%)	P (%)	Cr (%)	Ni (%)	Cu (%)	Al (%)	Mo (%)	Nb (%)	V (%)	Ti (%)	N (%)	H (%)	B (%)	Ceq (%)		0.17	1.4		0.025	0.025	0.3	0.55	0.3	0.02	0.3	0.08	0.06	0.1	0.05	0.012		0.35	22KY024253	.160	1.040	.190	.0050	.0150	.030	.010	.010	.030	.0020	.003	.003	.0030	.0060	.00000	.0000	.34	22KY024241	.160	1.040	.220	.0060	.0110	.030	.010	.020	.040	.0020	.003	.002	.0030	.0050	.00000	.0000	.34	22KY024242	.160	1.040	.220	.0060	.0110	.030	.010	.020	.040	.0020	.003	.002	.0030	.0050	.00000	.0000	.34	22KY024243	.160	1.040	.220	.0060	.0110	.030	.010	.020	.040	.0020	.003	.002	.0030	.0050	.00000	.0000	.34																									
Identification Nr	C (%)	Mn (%)	Si (%)	S (%)	P (%)	Cr (%)	Ni (%)	Cu (%)	Al (%)	Mo (%)	Nb (%)	V (%)	Ti (%)	N (%)	H (%)	B (%)	Ceq (%)																																																																																																																															
	0.17	1.4		0.025	0.025	0.3	0.55	0.3	0.02	0.3	0.08	0.06	0.1	0.05	0.012		0.35																																																																																																																															
22KY024253	.160	1.040	.190	.0050	.0150	.030	.010	.010	.030	.0020	.003	.003	.0030	.0060	.00000	.0000	.34																																																																																																																															
22KY024241	.160	1.040	.220	.0060	.0110	.030	.010	.020	.040	.0020	.003	.002	.0030	.0050	.00000	.0000	.34																																																																																																																															
22KY024242	.160	1.040	.220	.0060	.0110	.030	.010	.020	.040	.0020	.003	.002	.0030	.0050	.00000	.0000	.34																																																																																																																															
22KY024243	.160	1.040	.220	.0060	.0110	.030	.010	.020	.040	.0020	.003	.002	.0030	.0050	.00000	.0000	.34																																																																																																																															
<table border="1"> <thead> <tr> <th>Identification Nr</th> <th>Forma</th> <th>(1)</th> <th>(2)</th> <th>(3)</th> <th>Tst</th> <th>Rm</th> <th>ReH</th> <th>A%</th> <th>(1)</th> <th>(2)</th> <th>(3)</th> <th>(4)</th> <th>T</th> <th>Kv1</th> <th>Kv2</th> <th>Kv3</th> <th>Kv4</th> <th>TESTN</th> </tr> <tr> <th></th> <th></th> <th></th> <th></th> <th></th> <th>[°C]</th> <th>[N/mm²]</th> <th>[N/mm²]</th> <th>[°C]</th> <th></th> <th></th> <th></th> <th></th> <th>[°C]</th> <th>[J]</th> <th>[J]</th> <th>[J]</th> <th>[J]</th> <th></th> </tr> <tr> <th></th> <th></th> <th></th> <th></th> <th></th> <th>20</th> <th>360</th> <th>235</th> <th>24</th> <th></th> <th></th> <th></th> <th></th> <th>-20</th> <th></th> <th></th> <th></th> <th></th> <th></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>22KY024253</td> <td>P</td> <td>1</td> <td>P</td> <td>T</td> <td>20</td> <td>478</td> <td>333</td> <td>33.6</td> <td>1</td> <td>P</td> <td>L</td> <td>10.0</td> <td>-20</td> <td>161</td> <td>150</td> <td>147</td> <td>152</td> <td>22-015830P</td> </tr> <tr> <td>22KY024241</td> <td>P</td> <td>1</td> <td>P</td> <td>T</td> <td>20</td> <td>481</td> <td>337</td> <td>33.8</td> <td>1</td> <td>P</td> <td>L</td> <td>10.0</td> <td>-20</td> <td>85</td> <td>82</td> <td>105</td> <td>90</td> <td>22-015844P</td> </tr> <tr> <td>22KY024242</td> <td>P</td> <td>1</td> <td>P</td> <td>T</td> <td>20</td> <td>481</td> <td>337</td> <td>33.8</td> <td>1</td> <td>P</td> <td>L</td> <td>10.0</td> <td>-20</td> <td>85</td> <td>82</td> <td>105</td> <td>90</td> <td>22-015844P</td> </tr> <tr> <td>22KY024243</td> <td>P</td> <td>1</td> <td>P</td> <td>T</td> <td>20</td> <td>481</td> <td>337</td> <td>33.8</td> <td>1</td> <td>P</td> <td>L</td> <td>10.0</td> <td>-20</td> <td>85</td> <td>82</td> <td>105</td> <td>90</td> <td>22-015844P</td> </tr> </tbody> </table>												Identification Nr	Forma	(1)	(2)	(3)	Tst	Rm	ReH	A%	(1)	(2)	(3)	(4)	T	Kv1	Kv2	Kv3	Kv4	TESTN						[°C]	[N/mm²]	[N/mm²]	[°C]					[°C]	[J]	[J]	[J]	[J]							20	360	235	24					-20						22KY024253	P	1	P	T	20	478	333	33.6	1	P	L	10.0	-20	161	150	147	152	22-015830P	22KY024241	P	1	P	T	20	481	337	33.8	1	P	L	10.0	-20	85	82	105	90	22-015844P	22KY024242	P	1	P	T	20	481	337	33.8	1	P	L	10.0	-20	85	82	105	90	22-015844P	22KY024243	P	1	P	T	20	481	337	33.8	1	P	L	10.0	-20	85	82	105	90	22-015844P
Identification Nr	Forma	(1)	(2)	(3)	Tst	Rm	ReH	A%	(1)	(2)	(3)	(4)	T	Kv1	Kv2	Kv3	Kv4	TESTN																																																																																																																														
					[°C]	[N/mm²]	[N/mm²]	[°C]					[°C]	[J]	[J]	[J]	[J]																																																																																																																															
					20	360	235	24					-20																																																																																																																																			
22KY024253	P	1	P	T	20	478	333	33.6	1	P	L	10.0	-20	161	150	147	152	22-015830P																																																																																																																														
22KY024241	P	1	P	T	20	481	337	33.8	1	P	L	10.0	-20	85	82	105	90	22-015844P																																																																																																																														
22KY024242	P	1	P	T	20	481	337	33.8	1	P	L	10.0	-20	85	82	105	90	22-015844P																																																																																																																														
22KY024243	P	1	P	T	20	481	337	33.8	1	P	L	10.0	-20	85	82	105	90	22-015844P																																																																																																																														
Ultrasonic control Equipment Gilsoni RDG2000 Serial number 050858001 Surface conditions As Rolled Couplant Water Procedure According To Specification Calibration According To Specification												Firma Il Liv. ENISO 9712 Q.M.D. M.Rizzatti																																																																																																																																				
Item	Standard of reference	Acceptance criteria	Result	Indications	Rebate	Edges	Probe	Frequency	Angle	DescriptionMarchi 0474																																																																																																																																						
- Material Free of radioactive contamination - Dimensional check and visual examination of the surface condition: without objection - We Declare that the above mentioned plates are in compliance with the order prescription - We hereby declare that the above mentioned material have been rolled in Italy, thus of European Community origin																																																																																																																																																

12. Műbizonylat

A CNC program készítése előtt meg kell vizsgálni a darab műhelyrajzát, hogy lángvágási rajzot lehet látni, vagy forgácsolási méretek vannak megadva, be van-e tűrvéselve a darab, mert ezeknek az ismereteknek a tudatában mérlegelni kell, rá kell-e hagyni a méretekre a technológiai ráhagyáson kívül, vagy sem. A láng és a plazmavágás esetén 5 mm plusszal kell számolni. Tehát, ha szigorúbb tűrések vannak előírva, 5 mm-es ráhagyásba kell gondolkodnunk. Mindezt a forgácsolási méretek tudatában lehet eldönteni.



13. Választott darabok kontúrja

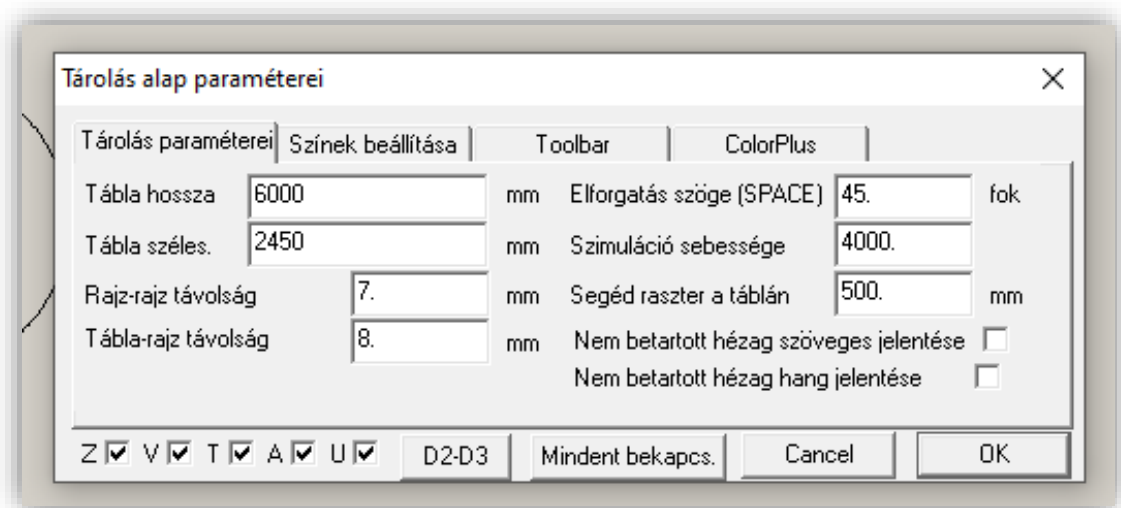
A Sebestyén Lángvágó Kft-nél a Turbo Wrykrys táblakiosztó programot használjuk, melynek lényege egy lemezre összeforgatni az alkatrészeket a legjobb anyagkihasználást és a forgási irányokat figyelembe véve. Ezzel a szoftverrel a lángvágó- és a plazmavágó gépre is írhatunk programot, csak figyelni kell a forgási irányokra, a lemez vastagságokra és darabszámra.

Fontos tényező a plazma program írásánál, hogy a furatokat a gép az óramutató járásával ellentétes irányban fogja kivágni, míg a külső kontúrt az óramutató járásával megegyezően, és ebben a sorrendben. A láng programnál a belső furatokat szintén az óramutató járásával ellentétes irányba kell megírni, viszont itt a külső kontúrt is ugyanilyen irányban fogja kivágni a gép.

Vannak olyan speciális anyagvastagságú darabok, hogy plazmára is meglehet írni egy-egy programot, és lángvágó gépre is. Ez az eset a 15-22 mm vastagság tartomány. Ilyenkor, a technológiai ráhagyás nem 1 mm, hanem 1.5 mm a plazmaprogramnál és 1mm a lángprogramnál.

A programban a 14. ábrán látható panel segítségével beállítjuk annak a táblának a szélességét, illetve hosszúságát, amiből a darabot ki szeretnénk vágni. A 15 mm vastag

(Lv15) alkatrésznél, a telephelyen az S235-ös anyagminőségű lemeztáblánk 2450x6000 mm méretű.



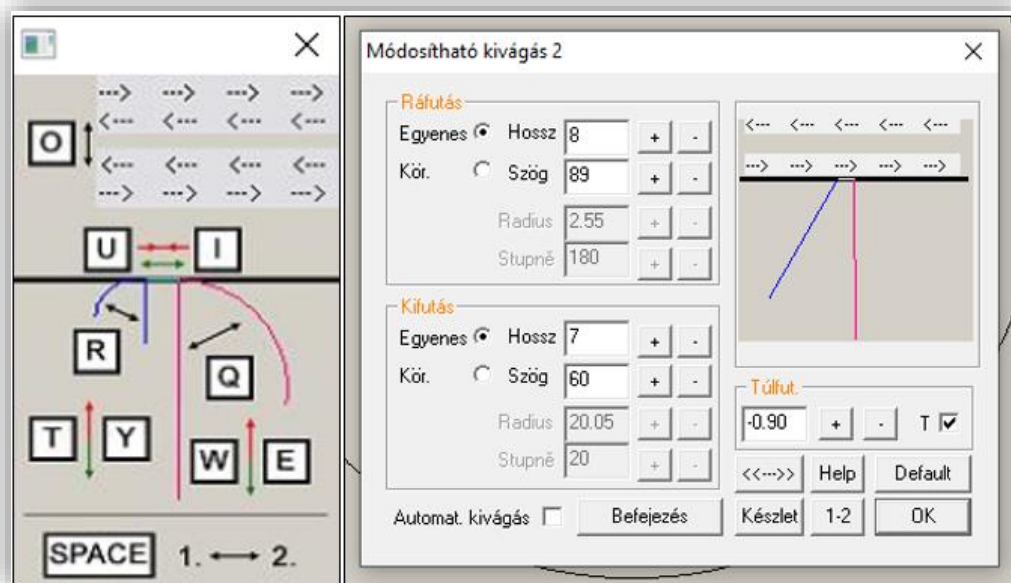
14. Wrykrys táblakiosztó program táblaparaméter beállítása

Az elforgatási szög általánosan 45°, ezzel forgatjuk a darabot a helyére, de lejjebb is vehetjük a finomítás érdekében.

A bemenet vagy beszúrás azt jelenti, hogy a vágófej hol és hogyan találkozzon a lemezzel. A kimenet, vagy kifutás, pedig a vágófej távozását a darab kivágása után.

A két darab közti távolság 6 és 8 mm közötti érték, a tábla-rajz távolság láng esetén 8 mm, mert a lángvágási bemenetet a baloldalon helyezzük el. A táblán kívülre helyezzük a beszúrást, mivel a gépnek jobb, ha nem lyukasztja az anyagot. Plazmaprogram esetén elkerülhetetlen az átszúrás, ilyenkor 8 mm a bemenet és csupán 1 mm a kifutás hossza.

A bemeneti, kimeneti távolságokat, szögeket, hosszokat a 15. ábrán látható panel segítségével tudjuk beállítani.



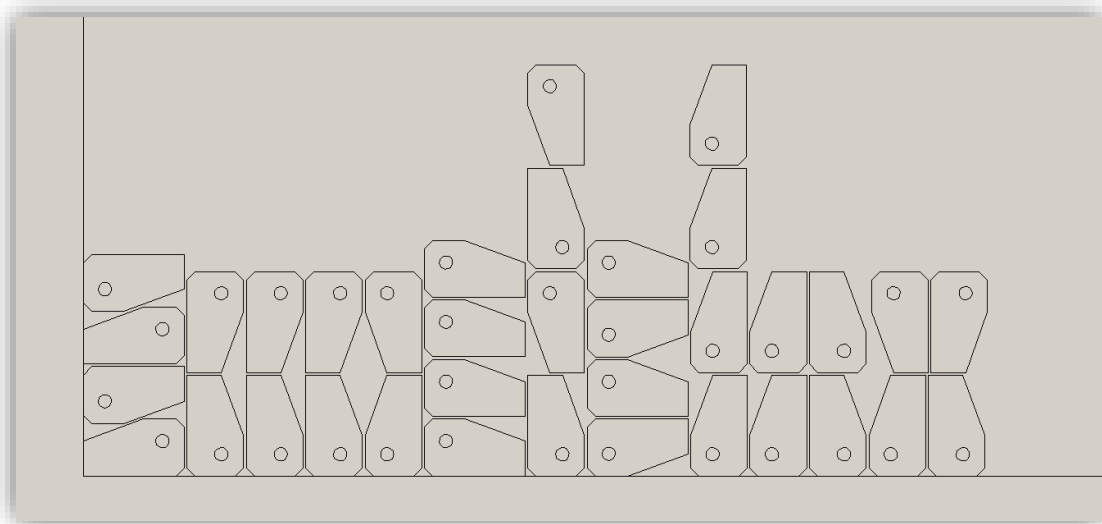
15. Fúvóka be és kimenetelének beállítási panelja

A ráfutás és a kifutás közötti távolság jelenti a túlfutást, ami ha kicsi, akkor félő, hogy belevág a darabba, vagy úgy esik ki a darab a lemezből, hogy letörik, így „beleharap” az anyagba. Ennek elkerülésére a túlfutásnál egy kis háromszöget rajzolunk, hogy inkább kitüremkedő alakzat maradjon vágás után, minthogy belevágjon az anyagba, mivel a felesleget utómunkával el tudjuk távolítani. Ha belevág a darabba, az nem javítható.

Minél több furatot kér a megrendelő az alkatrészbe, annál több időbe telik a láng illetve a plazma program elkészítése, mert minden furatnál egyesével meg kell rajzolni a be-ki menetet és a hozzájuk tartozó segéd háromszöget. A sok furat kivágásánál torzul a furatkép, mert koszolódik a fej, a fúvókára szennyeződés tapad, vagy elhasználódik a fej. Ebből következik, hogy erülni kell a sok és kicsi furatot plazma- és lángvágás esetén.

A kivágandó alkatrészeknél, főleg, ha nagy darabszámról beszélünk, kiemelkedő fontosságú, hogyan forgatjuk össze a darabok kontúrjait a megfelelő anyagkihasználás érdekében.

A 16. ábrán látszik, hogy ha nem jól forgatjuk össze az alkatrészünket, nem megfelelő anyagkihasználást tapasztalunk, sok felesleget, hulladékot termelünk, ami növeli a költségeket. Csak optimalizált anyagfelhasználással adhatunk a megrendelőnek versenyképes árat.



16. Táblatervező programba több alkatrész összeforgatása

A kiválasztott darabunk láng programjánál az átszúrás baloldalra került, az alkatrészt pedig 8mm-re a tábla szélétől helyeztem el (láng programnál a minimális távolság). A 15 mm-es lemezvastagság lehetővé teszi, hogy ugyanazon az alkatrész geometrián keresztül be tudom mutatni, hogyan is néz ki a plazma program.

Plazma programnál a befutást és a kifutást nagyrészt a darabunk jobb oldalán helyezzük el ~8 mm-es befutással (A plazmaív tisztítása miatt) és csupán 1 mm-es kifutással. A furatoknál a kimeneti és bemeneti méretek ugyanazok, mint a külső kontúrnál.

A program megírása után elmentjük a láng illetve plazma programot, feltüntetve a programszámot, a darabok súlyát, ami jelen esetben 0.91 kg/db és hogy plazma vagy láng programot készítettünk el.

A vágás során a berendezést használó kollégák a munkalap segítségével tájékozódhatnak arról, hogy mit kell vágniuk, ellenőrizhetik a darab méreteit, darabszámát, programszámát és értesülnek a vágás határidejéről.

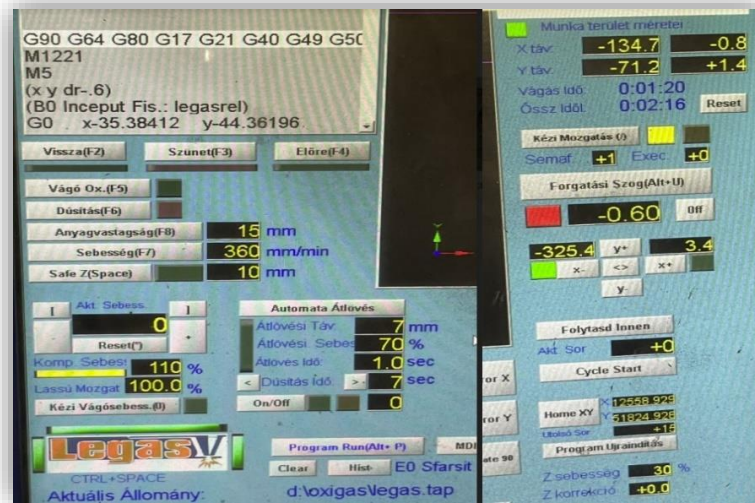
4.1. Lángvágási dokumentáció



17. Lángvágógép munka közben

A 17. kép az általam választott darab lángvágása közben készült, normál vágási sebesség beállításával. A műhelybe kikerült programot a gépkezelők megnyitják, és még egyszer ellenőrzik a méreteket G kód segítségével, a vágási irányokat, majd kivágják az alkatrészeket.

A lángvágó gép vágás paramétereit, a vágás sebességét, az anyagvastagság beállítását, stb. a 18. ábrán látható panelről olvashatjuk le, állíthatjuk be. A gép kiszámolja, hogy mennyi időt vesz igénybe a vágás gyorsjárattal, a láng begyújtásával és a lyukasztással együtt.



18. Lángvágógép vágási paraméter panelje

A jobb oldalon láthatjuk, hogy a gép kiszámolta nekünk a darabunk kontúr hossza alapján az 1 munkadarab kivágásához szükséges időt, ami 2 perc 16 másodperc. Ebből 56 másodperc csak a vágás időtartama, körülbelül 7-11 másodperc az átlövés ideje (2 szer történik meg, mivel a vágást nem a tábla szélénél kezdtük el és van egy furatunk az alkatrészben). A maradék idő a láng begyújtása, a pozícionálás, letapogatás és a gyorsjáratú időt foglalja magába.

Vágás utáni hulladék:



19. Lángvágás utáni hulladék

A kiesett darabot hagyni kell kihűlni. Mivel a lángvágás termikus vágási eljárás, a darabot nagyon magas hőhatás éri, ezért vágás után még izzik az alkatrész. Miután lehűlt a munkadarab, elkezdhetjük az alkatrész vizsgálatát, először csak szemrevételezéssel, majd mérésekkel.

Három különböző vágósebességgel kivágott alkatrészt gyártattam le, ugyanazzal a vágógéppel, gázkeverékkel, csupán a vágási sebességeket változtattam.

- A normál, mindennap használt paraméter beállításokkal 360-400 mm/perc sebességgel kivágott alkatrészt
- A vágási sebességet lejjebb vételével 200mm/perccel készült alkatrészt
- Végül pedig a gyors 700 mm/percre beállított lángvágó gép által kivágott darabot.

A vágás során a legnagyobb akadályt a gyors vágási paraméterrel beállított darab kivágása jelentette. Olyan gyorsan vágta a gép a darabot, hogy mire végig ért a vágás, kosz felverődés miatt a láng által éppen hogy csak átvágott kontúr a vágás végére összeforrt, visszakeményedett az anyag és nem vált el formájától. Újra kellett azt az oldalt vágni, aminek eredménye a rossz vágási minőség a darab egyik oldalán, ami a 20 képen látható.



20. Probléma a vágás közben és után

A mérések elvégzése ezen az oldalon nehézkes a vízszint beállítása és a mérőfej megsértése miatt, csak alátámasztásokkal oldható meg.

4.2. Plazma dokumentáció

A darab kiadott munkalapját a plazmavágó gép kezelője itt is szemügyre veszi, ellenőrzi, és ha a G-kód és a rajz alapján a befoglaló méretek egyeznek, akkor az alábbi kezelőpanelen beállítják először a tömeggyártásnál használt normál vágási paramétereket, köztük a vágás sebességét.

A plazmavágó gépnél található beállító panel nagyon hasonlít a lángvágó gépnél lévőhöz, csak kicsit egyszerűbb kivitelben, értelemszerűen nincs vágó oxigén, vagy gázkeverék százalékos beállítási opciója.



21. Plazmavágógép paraméter beállítási panelja

A telephelyen lévő plazmavágógép rendelkezik egy vízzel teli káddal, ami elnyeli a füst nagy részét vágás közben. A keletkező, szennyezett vízgőz miatt a megfelelő munkakörülmények biztosítása érdekében méretezett helyi elszívást vagy nagy légcsereszámú helyiség szellőzést kell kiépíteni, amely növeli a technológia járulékos költségeit.

A vágás végeztével a darabunk még a hulladékban marad (befutási, kifutási pontoknál összeér a munkadarab a hulladékkal). Ilyenkor a kezelő egy kapalapács segítségével üti ki a hulladékból és esik bele a kádba, ahol le tud hűlni.



22. Plazmavágás utáni hulladék, kontúr

Plazmavágás után, a darabon nem látunk olyan nagy ömledék, sorja darabokat, mint a lángvágásnál. Itt is jelen van, de meglehetősen szebb alkatrészt eredményez ez a vágási technika.

Ahhoz, hogy később felületi érdesség mérési paramétereket és összehasonlítást tudjunk vizsgálni a vágási sebességeket csakúgy, mint a lángvágásnál, átállítottam.

A normál 1000 mm/percről 700 mm/percre csökkentem, majd 1300 mm/percre növeltem a vágási paramétereket.

A problémát a vágásoknál az jelentette, hogy a plazmavágó gép rendkívül nagy hanghatással vágta le a darabokat. Ez a lassú vágásnál jelentett nagyobb problémát, mivel hosszabb ideig tartott a zajterhelés (munkavédelmi okokból kötelező a megfelelő csillapítású fülvédő használata). Gondot jelentett még a keletkezett füst, ami a vágási folyamat közben akadályozta a dokumentációhoz szükséges képek készítését.

A fentebb ismertetett eljárásokkal készítettem el a három plazma- illetve három lángvágási technológiával az alkatrészeket.

5. MÉRÉSEK

Mérések során azt vizsgáltam, hogy a különböző vágási sebességek állításával hogy változik a vizsgált darabok vágási minősége. Az első alkatrészeket mindkét gép esetén a paraméterek átállítása nélkül, a tömeggyártásnál használt adatokkal vágattam ki. Ezek a darabok a normál vágással készült alkatrész nevet kapták.

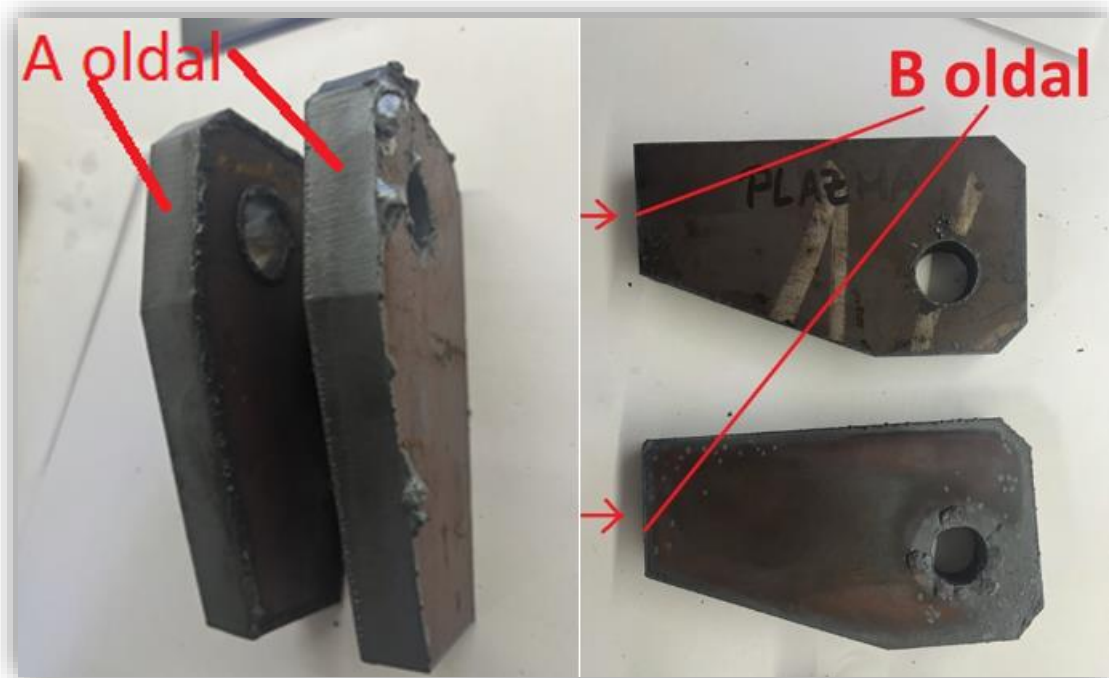
Aztán elkezdtem csökkenteni, illetve növelni a vágási sebességeket, más paramétert nem állítottam át.

Lángvágás esetén az alkatrész normál 300 mm/perces vágási sebessége helyett, 150 mm/perccel vágattam ki a darabot, ezt neveztem el lassú láng darabnak. Végül pedig 500mm/percre állítottam át a sebességet, és az ezzel a paraméterrel levágott darab a gyors vágási nevet kapta.

A plazmavágott alkatrészeknél is így jártam el, csak a beállított sebességek változtak. Az 1000mm/perc normál vágó sebességet csökkentettem 400mm/perc-re, ez lett a lassú plazmavágott darab, majd 1500mm/perc-re növeltem és ez lett a gyors plazmavágott darabom.

Ennek eredménye képpen három-három, tehát 6 darab alkatrész vizsgálatával fogok a következőkben foglalkozni.

Az egyetem laborjában a MITUTOYO felületi érdesség mérőgép segítségével a darabok két kiválasztott oldalán lévő mért értékeket hasonlítottam össze. Az összes alkatrész mérésére az alábbi két vágási felületeket választottam.

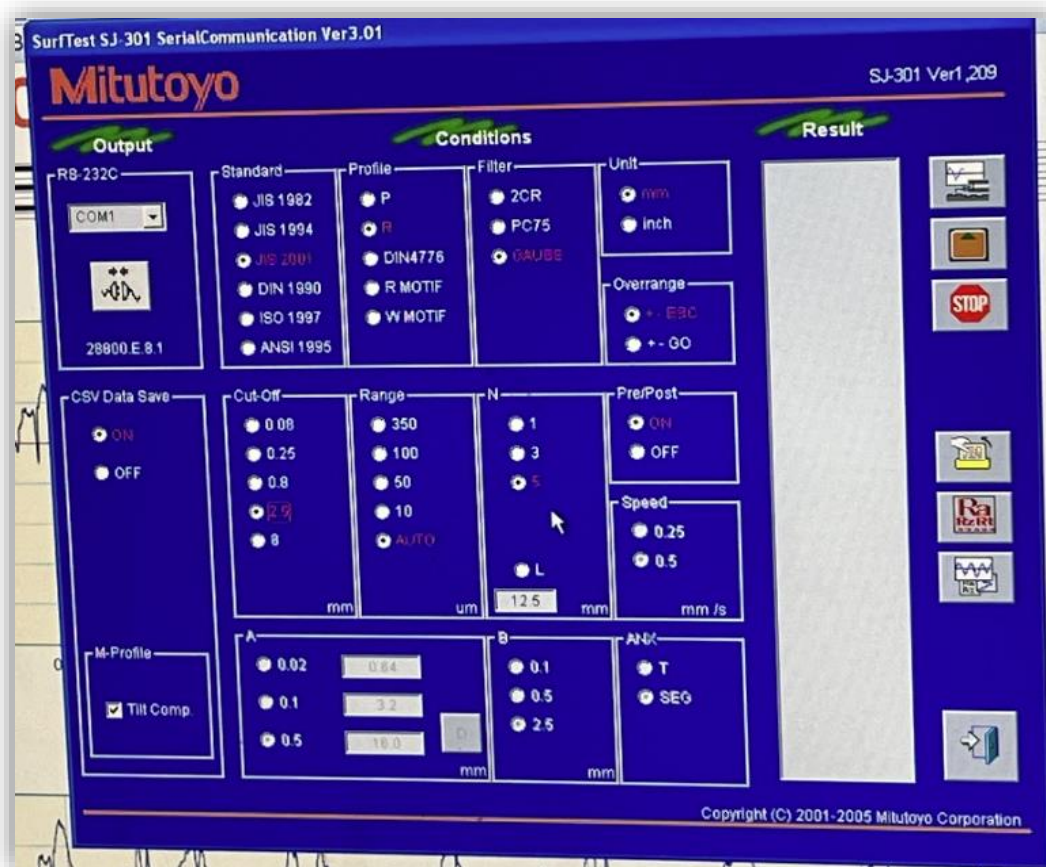


23. A illetve B oldal, ahol a mérések során a tapintóval érdességet mértem

A mérés során a láng- és plazma vágott munkadarabok bemeneti oldalától haladva a kimenő oldalig 2 milliméterenként ismételt meg a mérést 5x.

Mérés menete:

- felhelyeztem a mérőasztalra a darabot, a mérendő felületet vízmérték segítségével vízszintbe állítva.
- a felületre óvatosan ráengedtem a gyémánt-mérőfejet, hogy a nyomás mértéke a mérőgépről leolvasva középértéken legyen.
- elindítottam a felületi érdességmérő programot és a hozzá tartozó Microsoft Excel táblát.
- A 24. képen látható kezelőpanel segítségével beállítottam azt a felületi érdességi tartományt, aminek, a darabnak meg kell felelnie a vágás után (a mérőgéphez tartozó táblázatból kiolvasva)
- és a mért hosszat (5-10 mm), amin a mérőműszer végigmegy a mérés során.



24. Mitutoyo felületi érdességmérő program paraméter beállító panelja

— elindítottam a start gomb segítségével a mérést. Nem szabad a mérés közben a mérőasztalt fizikai behatásnak, rezgéseknek kitenni (pl. ajtócsapódás, villamos, stb.).

Többször előfordult, hogy nem tudtam a sorja és a rátapadt salak miatt teljesen vízszintbe állítani a mérendő felületet, és így a tapintófej egy szakaszon nem ért hozzá az alkatrész felületéhez, ezért a mérőgép hibára futott. Ilyenkor új, módosított alátámasztásokkal megismételtem a mérést..

Abban az esetben, amikor sikerült a vízszint beállítása a felületen, a mérőgép a gyémánt mérőfejet 5,6 mm hosszúságban, amit vontatási hosszának nevezünk, végig húzta a darab kiválasztott oldalán. A beállított felületi minőségtől való eltérés mértékét vizsgálta a mérőgép és az eredményeket egy Excel táblában értékelte ki, emellett grafikonokon ábrázolta.

6. MÉRÉSI ADATOK KIÉRTÉKELÉSE

Vizsgált tulajdonságok:

- A felület, vágási minőség
- felületi érdesség,
- kúposság
- a felső felületi réteg alatti tulajdonságok.

A megkapott mérési adatokat a következőkben elemeztem. Mivel a mérőgép kiértékelte a felületi érdességi mérésből származó átlagos érdesség (Ra) és egyenetlenség magassági (Rz) értékeket mikrométerben megadva, amikkel dolgozni fogunk, ezeket az adatokat táblázatba szedtem, és diagrammokat készítettem, amikből következtetéseket tudtam levonni a két termikus vágásfajta összehasonlítására.

Ra												
	Plazma						Lángvágás					
	A oldal			B oldal			A oldal			B oldal		
mm	lassú	normál	gyors	lassú	normál	gyors	lassú	normál	gyors	lassú	normál	gyors
2	10.74	3.29	2.81	16.18	3.59	5.23	4.18	8.92	4.02	7.97	7.25	4.39
4	8.19	2.53	2.54	20.98	3.87	4.87	4.93	7.62	6.04	8.77	7.00	4.77
6	13.43	3.08	2.71	19.85	3.78	7.93	4.84	11.63	9.93	4.82	8.20	7.71
8	12.22	3.02	2.70	14.75	3.72	4.86	6.95	10.33	7.15	5.81	7.40	5.51
10	7.51	3.05	3.55	17.37	3.30	5.81	4.99	9.43	5.36	4.55	6.33	5.76

Lassú, normál, gyors a vágási sebességeket jelenti

25. Ra adatokat tartalmazó Excel táblázat

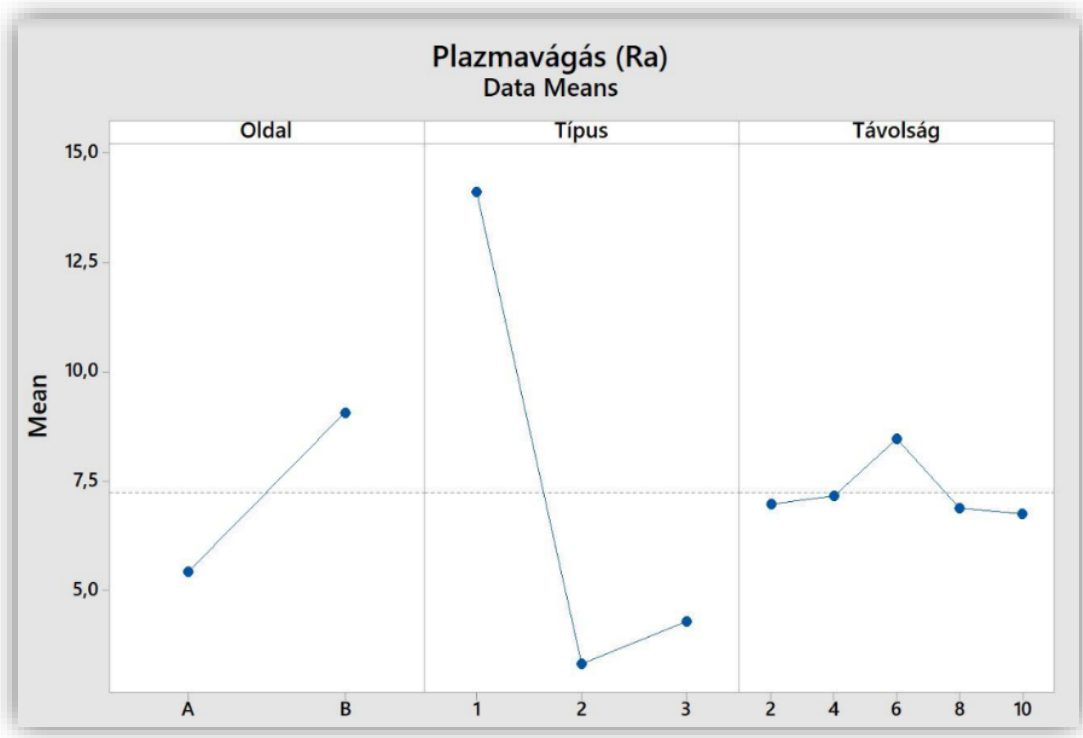
Rz												
	Plazma						Lángvágás					
	A oldal			B oldal			A oldal			B oldal		
mm	lassú	normál	gyors	lassú	normál	gyors	lassú	normál	gyors	lassú	normál	gyors
2	71.83	18.57	26.11	72.05	22.46	29.22	40.02	57.88	23.59	49.50	50.16	34.05
4	48.13	15.50	20.68	104.82	24.69	30.72	22.81	53.78	54.38	47.60	37.47	38.53
6	83.76	18.59	16.02	100.21	19.53	34.80	24.37	58.17	71.89	28.14	46.86	58.82
8	80.91	20.91	18.80	69.08	20.43	26.34	36.20	60.76	58.75	28.88	41.47	46.52
10	47.82	18.56	26.12	87.60	29.86	21.99	34.06	55.23	50.52	28.73	33.74	50.73

26. Rz adatokat tartalmazó Excel táblázat

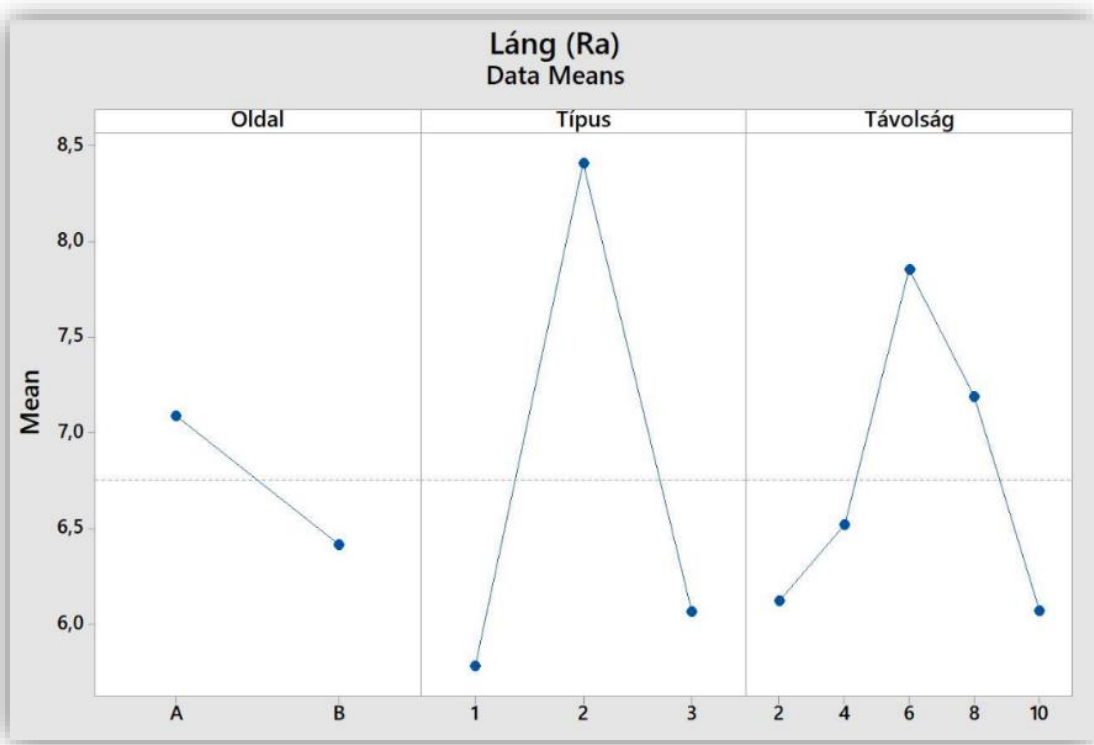
Az eredmények rendszerezése segített a MiniTab program használatában, az eredmények alapján lehetett elkészíteni a fő hatás ábrákat.

A grafikonokon látható, hogy az egyes változó paraméterek (technológia, vágásiparaméterek, távolság) milyen hatással voltak az átlagos érdesség és az egyenetlenség magasságának értékekre, továbbá próbáltam vizsgálni az Rz/Ra viszonyt.

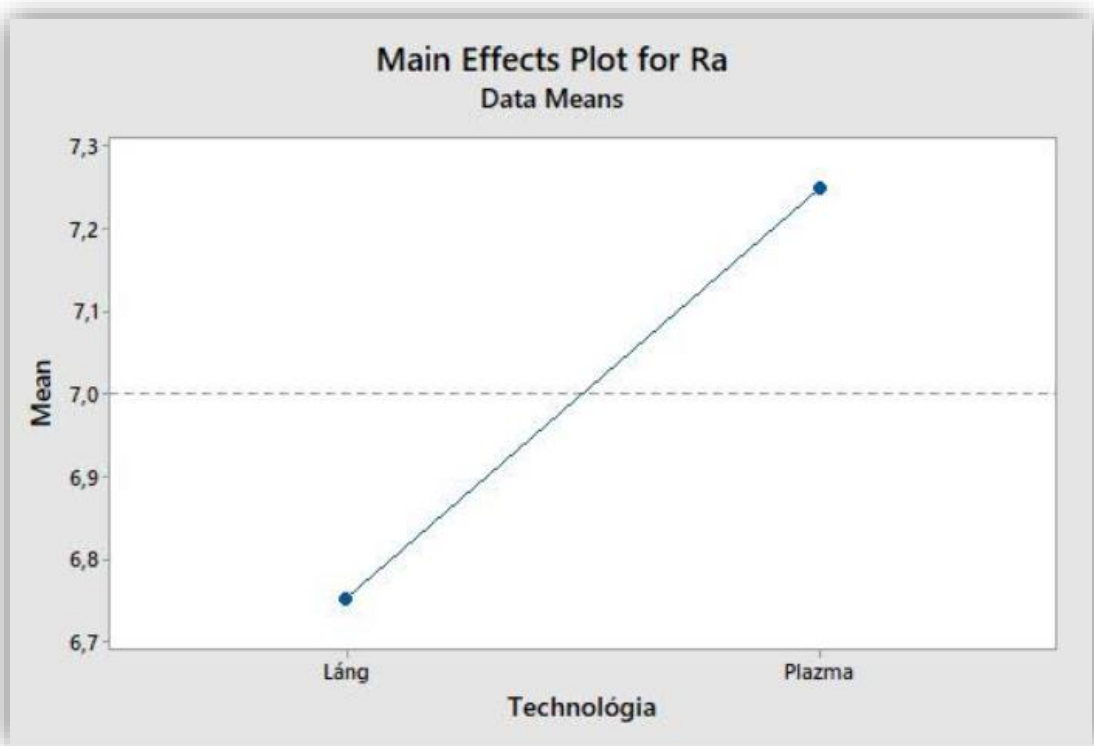
A következő ábrakon a láng- és plazmavágási alkatrészek Ra és Rz értékeit láthatjuk külön-külön is, és mindkét vágás típus értékeit egy, közös grafikonon. Ezek alapján a grafikonok és az ezekhez kapcsolódó értékek alapján vontam le következtetéseket, amit a diagrammok után ismertetek.



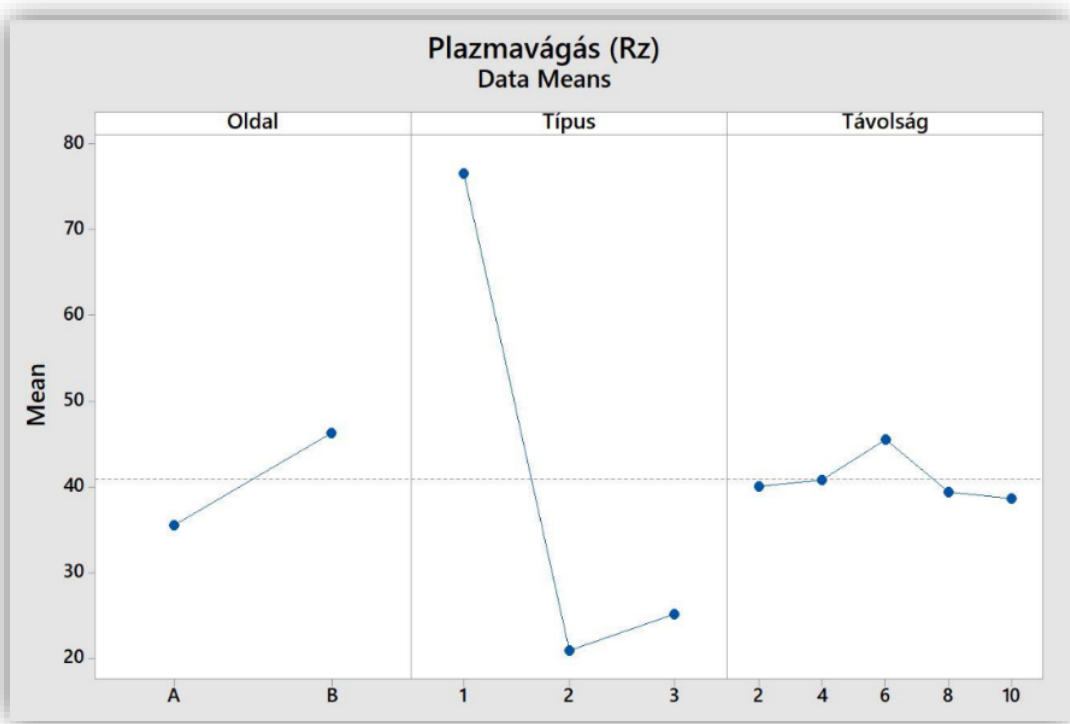
27. Plazmavágás Ra összegző grafikonja



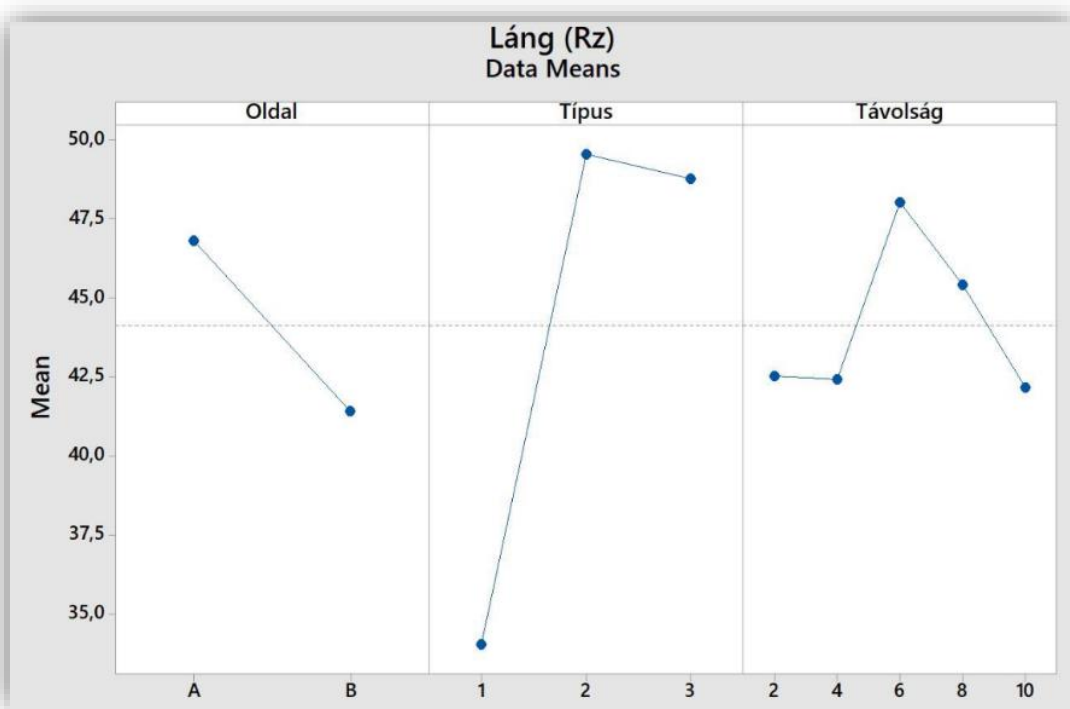
28. Lángvágás Ra összegző grafikonja



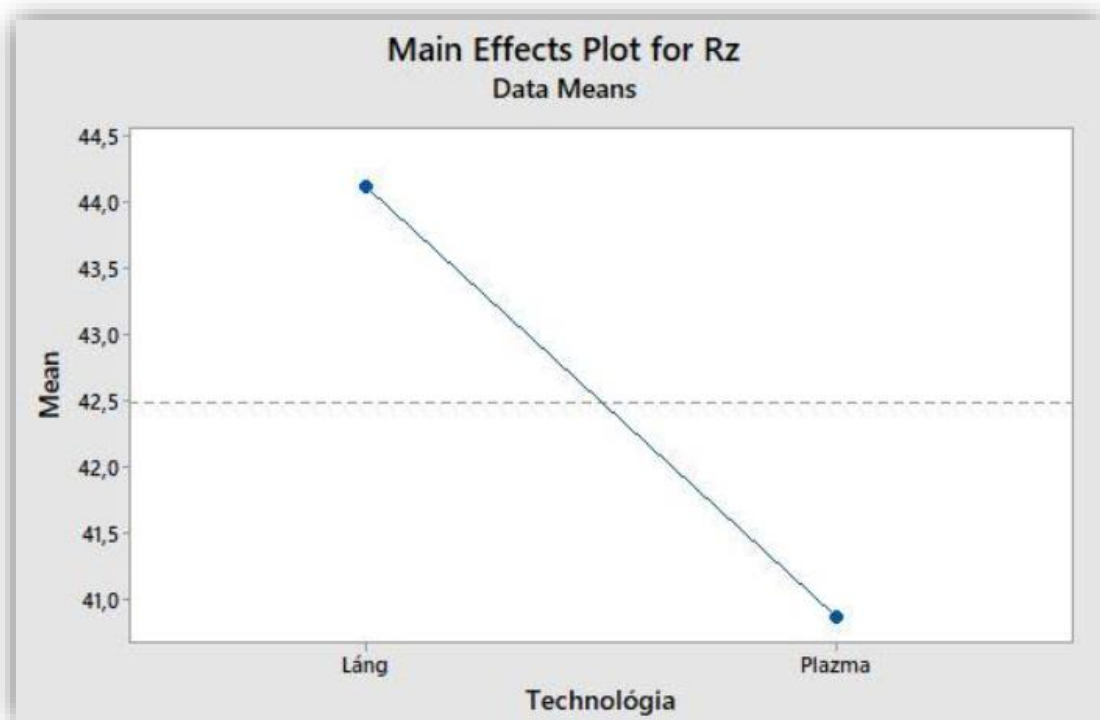
29. Ra Lángvágási értékek összegző grafikonja



30. Plazmavágás Rz grafikonja



31. Lángvágási alkatrészek Rz grafikonja



32. Rz plazma és lángvágási összesített grafikonja

Az adatok és az ábrák alapján megállapítható, hogy a lassú vágási sebességgel beállított plazmavágógép hozta a legrosszabb felületi, vágási minőséget a plazma darabok közül.

Meglepő eredmény, hogy a lángvágott alkatrészek közül a normál vágási sebességgel kivágott darabnak volt a legrosszabb felületi érdessége. Ez sok kérdést felvet, és egy lehetséges mindennapi hibára hívja fel a figyelmet, amit munkahelyemen jeleztem, mivel ennek a mérésnek, összehasonlításnak a tudatában a tömeggyártásra használt lángvágógép vágási sebesség paraméterén lehetséges, hogy változtatni kell. Viszont lehet, hogy a mérési pontatlanság, vagy a lángvágó gépkezelő hibájából keletkezhetett ez a következtetés. Ez is jól mutatja a szükséges ellenőrző mérések, a gyártástechnológia során a minőségvédelmi előírások betartásának fontosságát. Ezek betartása megelőzheti a nem megfelelő munkadarabok legyártását, káreseményeket.

A plazmavágásnál a B oldal, a lángvágási daraboknál pedig az A oldal hozott jobb felületi érdességet, ami a programírás közben elhelyezett beszúrásokkal és kimenetekkel magyarázható.

Végül pedig elmondható, hogy a lángvágásnál jobb az Ra érték, viszont a plazmavágásnál az Rz értéke megfelelőbb. Felvetődhet, hogy azért jutottunk erre a következtetésre, mivel kevés adattal dolgoztunk. Ezért nagyon fontos a gyártástechnológia, az erre vonatkozó belső technológiai és minőség-ellenőrzés megfelelősége. Túl sok mérési pont nem ad pontosabb adatot, túl kevés esetén átsiklunk a gyártási hibák felett.

Az adatokat és a grafikonokat elnézve megállapítható, hogy nagy különbségek nincsenek a két technológia között, Ra értékben csupán 0,5 μm , Rz értékben pedig 3 μm a különbség, mutatva a választott anyagvastagságnál a két vágási technológia közötti hasonlóságot. Ilyen esetben a vágás költsége dönti el a megfelelő technológia használatát.

Általánosságban a mérések is azt bizonyítják, hogy a darabok bemeneti és a kimeneti oldalához közel van a legrosszabb felületi minősége a vágásnak. Ha sorrendbe szeretnénk állítani, akkor a bemeneti oldalról a darab közepéhez haladva, az első mérési ponttól a 3. mérési pontig egyre jobb a vágás minősége, aztán a 3. ponttól az 5. pontig, a kimenő oldalig egyre rosszabb. Tehát a legjobb felületi érdesség a darab közepén mérhető, míg a legrosszabb eredmény a középponttól kifelé haladva a darab bemeneti és kimeneti, tehát az első és az ötödik mérési pontnál látható.

6.1. Furatképek vizsgálata

A három-három levágott munkadarabom furat képének összehasonlítását a 33. kép segítségével vizsgáltam meg, a következtetések levonásához nem használtam mérőgépet. A leghaladva a leggyorsabb vágási sebességig, fentről lefelé haladva láthatjuk a munkadarabokat.



33. Első oszlopban a plazmavágási, második oszlopban pedig a lángvágási darabokat láthatjuk

Amint szemrevételezzük a darabokat, az ovalitás és a nem megfelelő furatkép az egyes daraboknál szemmel látható. Megfigyelhető, hogy a plazmavágással kivágott furatok alakhűbbek a lángvágott társaiknál, vágási sebességtől függetlenül. Szabályosabb, persze nem tökéletes furatokat láthatunk.

Minél több furat van egy darabon, annál oválisabbak a furatok, hiába optimálisak a vágási paraméter beállítások. Esetünkben szerencsére csak egy furat van az alkatrészeinkben, de abban az esetben, ha több a furat, például egy rosta esetében, láthatóvá válik a darabon lévő furatok különbözősége. Ennek oka a vágógép fűvókájának, vágószerszámának a folyamatos lyukasztás és vágás következtében létrejövő szerszámkopás, koszolódás.

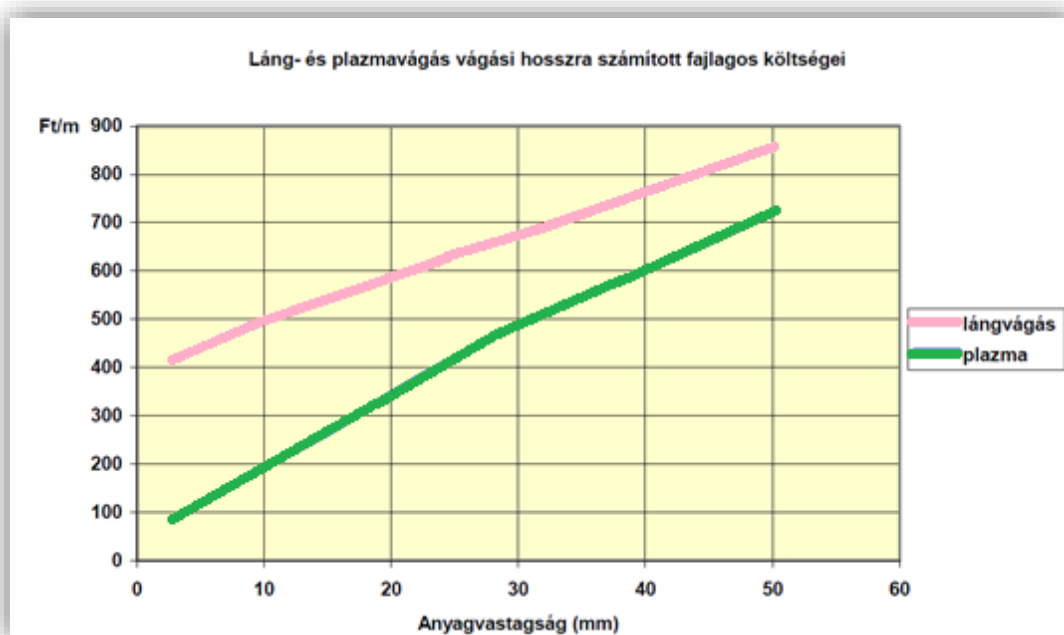
Összegezve, a plazmavágással vágási sebesség lassításával és gyorsításával is szebb furatokat kapunk 15 mm-es anyagvastagságnál, mint a lángvágás során.

7. VÁGÁSSAL JÁRÓ KÖLTSÉGEK ÖSSZEHAISONLÍTÁSA

A vágógépek vételárában, üzemeltetésében, karbantartásában, gáz költségében és a vágóalkatrész költségeiben is jelentős különbségeket figyelhetünk meg a két termikus vágás összehasonlításakor.

Amikor termikus vágásról beszélünk, a beruházási költségek szemléltetése végett a lézervágási technológiát is meg kell említeni, amit az első fejezetben már megemlítettem. A Beruházás költségeket kiértékelve legdrágább berendezéssel rendelkező termikus vágási technológia a lézervágás. Hozzá képest a legolcsóbb a láng, utána pedig a plazmavágó berendezés vételára. Jelenlegi piaci ára az általam használt lángvágó gépnek 20 millió forint, ezen az áron egy 2500x6000 mm-es vágóasztallal rendelkező gépről beszélhetünk. Hasonló méretű vágóasztallal rendelkező plazmavágógép ára eléri a 70 millió forintot, de a kiértékelésből látni, hogy jobb vágási minőséget értünk el ennél a vágási technológiával, mint a lángvágással. A lézer vágógép ára, 150 millió forinttal még a vízvágógép árán is túltesz, ami 100 millió és 110 millió forint között mozog.

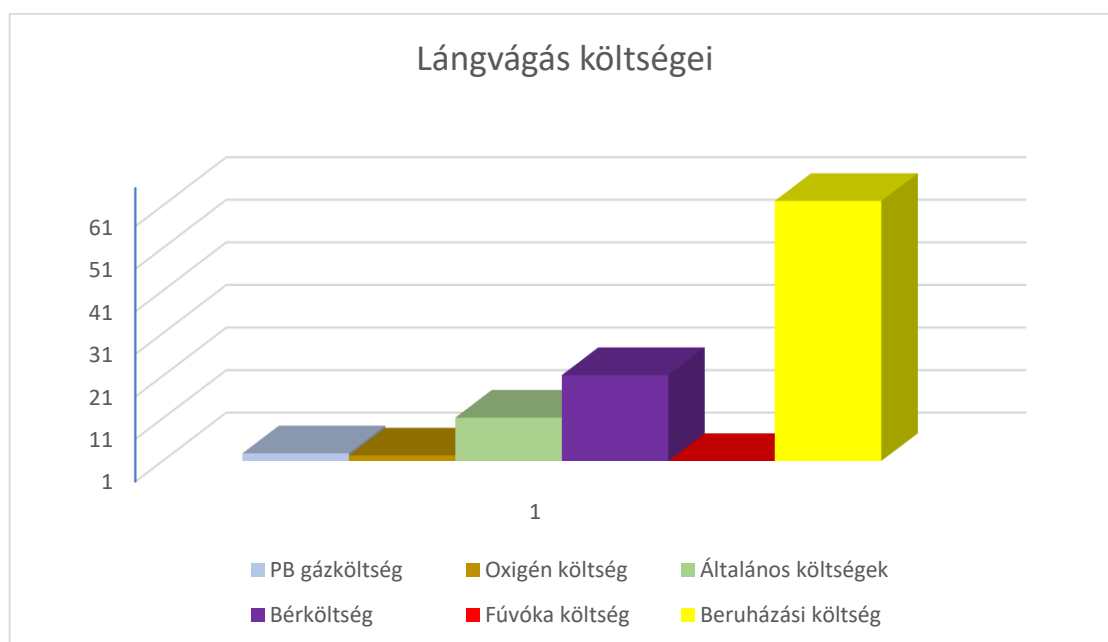
Amikor azt is vizsgáljuk, hogy a költség hogyan változik az anyagvastagság és a fajlagos költség figyelembevételével, az alábbi eredményeket kapjuk.



A grafikon függőleges tengelyén a forintos árát figyelhetjük meg a kivágott alkatrészeknek, méterenként. A vízszintes tengelyen pedig ehhez a Ft/m es árhoz tartozó, anyagvastagságnöveléssel járó értékek.

A mérések során a felületi érdességek összehasonlítása végett átállított vágási sebességek miatt, a vágásnak nem csak a minősége, hanem a vágással járó költségek is jelentősen változhatnak a felhasznált oxigén, áram mennyisége és az alkatrész élettartamának változásai miatt.

A 36. ábrán a lángvágógép költségeit láthatjuk, arányaiban egy-egy munka darab kivágása esetén. A függőleges tengelyen százalékos arányban láthatjuk a költségeket. A beruházási költséget már ismertettem a fentebb, ennek alapján vissza lehet számolni a százalékos arányokat.



35. Lángvágás költségei [3]

Megfigyelhető, hogy a gépet működtető PB gáz, oxigén költség, illetve fúvóka költség elenyésző értékű a beruházási költséghez képest. De ha belegondolunk, hogy a gépet csak egyszer kell megvásárolnunk, a többi költség pedig visszatérő, úgy már a költségeket összeadva, az üzemeltetés nem is olyan elenyésző összeget képvisel.

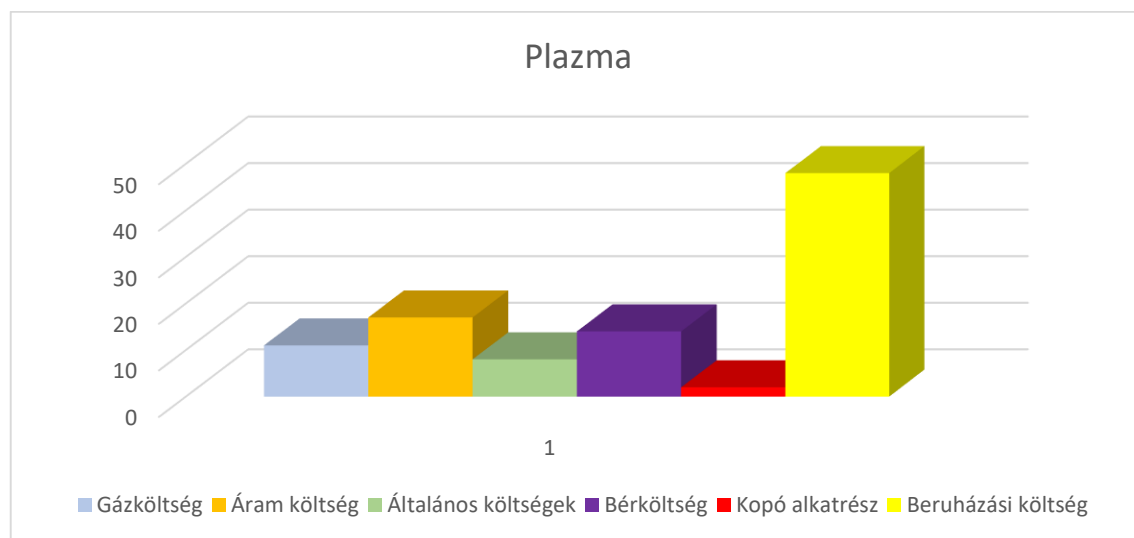
Vegyük például a kutatás céljából kivágott alkatrészeinket. Egyenként a darabok kontúrhossza 359.33 mm, amit az 150 mm/perc, lassú lángvágási beállítások mellett a

gép, 143,73 másodperc alatt vág ki. Ez csak a tisztavágási idő, a gyorsjárat és a lyukasztás nélkül. Ha figyelembe vesszük az egyéb beállítási időket, akkor a vágás teljes időtartama körülbelül 20-30 másodperccel növekszik, de ez az összes paraméter beállításnál, tehát csak a tiszta vágási időket hasonlítom össze.

Ezekhez az értékekhez képest, normál paraméterbeállításoknál lángvágás esetén, a vágási idő 300 mm/perc beállításnál ugyanezzel a kontúrral rendelkező darabot, már csak 71,866 másodperc tiszta vágás jellemzi. Tehát a gép kb. dupla annyi ideig dolgozik 1 db alkatrészen a lassú vágási sebesség beállításokkal, mint a normál paraméterek esetén, ez kétszer annyi oxigént, gázköltséget jelent.

Ez 3 db alkatrész esetén már jóval megnövelheti a vágás költségét, és ez kis mennyiség. A mai energia árak mellett törekednünk kell a minőség és a termelékenység összehangolására. Viszont nem mehet a minőség romlására a gyorsabb kivágás, de ugyanakkor nem lehet túl lassú sem, a gázköltségek, energia árak miatt.

A 37. ábrán a plazmavágógép költségeit figyelhetjük meg.



36. Plazmavágás költségei [3]

A grafikonon jól látható, hogy itt már a költségek értékei a lángvágáshoz képest drágábbak a plazmavágásnál, viszont ahogy azt az előző fejezetben láthattuk a kivágott munkadarabok között, a vágási sebességektől függően szebb vágási minőséget kaptunk, mint bármelyik lángvágott darabnál.

Mint a lángvágó gépnél itt a gáz költség mellett a kopó alkatrész és az áram költsége az, amit az üzemeltetés során kell kifizetnünk.

A három plazmavágott darabomnál a kontúrhossz 362,87 mm, amit a plazmavágó gép normál, tömeggyártásnál használt paraméterbeállításainál (ami 1000mm/perc vágási sebesség) 21,77 másodperc alatt vág ki.

A vágási sebesség csökkentésénél (700mm/perc sebességnél) 31,10 másodpercre nő a vágás időtartama, ami a felhasznált áramot 142 százalékkal növeli. Habár ez az időkülönbség nem tűnik számottevőnek, ez a szám több alkatrész esetén jelentősen megemelheti a villanyszámlát, főleg a mai energia árak mellett.

Azt is vizsgáltam, mi történik, ha csökkentenénk a vágás idejét, ha 1200 mm/perc alatt kivágnánk az alkatrészt. Így jelentősen csökkenne a vágás ideje 18,14 másodpercre alkatrészenként, viszont itt van az a nagy, DE. A vágás minőségének a romlása jelentősen változik ennél a paraméterbeállításnál.

Tehát mindent összevetve lehet, hogy sok energiát és pénzt spórolnánk a vágási idő csökkentésével plazmavágás és lángvágás esetén, viszont mind az idő lassításával, mind a gyorsításával az alkatrész felületi, vágási minőségének a romlását tapasztaljuk.

Kivéve érdekes módon a mérések során a normál lángvágási paraméternél tapasztalt adatokat. Ennél az esetben a normál vágási sebességbeállításnál hozta a darab a legrosszabb vágási minőséget, amit munkahelyen belül érdemes jobban megvizsgálni. Ezek az adatok eredményezték az üzemben a gyártástechnológia a szállított alapanyag minőségének ellenőrzését, a műbizonylatok vizsgálatát és a beállított paraméterek felülvizsgálatát, a kezelő személyzet munkájának, a műveletsornak az ellenőrzését, amelynek eredményeképpen a probléma megszűnt.

A mérések és a költségek összehasonlításától függetlenül a normál időparaméter beállításnál a mérések és a költségek tekintetében kiderült, hogy nem szükségszerű állítani a cégnél beállított normál vágási paramétereken. A hiba megszűnt, pontos okáról nem kaptam tájékoztatást.

A fent említett tényleges költségeken kívül, az egyéb költségek számszerűsítését, tehát a valódi számok, költségek üzleti titkot képeznek, ezért nem engedélyezett feltüntetni.

8. ÖSSZEGZÉS

Szakdolgozatom során bemutattam az egyes termikus vágásokat és a különböző vágósebességekkel elért felületi minőségek alakulását, főleg a láng- és plazmavágást részletesen, költségekkel, de kitértem még egyéb vágási technológiákra az összehasonlítások végett. Igazoltam a vágósebességek állításával a felületi minőségek romlását. Azt, hogy melyik vágási technológiát használjuk, az alkatrészünktől függ. Mind a láng, mind a plazmavágási technológia a mai napig tökéletes és sok helyen alkalmazható vágási technika.

Célszerű a plazmavágást használni abban az esetben, amikor rozsdamentes acélokat kell vágatni, amikor a munkadarab körvonala nem túl bonyolult, és a kért darabot közepes vastagságú lemezből kell kivágnatni, gyorsan és nagy termelékenységgel. Ha a darab megengedi az 1-2 százalékos merőlegetől való eltérést, és mérettűrése a $\pm 0,3$ mm eltérést megengedi, akkor érdemes még ezt a termikus vágási eljárást választani.

Ha a másik technológia, a lángvágás mellett döntenénk, akkor javasolt, ha a darab vastagabb, szerkezeti acél. Kontúrját tekintve egyszerű, mérettűrése pedig nagyobb eltéréseket bírjon el, mint a plazma vágás esetén. Nem utolsó sorban, pedig tisztában kell lenni a hőhatásövezettel, hiszen egy termikus, magas hőmérsékleten végbemenő folyamatról beszélünk, ahol a darabot nagyon magas hőmérséklet éri.

Abban az esetben, amikor egyik, fent említett technológia sem felel meg elvárásainknak, marad a lézervágás, és a vízsugaras vágás, amiknél a minőség és a pontosság $\pm 0,1$ mm- $0,3$ mm tűréshatáron mozog, tehát nagyon pontos vágási típusok. Viszont a lézer technológiánál csak vékony lemezből lehet alkatrészt kivágni, de bonyolult körvonallal rendelkező alkatrészeket gond nélkül, kis átmérőjű furatokkal együtt. A vízvágásnál pedig olyan egyedi anyagminőségű (tükör, csempe stb.), szintén bonyolult kontúrral rendelkező darabokat, ahol a darabot nem érheti magas hőhatás, és szigorú tűréseknek kell megfelelni. Ezekkel a technológiával részletesen nem ismerkedtem meg gyakornoki időm során, mivel a munkahely nem foglalkozik lézervágással, a vízvágó gép működését idő hiányában most fogom elkezdni tanulni.

Dolgozatom során igyekeztem a plazma és a láng vágási eljárások részletes bemutatására, illetve a vágások költségeinek és a hozzájuk tartozó vágási minőségeknek a bemutatására, összehasonlítására.

A mérések azt bizonyítják, hogy milyen minőséget lehet elérni a vágási sebességek módosításával, és egy nagyon lassan kivágott munkadarab nem éppen eredményez pontosabb, szabályosabb vágást, emellett költséghatékonysági szempontjából sem előnyös. Azt feltételeznénk, hogy a lassabb vágás pontosabb, de ez a technológiából adódóan nem így van. Megmutattam, hogy a technológiában meghatározottnál kisebb sebességgel kivágott plazma illetve lángvágott munkadarab vágásfelületi minősége nem éri el azt a szintet, mint a gyorsabban, normál sebességgel kivágott társáé.

A lángvágási és plazmavágási pénzszükségleteket összehasonlítva betekintést nyertünk ezeknek a termikus vágási eljárásoknak a fenntartási és beruházási költségeibe, a géptől a vágószerszámon át a gáz és áram költségekbe.

A 38. táblázatban összefoglalva láthatjuk a különböző vágásokkal járó költségeket.

Eljárás	Lángvágás	Plazmavágás
Beruházási költségek	kicsi	közepes
Üzemeltetési költségek	relatív alacsony, gázfelhasználás nagy	kicsi-nagy, függ a plazma fajtájától, az alkalmazott gázoktól
Karbantartás	egyszerű, üzemben elvégezhető	mérsékelt, sok javítás helyben végezhető
Biztonsági teendők	kicsi, elszívás kell	mérsékelt, nagy teljesítményű elszívás, operátor optikai védelme
Pozicionálási sebesség	lassú	közepes
A vágásfelület minősége	megfelelő	megfelelő
Pontosság	1 mm	0,25 mm
Tipikus vágási szélesség	3-6 mm	1-6 mm
Vetemedésmentesség vágás közben	korlátozottan jó	korlátozottan jó
Vágható anyagok	csak szénacél és titán	minden villamos vezető anyag *

Úgy gondolom, hogy a költségek és a felületi minőség tekintetében sem mindegy milyen anyagminőségből vagy vastagságból szeretnénk kivágni egy alkatrészt, fontos utána járnunk az anyagok tulajdonságának, melyik anyagból érdemes kivágnunk a darabot, milyennek kell lennie, milyen igénybevételeknek tesszük majd ki.

A 39. ábrán összegyűjtöttem, hogy milyen anyagot milyen technológiával javasolt vágni, ami összefoglalja azokat a gyakran használt anyagokat, amikről részletesen beszéltem dolgozatom során.

<i>Vágható anyagok</i>	<i>Láng</i>	<i>Plazma</i>	<i>Víz</i>	<i>Lézer</i>
Szénacél	X	X	X	X
Rozsdamentes acél		X	X	X
Lágyvas	X	X	X	X
Aluminium		X	X	X
Titánium		X	X	X
Króm és Kobalt ötv.		X	X	X
Réz		X	X	X
Bronz		X	X	X
Cink		X	X	X
Plexi			X	X
Polikarbonát			X	
Habosított anyagok			X	X
PVC			X	
Pet			X	X
Egyéb műanyag			X	X
Gumi			X	
Fa			X	X
Márvány, Műkő			X	
Gránit			X	
Üveg			X	

38. Milyen anyagoknál, milyen vágási technológiát használjunk segéd táblázat

Jelenleg is a Sebestyén lángvágó kft-nél dolgozom, műszaki programozóként, ahol nagyon sok mindenben lehetett részem, különböző kihívásokkal kellett szembe néznem, új embereket ismerhettem meg, és hálás vagyok cégnek a sok tapasztalatért, segítségért mind a szakdolgozat megírása közben, mind a mindennapi életben, a sok támogatásért és remélem, még sokáig részese lehetek ennek a kis családnak.

Külön szeretném megköszönni belső konzulensemnek, Bíró Szabolcs Tanár Úrnak a fáradhatatlan munkáját, azt a sok iránymutatást, ami segítette ennek a dolgozatnak az elkészülését.

9. ÁBRAJEGYZÉK

1. Plazmavágógép munka közben.....	3
2. Vágófúvókák gépi lángvágáshoz [2]	6
3. Víz alatti vágásra alkalmas vágófej [3].....	7
4. Plazma kialakulása [4]	9
5. Kettős adagolású, vagy két gázos plazmaív [5]	10
6. Vízrel védett plazmaív [5]	11
7. Vízvágási segéd táblázat	15
8. Gépi lángvágási technológia irányértékei propán éghető gázhoz.....	18
9. A lángvágás hibái, nem megfelelő beállítás esetén	19
10. Plazmavágó gépkönyvi metszete	20
11. Plazmavágó áramfelvétele	21
12. Műbizonylat	23
13. Választott darabok kontúrja	24
14. Wrykrys táblakiosztó program táblaparaméter beállítása.....	25
15. Fúvóka be és kimenetelének beállítási panelja	26
16. Táblatervező programba több alkatrész összeforgatása.....	27
17. Lángvágógép munka közben	28
18. Lángvágógép vágási paraméter panelje	29
19. Lángvágás utáni hulladék	29
20. Probléma a vágás közben és után	30
21. Plazmavágógép paraméter beállítási panelja	31
22. Plazmavágás utáni hulladék, kontúr	32
23. A illetve B oldal, ahol a mérések során a tapintóval érdességet mértem.....	34
24. Mitutoyo felületi érdességmérő program paraméter beállító panelja	35
25. Ra adatokat tartalmazó Excel táblázat	36
26. Rz adatokat tartalmazó Excel táblázat	36
27. Plazmavágás Ra összegző grafikonja	37
28. Lángvágás Ra összegző grafikonja	38
29. Ra Lángvágási értékek összegző grafikonja	38
30. Plazmavágás Rz grafikonja.....	39

31. Lángvágási alkatrészek Rz grafikonja	39
32. Rz plazma és lángvágási összesített grafikonja	40
33. Első oszlopban a plazmavágási, második oszlopban pedig a lángvágási darabokat láthatjuk	42
35. Láng-és plazmavágás vágási hosszra vonatkozó fajlagos költségei [3]	43
36. Lángvágás költségei [3]	44
37. Plazmavágás költségei [3]	45
38. Termikus vágások összehasonlítása.....	48
39. Milyen anyagoknál, milyen vágási technológiát használjunk segéd táblázat.....	49

10.FELHASZNÁLT IRODALOM, FORRÁSOK

- [1] <https://www.inoxservice.hu/hu/page/show/vagoeljarasok>
- [2] lángrészt Dr. Gáti József szerkesztette -Hegesztési zsebkönyv-Miskolc 2003 kiadás
Lángvágás 92.o-99.o , Plazmavágás 108.o-112.o, Lézer vágás 113.o-115.o, Vízvágás
116.o-118.o
- [3] <http://www.sze.hu/~nemethgy/hegesztes2.pdf>
- [4]https://www.nive.hu/Downloads/Szakkepzesi_dokumentumok/Bemeneti_kompetenciak_meresi_ertekelesi_eszkozrendszerenek_kialakitasa/5_0240_002_101115.pdf
- [5] <https://docplayer.hu/288982-Termikus-vagasi-eljarasok-osszehasonlitasa-es-kivalasztasi-szemponthajk.html>
- [6] <https://gobertpartners.com/were-can-plasma-be-found>
- [7] Hybrid Machining Theory, Methods, and Case Studies – írta
WenlongChangXichunLuo - 2018, 43.o
<https://www.sciencedirect.com/topics/engineering/light-amplification-by-stimulated-emission-of-radiation>
- [8] <https://gyartastrend.hu/cikk/ipari-lezertechnologiak-melyik-a-jobb>
- [9] <https://precitrack.com/tudasbazis/vizvagas-technologia/>