



ÓBUDAI EGYETEM

Bánki Donát Gépész és Biztonságtechnikai Mérnöki Kar

Anyag- és Gyártástudományi Intézet

Lézeres felületkezelések alkalmazástechnikai vizsgálata szerszámacélokon

**OE-BGK
2016.**

Hallgató neve: **Kovács Bence**
Hallgató törzskönyvi száma: **T003841/FI12904/B**

Tartalomjegyzék

1.	Bevezetés	3
2.	Lézerek alkalmazástechnikai jellemzői, különös tekintettel a felületkezelésre.....	4
2.1	A Lézer.....	4
2.2	Alkalmazott lézerfajták	5
2.3	Lézerek alkalmazása az iparban.....	9
2.3.1	Metrológiai alkalmazás.....	9
2.3.2	Technológiai alkalmazás.....	9
2.4	Lézeres felületkezelési eljárások.....	15
3.	Lézeredzés technológiai vizsgálata szerszámacélokon.....	21
3.1	Kísérlettervezési szempontok.....	21
3.2	Kísérlet paramétereinek meghatározása, kezdeti lépések	22
3.3	Kísérlet során alkalmazott eszközök, gépek	25
3.4	Lézeredzés próbahasábokon.....	34
3.5	Felületi keménység meghatározás.....	35
3.6	Kéregvastagság meghatározás és metallurgiai vizsgálatok.....	38
3.7	Kapott eredmények és kiértékelésük.....	47
4.	Összefoglalás	52
5.	Felhasznált irodalom.....	53
6.	Mellékletek	55

1. Bevezetés

Manapság egyre elterjedtebben alkalmaznak lézereket az alkatrész gyártás területén. Hőenergia forrásaként alkalmas vágási-, hegesztési-, fúrási-, hőkezelési-, jelölési- és felületkezelési eljárásokra. A lézer rugalmas és innovatív tulajdonságai miatt folyamatosan jelennek meg újabb és újabb alkalmazásai. [4],[6],[14]

Számos előnye van a lézerek használatának. A lézernyaláb nem kopik használat közben, rendkívül nagy energiasűrűséget tudunk lokalizáltan, nagy pontossággal alkalmazni, továbbá könnyen automatizálható. Ezek az általánosságban elmondható előnyök, de a különböző alkalmazások során további előnyök merülnek fel. Természetesen a technológia hátrányait is meg kell említeni, ilyen a jelenleg alacsony hatásfok és a relatíve nagy beruházási költség. Ezek a hátrányok a technológia fejlesztésével optimalizálódhatnak. [4],[6],[14]

Jelen dolgozatban a lézeres felületi edzés kerül a középpontba. A kéregedzési eljárásokhoz hasonlóan itt is a felületi rétegben idézünk elő anyagszerkezeti átalakulásokat hőenergia bevitelével, melynek során egy kemény és kopásálló felületet kapunk.

Szakdolgozatomban elemezni fogom a lézerhőkezelés során a kialakult kemény réteg és az edzési sebesség összefüggéseit. Az ipar igényeit figyelembe véve kísérletemet három különböző anyagon végeztem. Ezek az 1.2311 EN számjelű műanyag- alakító -, az 1.2714 melegalakító- és az 1.2767 hidegalakító szerszámacélok voltak.

Kísérleteimet a Budai Benefit lézerhőkezelő üzemében végeztem, ahol biztosították számomra a lézeredzéshez és az eredmények kiértékeléséhez szükséges eszközöket, gépeket és mérőműszereket. A cég mára már a hagyományosnak számító forgácsoló eljárások mellett új technológiák alkalmazásával gyárt hosszú élettartamú, egyedi fejlesztésű alkatrészeket. Továbbá más cégek által készített alkatrészeket élettartam növelés céljából, lézer-edzést és felhegesztést is végez. Gépparkjában megtalálhatunk gépi- és kézi lézerhegesztő-, kézi bevonatoló- és lézerhőkezelő gépeket.

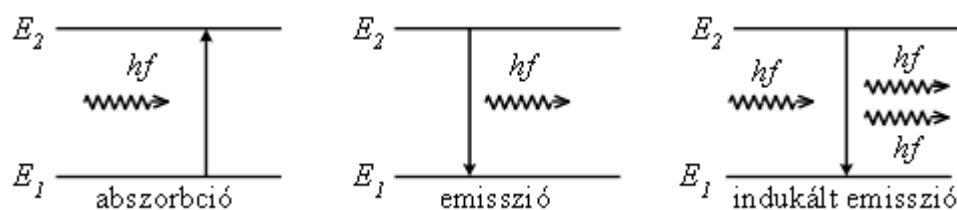
2. Lézerek alkalmazástechnikai jellemzői, különös tekintettel a felületkezelésre

2.1 A Lézer

A lézersugárzás alapjait Albert Einstein tette le, amikor felfedezte az indukált emisszió jelenségét. Az indukált emisszió során az aktív anyag metastabil állapotú atomjait egy külső intenzív fényforrással gerjesztjük, ennek hatására fotonok lépnek ki az aktív anyagból, ezek a tér minden irányába sugároznak, nagy részük az aktív anyag tengelye mentén távozik. A fotonok mozgásuk során beleütköznek a gerjesztett állapotú atomokba, így további emissziót indítanak meg. Vagyis az atomban lévő gerjesztett elektron a minimális energiaállapotra való törekvése során a két energiaszint energia különbségének megfelelő energiájú fotont bocsájt ki. Az így kibocsájtott fotonok további elektronokat stimulálnak, újabb emissziót létrehozva. A foton nem nyelődik el a gerjesztett atomban, hanem folytatja útját. Az indukált foton azonos irányban halad, ugyanakkora a frekvenciája és azonos fázisban van az őt előidéző fotonnal. Ilyenkor „fény erősödésről” beszélünk, mivel két foton halad tovább, ahogy ez az 1. ábrán is látható.

Azonban annak is meg van az esélye, hogy a foton egy nem gerjesztett, alapállapotú atommagot talál el, ilyenkor nem emisszió, hanem abszorpció történik és a kibocsájtott fény gyengül. Ennek elkerülése érdekében inverz populáció elérése a cél, ami annyit tesz, hogy nagyobb számban kell lennie a gerjesztett atomoknak az alapállapotúakhoz képest. Inverz populáció esetén nagyobb valószínűséggel jön létre az indukált emisszió, mint az abszorpció. Ennek elérésére többlet energiát kell pumpálni a rendszerbe.

Lézersugarat akkor kapunk, ha az indukált emisszió egymást követően sokszor létrejön. Az így létrejövő lézersugárban azonos irányban haladó, meghatározott frekvenciájú és egymással megegyező fázisú fotonokat tartalmaz.[1] [2]



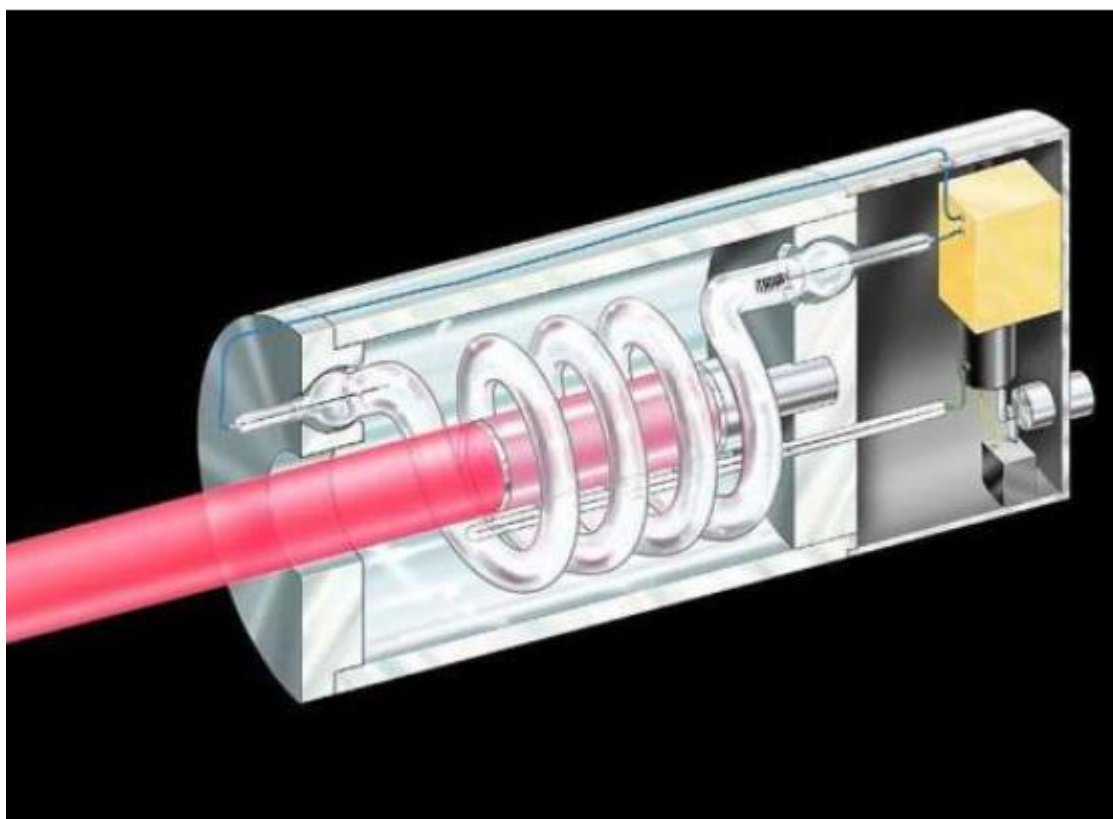
1. ábra Az abszorpció, az emisszió, és az indukált emisszió jelensége [3]

A lézer elnevezés az Angol LASER (Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation) mozaikszóából származik, aminek a jelentése, fényerősítés indukált emisszió révén.

2.2 Alkalmazott lézerfajták

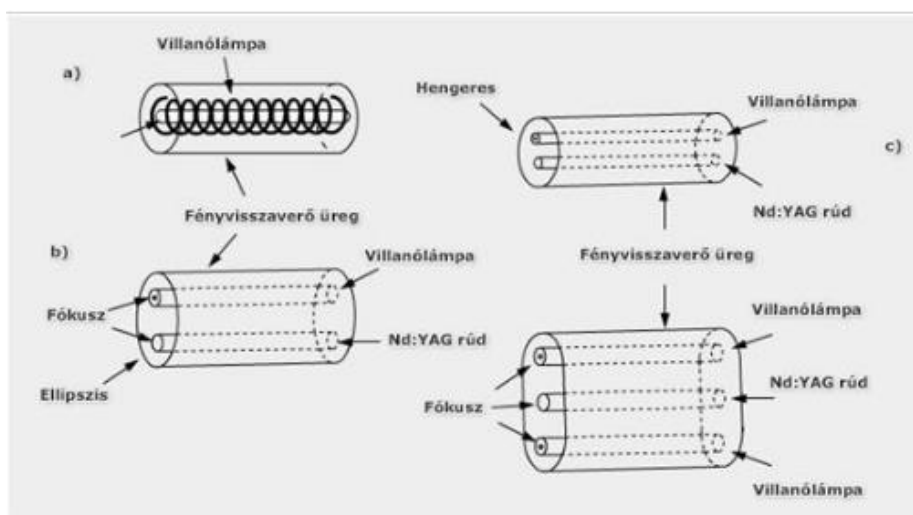
Szilárd test lézerek

Rubin lézer: Ez volt az első lézer, amelyet Theodore Maiman 1960-ban épített. Aktív anyagként króm atomokkal szennyezett alumínium-oxid kristályt alkalmaznak. A kristály henger két végén rezonátor tükrök helyezkednek el, ezeknek tökéletesen párhuzamosnak kell lenniük. A rezonátor tükrök segítségével növelhető az intenzitás mértéke és javul a nyaláb minősége. Gerjesztése optikai gerjesztéssel történik, amihez nagyteljesítményű villanólámpát alkalmaznak. A kibocsájtott lézerfény hullámhossza 694,3 nm, ez a látható fénytartományba tartozó vörös színű fény. Felépítésükre a (2. ábra) mutat példát. Ezek a lézerek impulzus üzeműek, az impulzusok hossza nano szekundumban mérhető.[1],[2],[3],[4],[5],[6],[7]



2. ábra Rubinlézer felépítése [7]

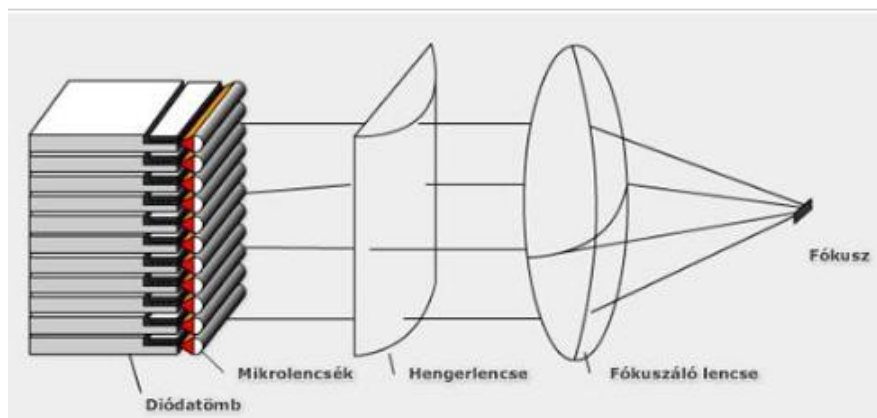
YAG lézer: Lézer anyagként neodímium vegyületekkel szennyezett speciális ittrium-alumínium üveget alkalmaznak. Felépítésükben és működési elvükben hasonlítanak a rubinlézerekre, viszont előnyük a jobb hővezető képesség és hatásfok, illetve nagyobb teljesítményűek. Továbbá nem csak impulzus üzemben tudjuk működtetni, hanem folytonos üzemben is. A YAG lézerek pumpálását a rubin lézerhez hasonlóan villanócsövekkel oldják meg. A villanólámpa elhelyezése többféle megoldással történhet, erre mutat példát a (3.ábra). Jellemző hullámhossza 1064 nm, de frekvencia többszörözéssel további hullámhosszak állíthatóak elő. Frekvencia kétszerezéssel 532 nm, háromszorozással 355 nm, négyszerezéssel 266 nm hullámhossz elérhető. [1],[2],[3],[4],[5],[6],[7]



3. ábra Nd:Yag lézer villanólámpa elhelyezési lehetőségek [8]

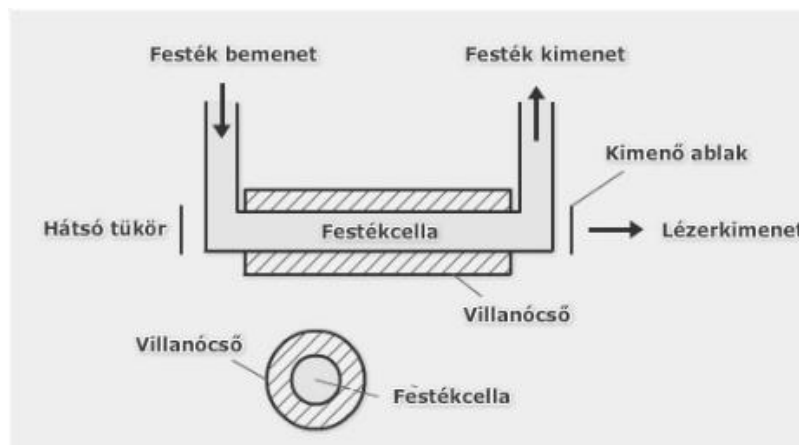
Fiber lézer: Ritkaföld elemekkel szennyezett üvegszálat alkalmaznak aktív közegként. Az aktív közeg fajlagos felülete igen nagy, ezen keresztül történik a pumpálás és a hűtés is. A szál többretegű eltérő törésmutatójú anyagból készül. A szál magja adja a lézermédiumot, ezen több réteg köpeny található. Az első köpeny rétegben halad pumpáló lézersugár, a következő réteg a pumpáló fénysugár mag felé történő tükrözését segíti elő, végül a mechanikai védelem burkolórétegei találhatóak. A rétegek törésmutatója a magtól kifelé haladva csökken, ezáltal a teljes reflexiónak köszönhetően fénytörés csak a mag irányába történhet. A gerjesztést diódalézerrel valósítják meg. Jellemző hullámhossza 1062 nm. [7],[8],[9]

Diódalézer: Működése eltér a többi lézerhez képest, itt nem aktív anyagot kell gerjesztetni, hanem maga a félvezető anyag kollektív energiaállapotai révén emittálódnak fotonok. Dióda lézernek csak direkt sávú félvezetők alkalmazhatóak. Gerjesztése egyenárammal történik. A kilépő lézersugár hullámhossza függ a dióda anyagától, és divergenciája nagyobb az áram folyási irányában. A lézer intenzitása változtatható az átfolyó áram erősségével. A megfelelő teljesítmény elérése érdekében a diódákat tömbösítik, majd a diódatömbökből kilépő sugarat mikrooptikai elemekkel fókuszálják.(4. ábra) [6],[8]



4. ábra Diódalézer [8]

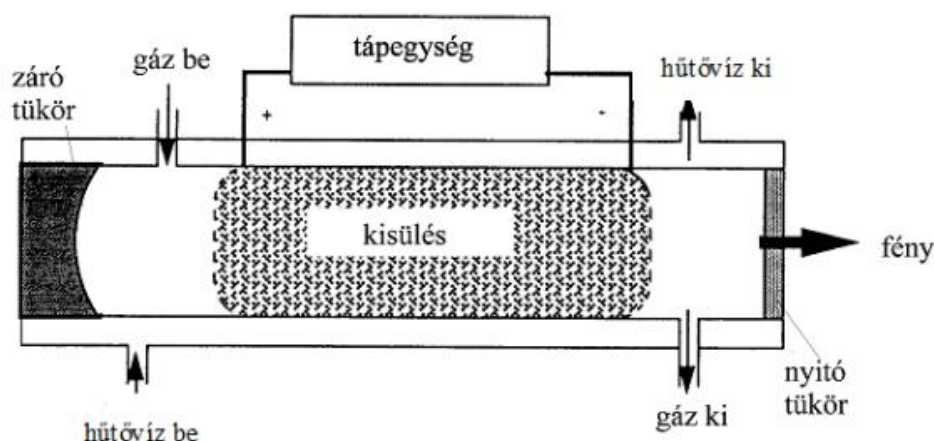
Folyadék lézer (festék lézer): Aktív közegként folyadékot alkalmaznak, melyet egy kvarc küvettába zárnak. Az oldószerben feloldott festékanyagot UV fénnel gerjesztik. A gerjesztés történhet villanócső segítségével, vagy lézeres pumpálással. Ennek a lézernek nagy előnye, hogy egy optikai rácsnak köszönhetően ki tudjuk választani az erősíteni kívánt hullámhosszt. Ezáltal a teljes látható tartomány lefedhető. Felépítésére az 5. ábra mutat példát. [4]



5. ábra Festék lézer felépítése [21]

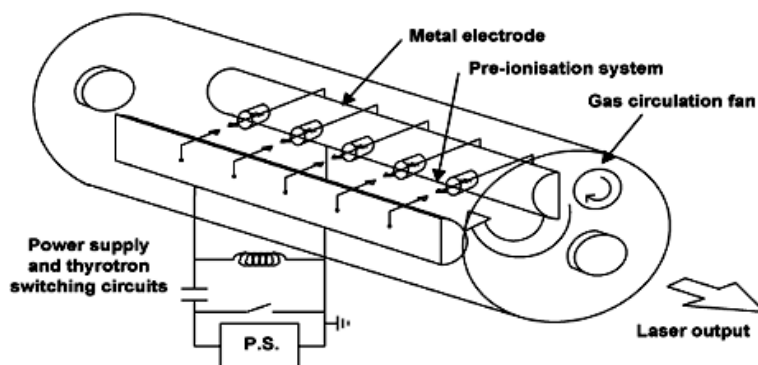
Gázlézerek

CO₂ lézer: Széndioxidot és hozzá kevert puffer gázokat, nitrogént és héliumot alkalmaznak aktív közegnek. Gerjesztése történhet nagy feszültséggel, vagy rádiófrekvenciásan. Nagy működési hullámhossz jellemzi 10,6 μm , ami az infravörös tartományban található. Tipikus lassú gázáramoltatású CO₂ lézer felépítésére mutat példát a (6. ábra). [4],[7]



6. ábra Lassú gázáramoltatású CO₂ lézer [6]

Excimer lézer: Nevét az Angol „Excited Dimer”, vagyis „gerjesztett kettősről” kapta. Aktív közeget kétatomos gerjesztett állapotú molekula alkotja. Ez rendszerint egy nemesgáz és egy halogenid elem keveréke. Csak gerjesztett állapotban tud ez a nemesgáz- halogenid molekula létezni. A pumpálás történhet nagy energiájú elektromos kisüléssel, vagy elektronsugaras besugárzással. A kisugárzás hullámhossza az UV tartományba esik, értékét a gerjesztés hatására létrejött molekulák bomlása közbeni energia-felszabadulás határozza meg. Felépítését a (7. ábra) szemlélteti. [8]

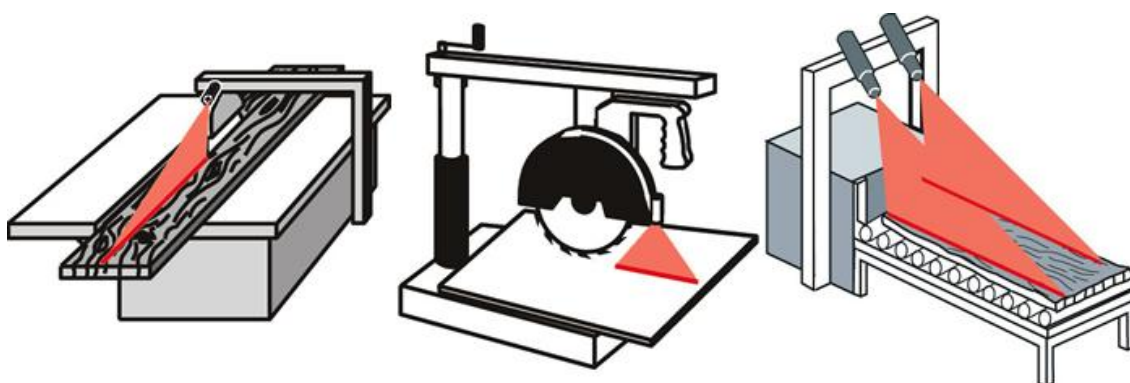


7. ábra Excimer lézer sematikus ábra

2.3 Lézerek alkalmazása az iparban

2.3.1 Metrológiai alkalmazás

A lézerek segítségével nagy pontosságú méréseket tudunk végezni, ez annak köszönhető, hogy a lézersugár egy monokromatikus, kis divergenciájú és koherens fénynyaláb. Segítségével különféle méréseket tudunk elvégezni, hosszúságmérés, földmérés, távolság- és magasságmérés, sebesség mérés, helyzet mérés.[10] A (8. ábra) a helyzet méréshez használható pozicionáló lézer alkalmazásokat mutat.



8. ábra Pozicionáló lézer alkalmazások[22]

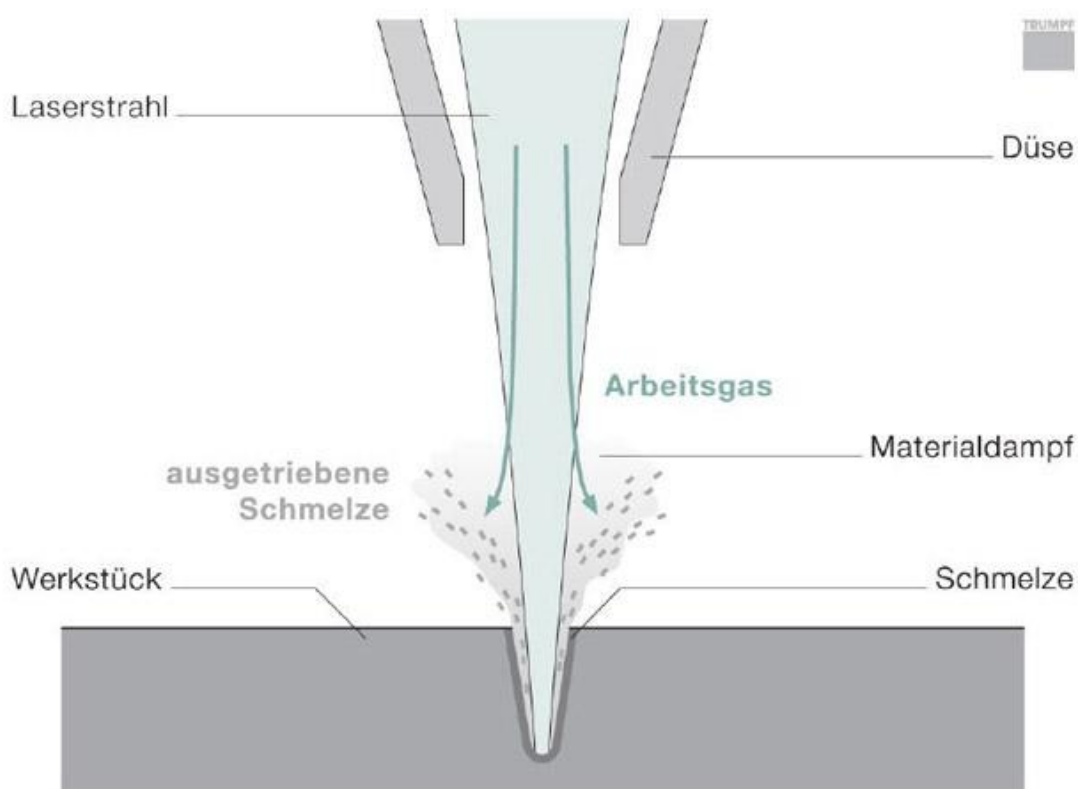
2.3.2 Technológiai alkalmazás

A lézersugár fókuszálásával nagy teljesítménysűrűség érhető el, amelyet hőenergia-forrásként különböző anyag megmunkálási eljárásoknál alkalmazni tudunk.

Fúrás lézerrel

Jellemzően nagy keménységű vagy érzékeny anyagokban lévő kisméretű furatok létrehozására alkalmazzák (9. ábra). A folyamat során nagy teljesítménysűrűségű lézerimpulzusokkal elgőzölgtetjük a céltárgy anyagát. Az energiasűrűségnek olyannak kell lennie, hogy a radiális hődiffúziót megelőzve elgőzölögjön az anyag, és ne hegedjen vagy melegítse a munkadarabot. Túlságosan nagy teljesítmény és impulzushossz esetén a túlzott elgőzölgés miatt a lézer nem az anyagban, hanem a gőzben nyelődik el és plazma keletkezhet. Impulzussorozatokot alkalmaznak a könnyebb alak és méret szabályozás érdekében, illetve a radiális hődiffúzió elkerülése végett. Többféle fúrási eljárás alakult ki az idők folyamán, ilyenek a lékeléses, vagy trepanációs, ütve működő-, spirálfúrás. Ezek mindegyike ugyanazon alapelv szerint, de eltérő paraméterekkel, illetve mozgással alakítják ki a furatot.

Trepanációs fúrás során kiindulási furatot képezünk a lézerrel, majd folyamatosan növekvő sugarú körpályán haladva növeljük a furatot, mindaddig, amíg el nem érjük a kívánt átmérőt. Ütve működő fúrás során rövid impulzus időket, alacsony impulzusenergiát alkalmazva, pontos és mély furatokat készíthetünk. Spirálfúrás alkalmazása során a furatot úgy készítjük, hogy a lézer körpályán mozogva axiálisan süllyed, ezáltal a lézer fókuszpontja mindig az üreg alján van. „A lézer csigalépcső alakban dolgozza be magát egyre mélyebben az anyagba.”[23] A lézer az anyagon való áthaladása után megtesz még pár simító kört, ezután tekinthetjük befejezettnek a fúrási műveletet.

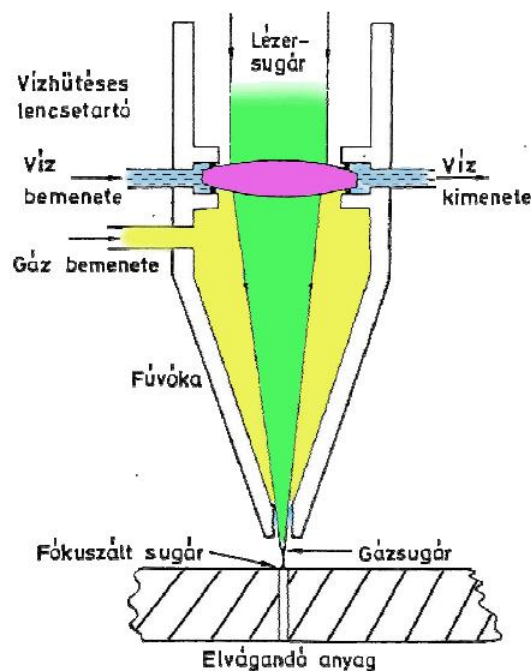


9. ábra Lézerfúrás vázlata [23]

A lézer fúrógépet a teljesítmény szabályozásával használhatjuk mikrohegesztésre és mikrovágásra is. A fúrt átmérő 0,5µm és néhány milliméter között változhat, míg a furat mélysége elérheti az átmérő húszszorosát. Ez a lyuk falán való többszörös reflexió és a lyuk nyalábkorlátozó hatása miatt lehetséges. Jellemző alkalmazási területe a mesterséges szálak előállításához használt húzószerszámok lyukasztása, gyémánt fúrása, áramköri lapok, vékony fóliák lyukasztása. [6],[10],[12], [23]

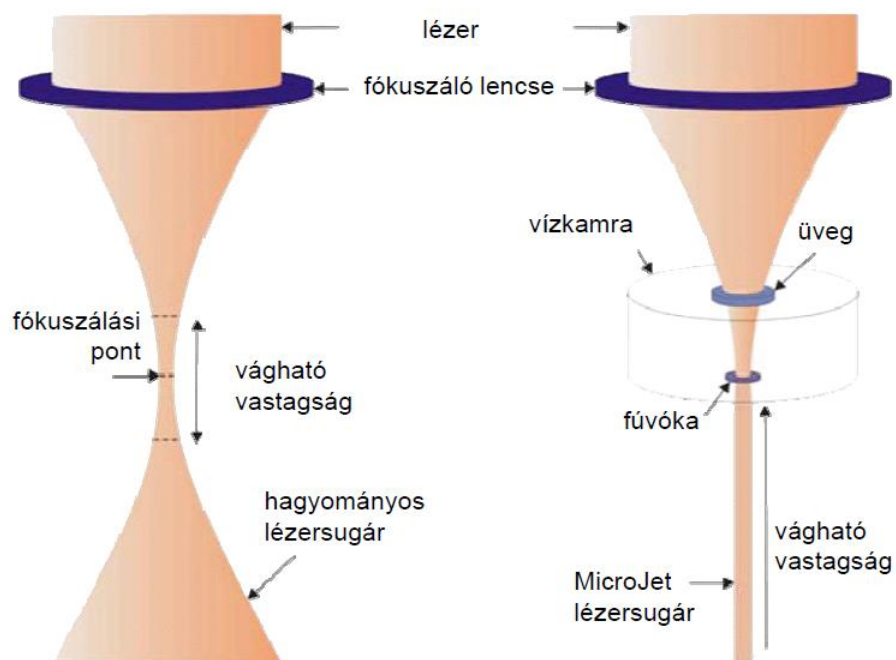
Lézer vágás

Manapság igen elterjedten alkalmaznak lézer vágó berendezéseket. A plazma és a láng vágáshoz hasonlóan nem érintjük a vágandó munkadarabot. Lézer vágás alkalmazásának nagy előnye, hogy a vágási zóna közelében nincsen túlmelegedés, és az ebből adódó káros hatások. A hevült zóna szélessége 0,1-0,9 mm, míg plazmavágásnál ez nagyjából 2,5mm. [12] További előnyt jelent az elérhető nagy vágási sebesség és az irányíthatóság. Ezáltal különösen alkalmas profilidomok vágására. Lézervágás során gyakran alkalmaznak gáz fúvatást, ez növeli a vágás hatékonyságát. Az áramló gáz kifújja a vágórésből az olvadékot és növeli a vágható mélységet. Semleges gáz alkalmazása esetén a vágott felületek oxidálódása is megelőzhető. Acél vágása során a semleges gáz helyett oxigént alkalmazva 5-szörös vágási sebességet tudunk elérni. Ezt a vágás során az oxigén exoterm reakciójának köszönhetjük. A vágandó anyag felületének hűtésével elérhető, hogy a lézerrel levegőben elég anyagokat is lehessen vágni. Ez az által érhető el, hogy a fókuszon kívül elég erőteljes a hűtés ahhoz, hogy ne égjen el az anyag. További előnye a hűtésnek, a vágási szél négyszögletessége. Megfelelően nagy fókusztávolságú lencse alkalmazásával lehetőség van szendvics szerkezetek, kompozit anyagok vágására is. A lézer vágófej kialakítására láthatunk példát a 10. ábrán.



10. ábra Lézer vágófej kialakítás [13]

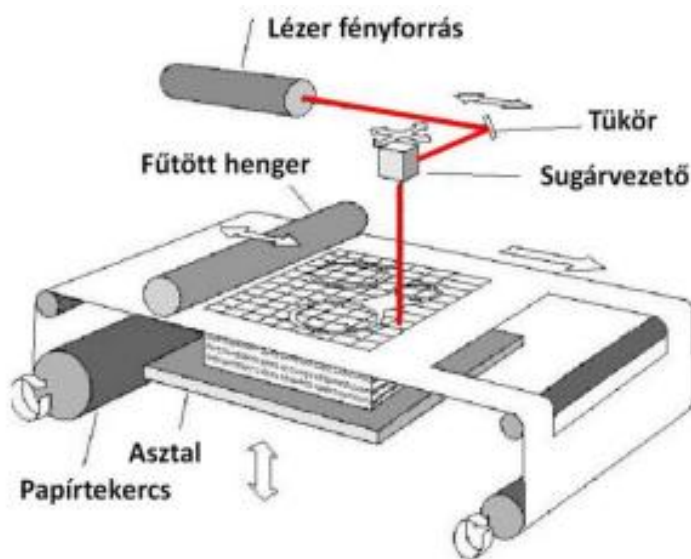
A vágáshoz szükséges mozgásokat, vagy a munkadarab végzi, vagy mozgó optikával, valamint ennek a két módszernek az ötvöztetésével oldják meg. A mozgás létrehozására több tengelyes megmunkáló központokat alkalmaznak. Ezáltal térbeli lemezdarabok vágására is alkalmas a technológia. A CNC megmunkáló központoknak köszönhetően könnyen automatizálható, programozható a vágás. A fentebb említett előnyök miatt előszeretettel alkalmazzák a lézervágás technológiáját. Az előnyök mellett hátrányok is megjelennek. A vágás során a fókusztávolságot folyamatosan tartani kell, a lézersugár csak a fókuszpont közelében teljesen párhuzamos, a többi részen kónikuság jellemzi, a kimeneti oldalon csekély sorja képződés lehetséges. Ezeknek a hátrányoknak a megoldására fejlesztették ki a MicroJet technológiát, amely ötvözi a vízsugaras és a lézer vágást. Ennek eredményeként a lézert egy vízsugarba vezetve végezzük a vágást. A teljes reflexió miatt a lézer nem tud kilépni a vízsugarból, ezáltal a vágó sugárban nincsen kijelölt fókuszpont. Így nem szükséges tartani a fókusztávolságot a vágó berendezés optikája és a vágandó anyag között. A vízsugár hatására teljesen párhuzamos vágatot tudunk készíteni (11. ábra). Megfelelő fúvókával a vágási szélességet csökkenteni tudjuk, akár kevesebb, mint $30\mu\text{m}$ is elérhető. A vízsugár hűtő hatása miatt a hőhatás zóna csökken. A kilépő oldalon a vízsugár kinetikai energiája miatt sorja képződés nem történik.[6],[12],[13],[14]



11. ábra MicroJet lézernyaláb karakterisztika [13]

Gyors prototípus gyártás

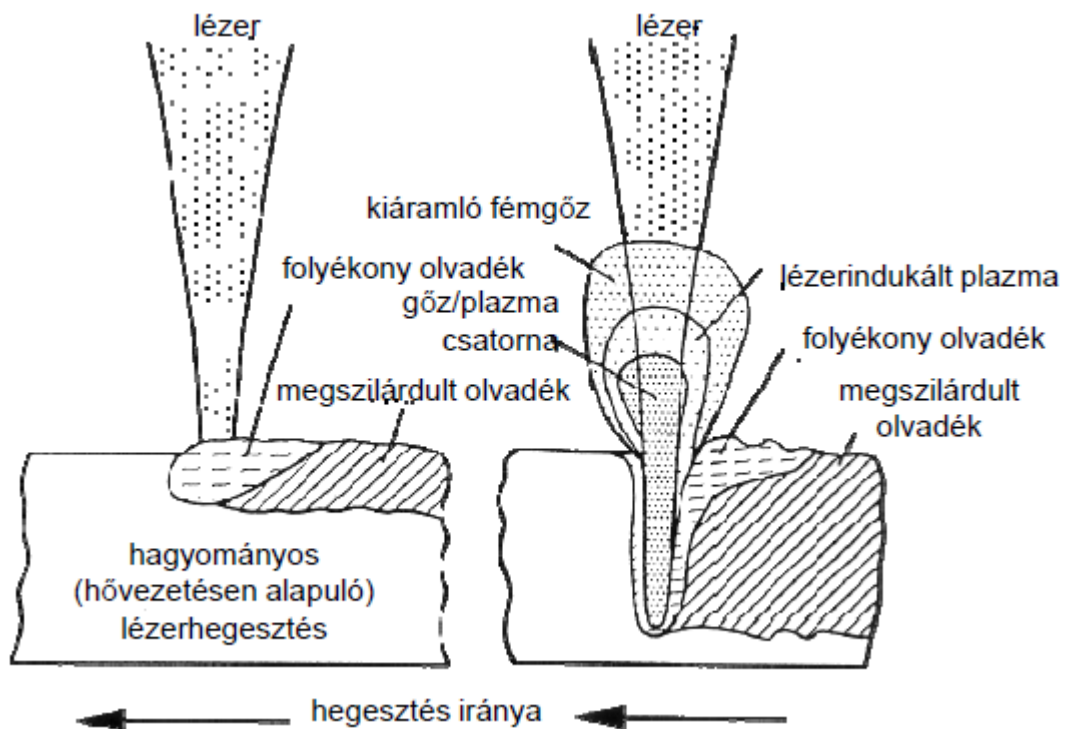
Többféle eljárásváltozata is elterjedt az úgynevezett „3D nyomtatásnak”, ezek nagy részében megjelenik a lézer technológia. Ilyen eljárás a sztereolitográfia (SLA), mely során folyadék halmazállapotú monomereket lézer segítségével szilárd polimerizált modellé alakítunk. A lézer energiáját kihasználva történik a fotoérzékeny anyag térhálósítása. Szelektív lézer szinterezésnél (SLS) hőre lágyuló polimer port olvasztunk össze nagy teljesítményű lézersugárral. Ennél az eljárásnál polimer kötőanyaggal fémport is alkalmazhatunk. Rétegelt darabgyártás (LOM) esetén egy speciális hőre érzékeny ragasztóval bevont papírt fűtött hengerekkel rétegenként összeragasztanak. A lézer segítségével a készítendő darab külső és belső kontúrját vágják bele az egyes papír rétegekbe, illetve a lézerrel berácsozzák a fennmaradó anyagrészt a könnyebb hulladék eltávolítás érdekében. Erre mutat példát a (12. ábra).[6],[11]



12. ábra Rétegelt darabgyártás (LOM) eljárás [11]

Lézer hegesztés

Hegesztés során kétféle eljárás típusról beszélhetünk, kötő- és felrakó hegesztésről. A lézerhegesztés követelményei megegyeznek a többi hegesztési eljárásával. Ilyen a varrat repedés- és zárványmentessége, kellő szilárdság és kopásállóság, megmunkálhatóság és korrózióállóság. A többi lézeres megmunkálási eljáráshoz hasonlóan itt is koncentráltan történik az energia bevitel, ezáltal csekély vetemedéssel kell számolni. A fókuszált nagy teljesítménysűrűség miatt nagy megmunkálási sebességet tudunk elérni. A kontaktmentes hegesztésnek köszönhetően a hegesztőfej csekély karbantartást igényel. Ennek feltétele, hogy megfelelő elszívásról gondoskodjunk. Hegesztés során keletkező gázokból a szennyeződések a lézer optikájára tapadhatnak, a lézer hatására bele éghetnek abba. A megfelelő varrat kialakítása érdekében védőgázt alkalmazunk a hegesztés során. Lézer alkalmazásával az acélokon felül, könnyűfémeket és műanyagokat is tudunk hegeszteni. A hegesztés történhet impulzus- és folyamatos üzemi lézerrel, hozaganyaggal, vagy anélkül. Lézerhegesztés során két fő típust különböztetünk meg, a mély behatolású és a hővezetés által korlátozott hegesztést (13. ábra). A hegesztési zóna több, mint háromszoros mélységű a mély behatolású hegesztésnél. [6],[10],[12],[23]



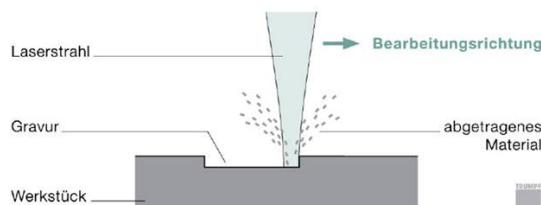
13. ábra Hővezetésen alapuló (bal oldal) és mélybeolvadású lézerhegesztés (jobb oldal) [13]

2.4 Lézeres felületkezelési eljárások

Lézersugaras jelölés

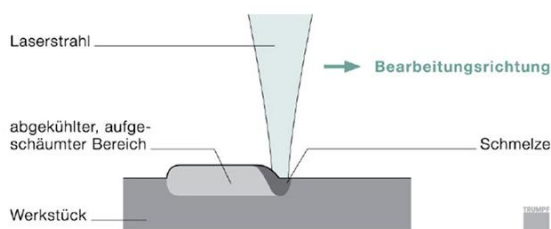
Az alkatrészek jelölése fontos szerepet játszik az iparban. Lézeres jelölést főleg fémek és műanyagok esetén alkalmaznak. [6]

Fém alkatrészek jelölésére két módszer terjedt el. Az egyik ilyen módszer a lézergravírozás (14. ábra), mely során a lézer fókuszába kerülő felületi réteg elgőzölög. Ezáltal a lézerrel kezelt felületen a fény reflexiója eltér a kezeletlen felülethez képest. A lézer által kialakított mélyedések okozzák a fény eltérő visszaverődését, amely miatt a jelölés láthatóvá válik. Ez a módszer főleg a tömegtermelésben játszik szerepet. Másik módszer a hőkezelés és színezés, mely során egy kéregedzéshez hasonló, olvadáspont alatti hevítéssel anyagszerkezeti átalakulásokat idézünk elő. Az így átalakult rácsszerkezetnek köszönhetően a felületen termikus színek jelennek meg. Mivel nem alakulnak ki mélyedések a felületen, mint gravírozás esetén, emiatt a baktériumok nem tudnak megtelepedni az alkatrész felületén. Ezáltal a módszert főleg a fokozott higiéniai igényű területeken, valamint mérőeszközökön alkalmazzák. [6]



14. ábra Lézergravírozás eljárásvázlata [23]

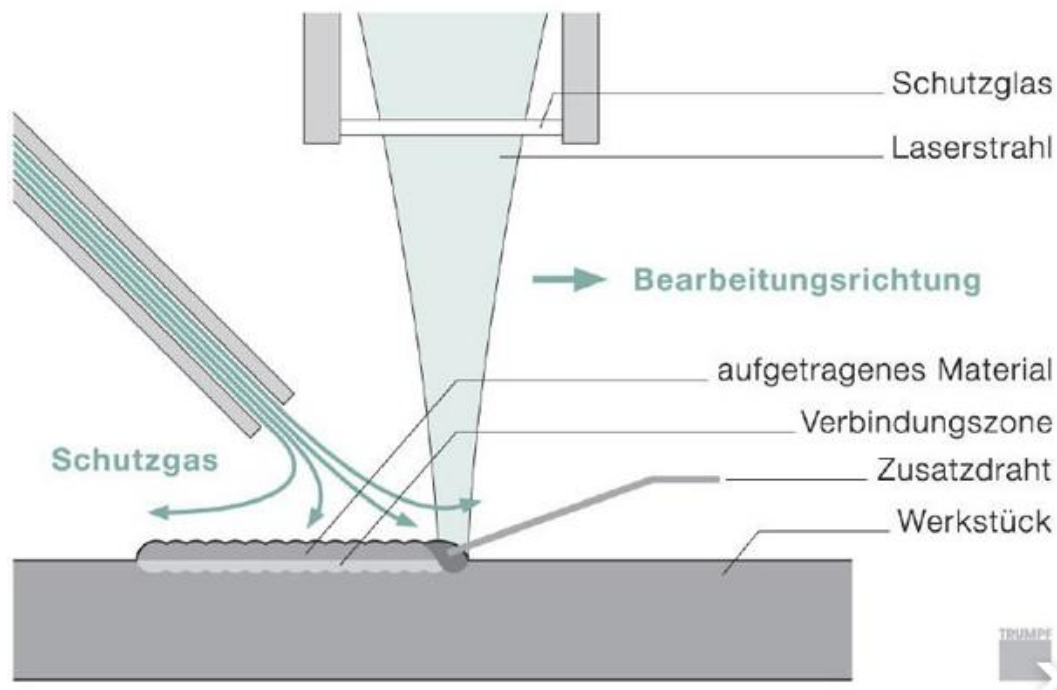
Műanyag alkatrészek jelölésénél hasonló elveken alapuló módszerek alakultak ki. Itt is kétféle módszerről beszélhetünk. Az egyik módszer a felületi reflexió megváltoztatásán alapuló habosítás (15. ábra), a másik módszer a felületi színezés. Habosítás során a lézersugárral felhevítjük a felületet, a hő hatására a felület felbuborékosodik. Színezés során kétféle eljárásváltozat van. Lehet anyagszerkezet változáson alapuló, vagy a műanyagba kevert adalékanyag hő hatására jelentkező elszíneződés. [6]



15. ábra Habosítás eljárásvázlata [23]

Felrakó lézerhegesztés

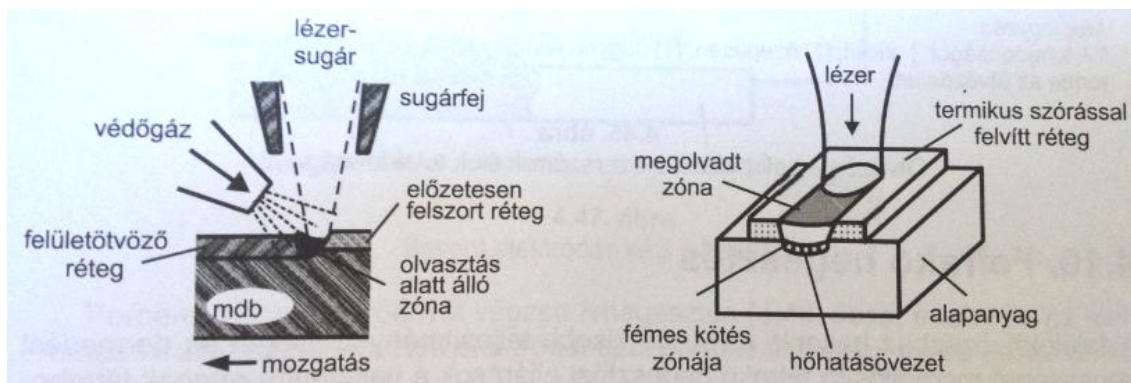
Az ipari megmunkálások során gyakran van szükség felrakó hegesztésre (16. ábra), mind szerszámoknál, mind alkatrészeknél. Ennek okai a kopásokból, alulmunkálásokból, folytonossági hibákból, mechanikai sérülésekből, valamint fejlesztési célból ered. Felhegesztés során széles anyagpalettával tudunk dolgozni. Általánosságban a munkadarab, vagy szerszám saját anyagával történik a feltöltés, de egyre nagyobb gyakoriságnak örvend az alapanyagtól eltérő, úgymond „jobb” anyag alkalmazása. Ezzel több előny is párosul, ilyen az alkatrészhez köthető kedvező gazdasági, valamint keménységi értékek. Kemény anyagok felhegesztés esetén az ömledék keménysége elérheti a 63HRC értéket. Ennek alkalmazása nem csak az alkatrész, szerszám legyártása során jelent finánciális könnyebbséget, hanem az élettartam növekedése által a használat során is. Ehhez a generáló eljáráshoz alkalmazhatunk port, vagy huzalt is hozaganyagként. A folyamatot a környezet levegőjétől argon gázzal zárjuk le, a felhordott heganyag védelme érdekében. A felrakó lézerhegesztés történhet kézi és gépi úton. Kézi gépet főleg kisebb anyagfelvitel esetén célszerű alkalmazni, vagy ha kifejezetten precíz varratok szükségesek. Gépi hegesztés során nagymennyiségű anyagot tudunk felvinni a munkadarabra. [6],[10],[12],[15],[23]



16. ábra Felrakó hegesztés eljárásvázlata [23]

Lézersugaras felületi ötvözés

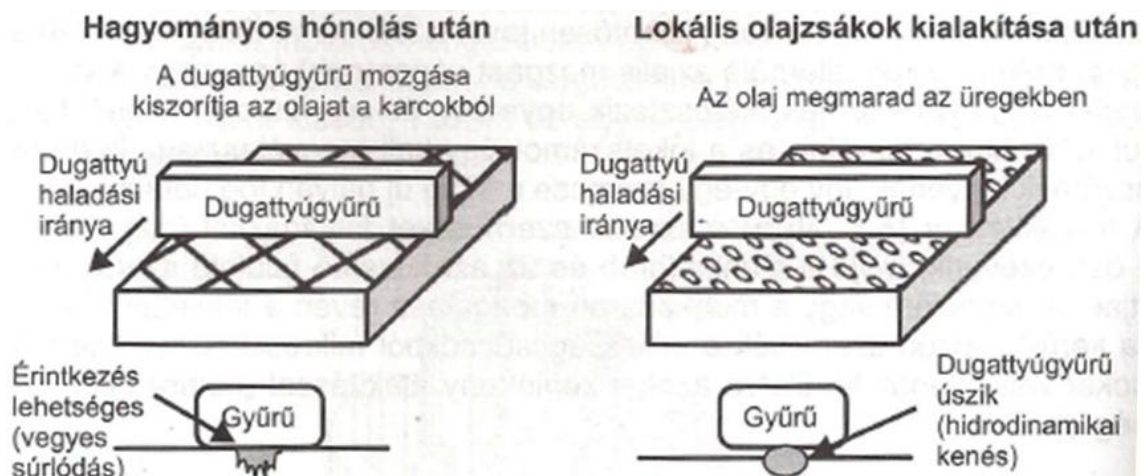
A hozaganyagot nem csak felület feltöltésre használhatjuk, hanem a felületi réteg fizikai, kémiai és mechanikai tulajdonságainak megváltoztatására is. A lézeres felületi átolvasztás során az előre felvitt, vagy a folyamat közben adagolt hozaganyagot nagy energiasűrűségű lézerrel ömlesztjük meg. Az ötvözők legtöbbször por alakban kerülnek az olvadékba, ahol az alapanyaggal elkeveredve dermednek meg. Lézeres felületi ötvözéssel (17. ábra) lehetőségünk nyílik olcsó, gyengébb anyagminőségűből készült munkadarabok felületének olyan megváltoztatására, amely során ellenállóbbak lesznek az igénybevételekkel szemben. Az ötvözés során egymással nem elegyedő alkotók is összeépíthetők. A mikroötvözőknek köszönhetően a kezelt felület jobban ellenáll a kopásnak, hőnek, vagy korróziónak. [6],[15],[16],



17. ábra Lézeres felületötvözés [16]

Lézeres hónolás

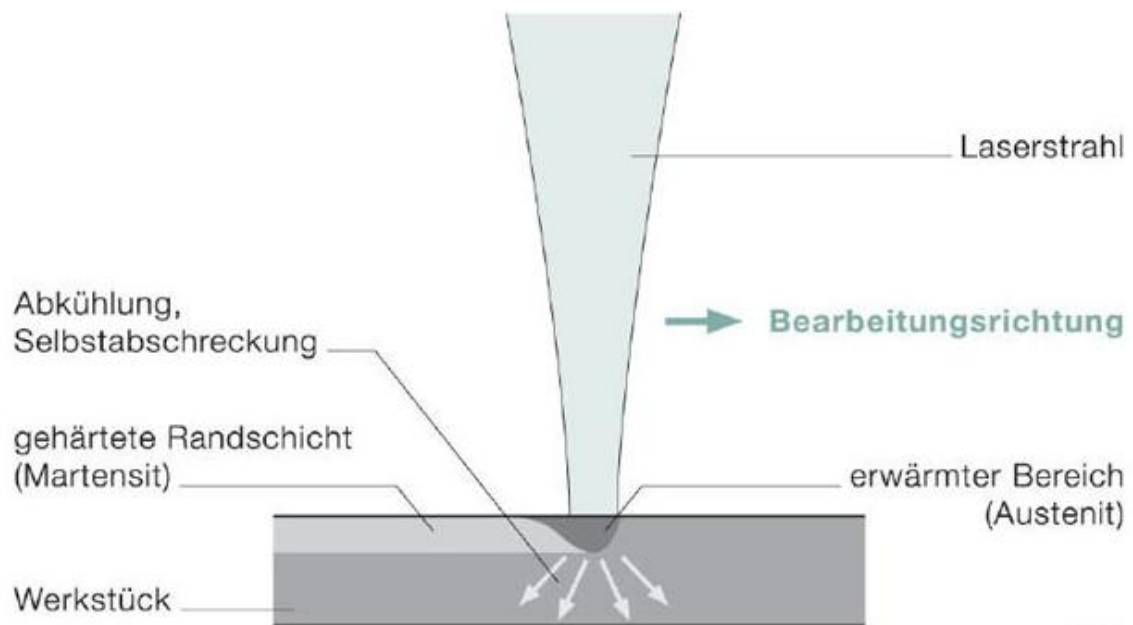
Hagyományos hónolási technológiával keresztirányú karcokat alakítanak ki a hengerfelületen, annak érdekében, hogy az olaj jobban megtapadjon. Azonban a dugattyúgyűrű mozgása során kiszorítja a karcokból az olajat, ezáltal a kenés nem lesz megfelelő. Ezzel szemben a lézeres hónolással olyan olajzsákokat képzünk, amelyből nem tudja kipréselni az olajat mozgása során a dugattyúgyűrű (18. ábra). A zsebek kialakítására kétféle eljárásváltozat van. Az egyik ilyen lehetőség a szabályos alakzatok kialakítása a felületen, másik lehetőség a felület mikroszerkezetének lézeres kezelése. Utóbbi esetben a felületből elgőzölögtetjük a grafitot, az így kialakított mikromélyedések jól megtartják az olajat és megfelelő kenést biztosítanak. A lézeres hónolást meg kell előzze egy hagyományos technológiával elkészített előhónolás. Lézerrel csak a megfelelő kenéshez szükséges zsebeket tudjuk kialakítani. [17],[18],[19]



18. ábra Hagyományos és lézer hónolás összehasonlítása

Lézerhőkezelés

A lézeredzés során különböző anyagminőségű, eltérő geometriájú, rendeltetésű szerszámokat és alkatrészeket tudunk edzeni. A hagyományos kéregedző eljárások mellett ez a technológia kiemelkedő tulajdonságokkal rendelkezik. Lézeredzés során csak a működő, kopásnak kitett felületeket keményítjük meg, nincs szükség a munkadarabot teljes térfogatában átedzeni. Lézer alkalmazása során a közölt hőenergia sokkal koncentráltabban éri a munkadarabot, ezáltal csak egy vékony kéreg hevül át, nem jelentkezik a különböző hűlési sebességek okozta drasztikus deformáció, mint ami előfordul a többi edzési eljárásnál. Ezáltal készre gyártott darabokat lehet hőkezelní. Utólagos simítási megmunkálásokra csak akkor lehet szükség, ha a martenzites átalakulás miatti térfogat növekedés mértéke meghaladja a munkadarab szigorú tűrését. Lézeredzés során nincs szükség külön hűtő közegre, a darab saját térfogatában el tudja vezetni a keletkezett hőmennyiséget. (19. ábra) [17]



19. ábra Lézerhőkezelés eljárásvázlata [23]

Indukciós és láng edzés során a munkadarab jelentős része, vagy egésze áthevül, emiatt a hőbevitel után hűtőfolyadékkal kell a darabot lehűteni, hogy a megfelelő hűtési sebességet elérjük és megtörténjen a kéreg beedződése.

További előnye a lézerezésnek, hogy az edzhetőséget jelentő széntartalom alsó minimum határa alacsonyabb a többi eljáráshoz képest, illetve egyes anyagoknál nagyobb keménységértékek érhetőek el. A geometria lekövetését korszerű ipari robotok segítségével hajtjuk végre, így komplex alakzatok, felületek járhatóak be a lézerrel.

Indukciós eljárásnál a hőkezelendő munkadarabhoz szerszámot kell gyártani és meg kell oldani a hűtést, emiatt alkalmazása főleg nagy darabszámú, egyszerű geometriájú alkatrészeknél jelentős. Nagyméretű alkatrészek során jelentős teljesítményfelvétel növekedéssel kell számolnunk, mivel az egész felületet egyszerre kell hevítenünk. Indukciós eljárással nagyobb rétegvastagságot tudunk elérni, mint lézer segítségével, habár ennek a rétegnek a keménysége a szükséges megeresztés miatt jellemzően 40-50HRC-nél nem nagyobb. A legtöbb esetben a kéregvastagság másodlagos igény, mivel a megengedhető kopás jellemzően tized- század milliméterben mérhető érték a legtöbb szerszámnál. Ezáltal a lézerrel kialakított vékonyabb réteg magasabb keménységértéke előnyösebb tud lenni, szerszámkopás esetén. Ugyanakkor, ha a szerszámot nagy nyomás terheli, akkor szükséges lehet a nagy kéregvastagság kialakítása a beszakadás elkerülése végett.[17],[20]

Ezen eljárások közül a választás legtöbbször nem csak technológiai, hanem gazdasági döntés alapján történik. Indukciós és lángedzés során figyelembe kell venni, hogy minden munkadarabhoz szükséges szerszámot gyártani, meg kell oldani a megfelelő hűtést, továbbá az edzés végeztével be kell iktatni egy megeresztő hőkezelést. Az így megedzett darabokat méretre kell igazítani az eljárás sajátosságai miatt. Optimálisan nagy darabszámú, egyszerű geometriájú munkadaraboknál érdemes alkalmazni. [20]

Lézerezés során nincs szükség szerszám gyártására, külön hűtőfolyadék alkalmazására és megeresztésre. A technológia sajátossága, hogy kész munkadarabon alkalmazható. Ezáltal a gyártási idő és a költségek jelentősen csökkenthetőek. Alkalmazása főleg egyedi daraboknál jellemző, de előnyei révén sorozatoknál is megállja a helyét. [17]

3. Lézeredzés technológiai vizsgálata szerszámacélokon

3.1 Kísérlettervezési szempontok

Szakdolgozatom ezen részében az általam végzett kísérleteket, azok elemzését és kiértékelését fogom prezentálni. Ahogy a bevezetésben is említettem háromféle szerszámacélon végeztem lézeredzési próbákat. Az edzés során a célom nem az egyes anyagok maximális keménység értékének elérése volt, hanem a különböző anyagok önmagukkal és egymással való összehasonlítása. Ennek érdekében igyekeztem az edzés során közel azonos paramétereket alkalmazni. Itt fontos megemlítenem a lézerhőkezelés során megválasztandó paramétereket. A legfontosabbak ezek közül a sebesség és a hőmérséklet. Ez a paraméterkettős jelentősen befolyásolja az elérhető keménység és rétegvastagság értékeit. Ennek következtében a munkám során ezek lesznek mérvadóak. A sebesség növelésével nagyobb keménység értékeit lehet elérni, de csökken a rétegvastagság. Ez annak köszönhető, hogy a hőkezelés sebességének növelésével az átmelegedett réteg vékonyabb, - nincs ideje átmelegedni - ezáltal a hűlési sebesség is nagyobb lesz. A hőmérséklet növelésével nagyobb rétegvastagságot tudunk elérni, de a vastagabb áthevült réteg miatt a hűlési sebesség csökken, ezáltal a keménység értékek alacsonyabbak maradnak. Ezáltal ezeket az értékeket mindig a hőkezelt darab funkcionalitása alapján kell megválasztani. Ezen paraméterek túlzott növelése, csökkentése nem célszerű. Ilyen esetekben előfordulhat, hogy nem történik meg a beedződés, vagy megég, elolvad az edzendő anyag felülete. Konkrét munkadarab edzése során további paraméterekre van szükség a sebesség és a hőmérséklet mellett. Ilyen a spot szélesség, minimális és maximális teljesítmény megválasztása. A spot szélessége jelentősen befolyásolja az egyszerre hőkezelendő felület méretét. Megválasztása során ügyelni kell az igényelt kialakítandó kemény felület méretére, valamint arra, hogy a lézersugár teljesítménye Gauss- eloszlás szerint változik a spot mentén. Ez az eloszlás mind vizuálisan, mind a keménység értékek szórásában megfigyelhető. Az alkalmazott zoom optika sajátja, hogy minél nagyobb spot szélességet alkalmazunk, annál egyenletesebb a teljesítmény és a keménység értékek eloszlás. Az edzett sávban az edzés során egy szürke reveréteg alakul ki a felületen. Ez a réteg egy könnyen eltávolítható, mikron nagyságrendű réteg, amely segítségével vizuálisan érzékelhetővé válik az edzett felület kiterjedése. A (21. ábrán) jól láthatóvá

válk mind az edzett felület, mind az eloszlás. A munkadarabok geometriája, felületük milyensége megköveteli a teljesítmény minimum és maximum értékének megválasztását. Maximum értéket általában az égés, olvadás elkerülése végett érdemes választani. Minimum értéket célszerű alkalmazni, munkadarab felületére való ráfutás során és különböző abszorpciójú felületeken való áthaladás során. Maximum és minimum értékek együttes alkalmazása stabilabbá teszi a hőkezelés folyamatát.

3.2 Kísérlet paramétereinek meghatározása, kezdeti lépések

A kísérlet céljainak kitűzése után első feladatomb az anyagválasztás volt. Választásomb az ipar által kedvelt és gyakran alkalmazott anyagokra terelődött. Ezek az 1.2311 EN számjelű műanyag- alakító -, az 1.2714 melegalakító- és az 1.2767 hidegalakító szerszámacélok (20. ábra). Ezeket az anyagokat a Budai Benéfit Kft biztosította számomra. Összetételbeli hasonlóságait, különbségeiket az 1. táblázat mutatja.

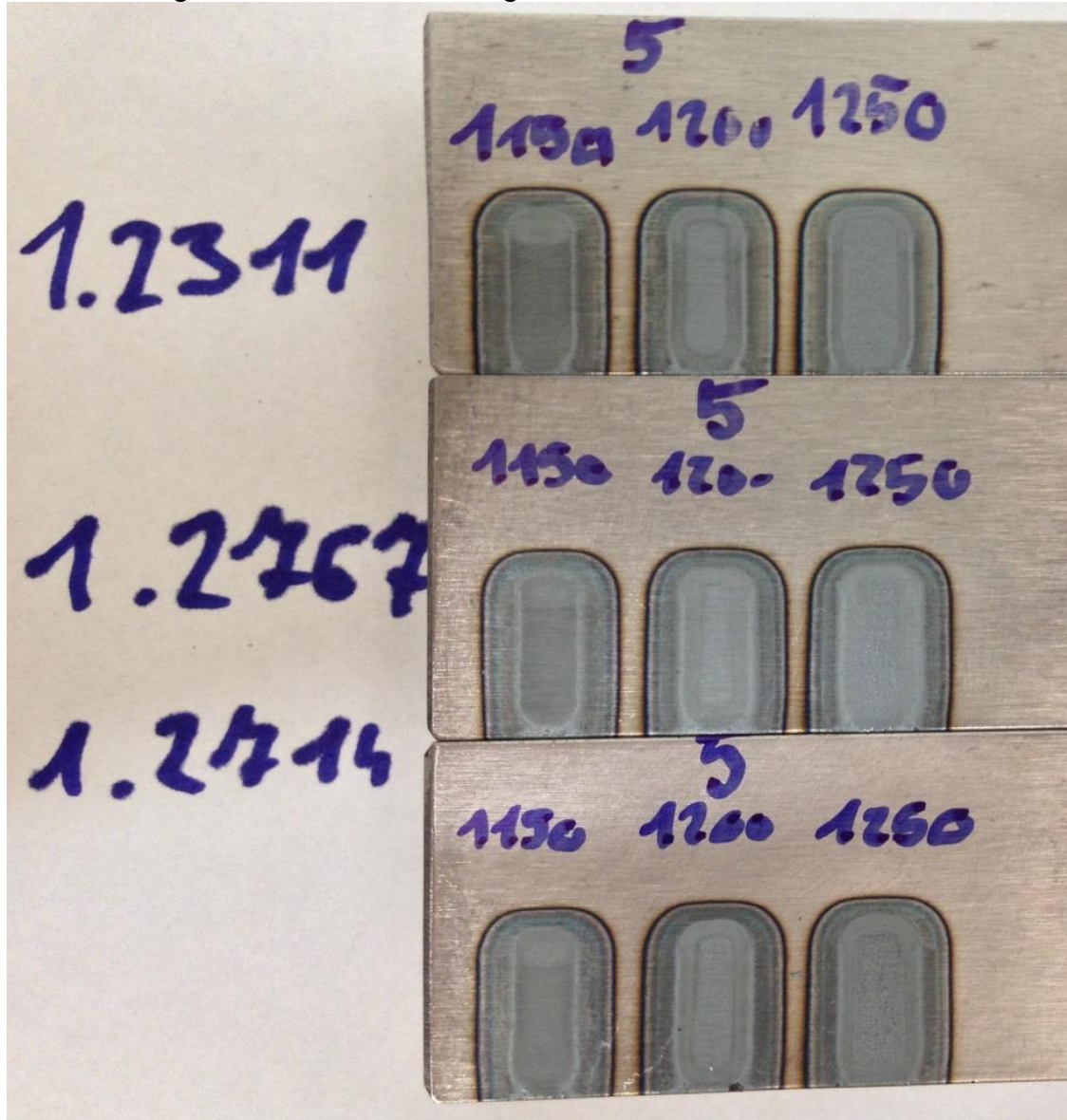
1. táblázat: Választott szerszámacélok összetétele

Szerszámacél EN számjel	Anyagösszetétel %]								
	C	Si	Mn	Cr	Mo	Ni	V	W	Co
1.2767	0,48	0,23	0,4	1,3	0,25	4	-	-	-
1.2714	0,55	0,3	0,8	1,1	0,5	1,7	0,1	-	-
1.2311	0,4	0,3	1,5	1,9	0,2	-	-	-	-

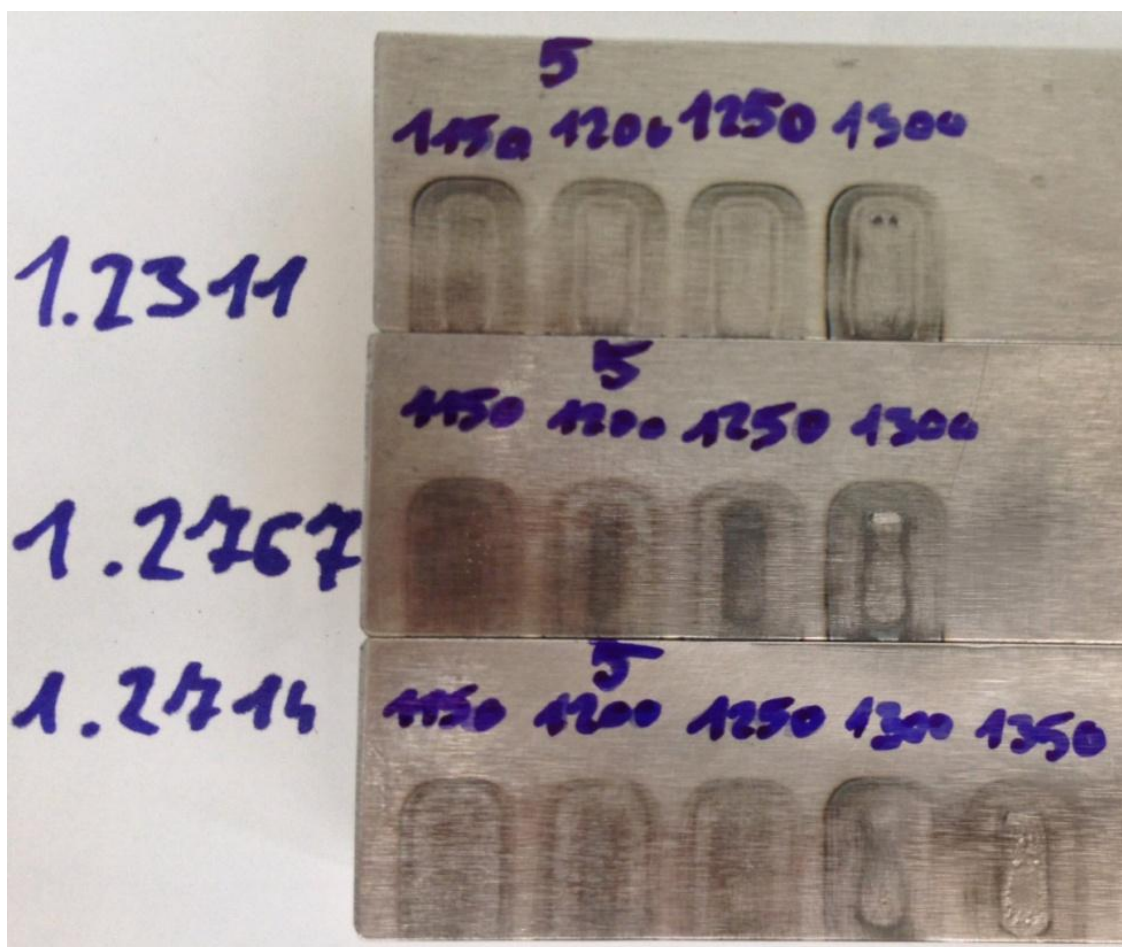


20. ábra Szerszámacél próba hasábok

Következő lépésként próbaedzéseket hajtottam végre a hasábokon. Az összehasonlíthatóság végett állandó $5 \frac{mm}{s}$ -os hőkezelési sebesség mellett a hőmérsékletet növelve végeztem az edzés próbákat, mindaddig, amíg az anyag felületén olvadást nem tapasztaltam. A 21. ábrán jól látható a kialakult reve. A 22. ábrán jól látszanak a magas hőmérséklet okozta megolvadt felület részek.



21. ábra Szerszámacélok próbahőkezelése 1250°C-ig



22. ábra Szerszámacélok próbahőkezelése felületi olvadásig

Az alkalmazni kívánt hőmérséklet megválasztása során első körben kizártam a felületi olvadást előidéző paramétereket, majd a lézerezést követő épen maradt felületeken keménységmérést végeztem. Ahogy a 22. ábrán látható, az 1300°C-on és afeletti hőmérsékleten történő hőkezelések egyértelmű olvadást mutattak. 1250°C-on egyik anyag sem mutatott olvadást, viszont a mért keménység értékek csak az 1.2767-es anyagnál volt kielégítő. A másik két anyag 1200°C-on mutatott hasonlóan kedvező keménység értékeket. A jobb összehasonlíthatóság érdekében ezért két hőmérséklet alkalmazásával folytattam a kísérleteimet. Az 1.2767-es anyagon 1250°C-on, az 1.2311 és az 1.2714-es anyagon meg 1200°C-on végeztem a hőkezeléseket.

3.3 Kísérlet során alkalmazott eszközök, gépek

Fanuc robot M-710iC/20L

A különböző mozgásokat, a geometria lekövetését tudjuk vele megvalósítani. A robot vezérlésére egy R-30iB fanuc robot vezérlőt használunk. Az iPendant segítségével kézileg tudjuk a robotot programozni a mozgások leképezésére. A hat tengelyes robot mellett van még egy két tengelyes pozicionáló asztal is. Az asztal-robot elhelyezésre mutat példát a (23. ábra). Rendszerint ezeket úgy szokták elhelyezni, hogy koordinátarendszereik párhuzamosak legyenek, de a Budai Benefit Kft.-nél helykihasználás, és a jobb alkalmazhatóság érdekében szögben vannak elhelyezve. Ez az elgondolás alapján hosszú, akár 4-6 méteres tengelyeket is meg lehet munkálni a zárt kabinban.



23. ábra Fanuc robot M-710iC/20L Lézeroptikával felszerelve [24]

Laserline LDM 4000-100 diódalézer

Az általam alkalmazott lézer egy 4 kW-os diódalézer (24. ábra), melynek fénysugarát üvegszál segítségével a robotkar végére szerelt zoom optikába juttatva, különböző sáv szélességekkel végezhető felületi edzés. A zoom optika lehetővé teszi, hogy 6,5-73x5mm²-es spottal tudjunk dolgozni. A gyakorlat során 40mm széles spotnál nem alkalmazunk nagyobbat, mert ennél nagyobb spothoz nagyobb teljesítményű lézer lenne szükséges. Az optika lencsáját meg kell védeni a letapadó, a lencsére ráéggó szennyeződésektől, ennek érdekében CrossJet-et kell alkalmazni. A CrossJet nagynyomású levegő segítségével nem hagyja az optika szennyeződését. A program szerinti hőmérséklet tartását egy Dr. Mergenthaler nagy sebességű pirométerrel és a hozzá tartozó Lascon szoftver segítségével tudjuk. Biztonsági szempontokból a lézerhőkezelő berendezést külön kabinban kell elhelyezni. A hőkezelés indítását, leállítását a zárt kabinon kívülről kell végezni. A lézerhőkezelés aktuális állapotát egy monitoron keresztül, a kabinban lévő kamerák segítségével tudjuk követni. A monitoron nem csak a kamerák képét láthatjuk, hanem a pirométer jelét feldolgozó online és offline diagramokat, valamint a pillanatnyi hőmérsékletet.



24. ábra Laserline LDM 4000-100 diódalézer [25]

BAQ alphaDUR mini ultrahangos keménységmérő

Kísérleteim során az alphaDUR mini ultrahangos keménységmérőt (25. ábra) használtam. A mérések során a Rockwell keménység skálát vettem figyelembe. Az ultrahangos szerkezetnek köszönhetően vékony kemény rétegeket is tudunk mérni anélkül, hogy a mérés során átszakítanánk a kérget. A hordozható készülék HV Vickers keménységet mér, amit a DIN 50150 szabványnak megfelelően át lehet konvertálni Rockwell (HRC, HRB), Brinell (HB) és szakító szilárdság értékekké. Mérés során az ultrahangos készülék próbatestét a mérendő felületre merőlegesen tartva nyomjuk a 136°-os gyémánt gúlát felületbe. A mérendő anyag rugalmassági modulusa alapján a készülék megadja a mérendő anyag keménységét.



25. ábra AlphaDUR mini ultrahangos keménységmérő készülék

Quantum QSM 200

A csiszolatkészítés első állomásaként találkozhatunk ezzel a géppel. A próbahasárból levágott darabok a vágott felületen a vágás sajátosságai miatt, nemkívánatos hőbevitelt szenvedtek el. Ennek következtében az érintett térfogatrészben a próbadarab anyagszerkezeti módosulásokon eshetett át. Emiatt le kell munkálni ezt a hő által torzult részt. Továbbá be tudjuk állítani a darab felületeinek merőlegességét a kettős köszörűgép segítségével. (26. ábra)



26. ábra Quantum QSM 200 kettős köszörű [27]

Einhell BT-US 400

A Quantum QSM 200 kettős köszörűvel a nagyolást tudtuk elvégezni a próbatesteken. A felület további finomítása érdekében az Einhell BT-US 400 szalagsiszolót (27. ábra) kell alkalmazni. Ezzel a géppel már nem a felületi sík meghatározása a cél, inkább a felületi érdesség csökkentése, mint egy előkészítése az egytárcsás csiszolatkészítő gépnek.



27. ábra Einhell BT-US 400

REMET LS3V egytárcsás csiszoló-polírozó gép

A kialakult rétegvastagságok lemérhetősége érdekében a próbadarabokból csiszolatokat kellett készítenem (28. ábra). A gépre 300mm átmérőjű abrazív szemcséket tartalmazó-, illetve polírozó korongot lehet mágnesesen rögzíteni. Csiszolótárcsaként Akasel termékeket használtam, Aka piatto 120, 220, 600 és Aka Allegran 9- et. Polírozáshoz szövettárcsát alkalmaztam, Biodiamant 9, 3, 1 mikron szemcsenagyságú polírozó pasztával. A munkadarab hűtésére, a leváló forgács eltávolítására, valamint a korongok tisztítására, forgácsoló képességük megújítására vizet használunk. A kiáramló vizet szabályozó csap segítségével tudjuk kontrolálni. A korong forgási sebességét kézzel, fokozatmentesen tudjuk állítani. Automatikus csiszolatkészítést tudunk végezni mintatartó segítségével. A mintatartóba három mintát tudunk egyszerre behelyezni, ezeket egy rugós mechanizmus szorítja a csiszoló, vagy polírozó korong felületére.



28. ábraRemet LS3V egytárcsás csiszoló-polírozó gép és csiszoló tárcsák

ASH Ion 4.3 kézi digitális mikroszkóp

Segítségével gyorsan lehet kis nagyítású mikroszkópos képeket készíteni. A készített képeket le tudjuk menteni a készülék memóriájába, amit később át lehet rakni számítógépre. A kézi mikroszkóppal készített képekre több féle digitális rácsot tudunk elhelyezni, melyet méretkijelzés mellett tudunk változtatni X és Y irányban. Így lehetőségünk nyílik gyors méret meghatározásokra, úgy is mint a kéreg vastagság mérésére. Az általam alkalmazott készülék a 29. ábrán látható.



29. ábra ASH Ion 4.3 kézi mikroszkóp

XDS-3MET metallurgiai mikroszkóp

Az előkészített, csiszolt, polírozott és maratott mintákról mikroszkóp segítségével (30. ábra) tudunk képeket készíteni. Ezeken a képeken jól elkülönül az edzett réteg és az alapanyag, a maratásnak köszönhetően. Maratás során az alapanyag és az edzett kéreg nem ugyanúgy maródik meg, az eltérő szemcseszerkezetnek köszönhetően. A mikroszkópra szerelt kamerát össze lehet kötni számítógéppel és a Motic Images szoftver segítségével különböző geometriai méréseket tudunk végrehajtani a mikroszkópi képen. Az objektívek egy öt állású, oldalra fordított revolver fejre vannak rögzítve. A mikroszkóppal 50x, 100x, 200x és 500x szoros nagyítás érhető el. Kék, sárga és matt polarizátor és analizátor szűrőkkel van ellátva a minták jobb vizsgálhatósága érdekében.



30. ábra Optika XDS-3MET mikroszkóp [26]

Zwick 3212 mikrokeménység mérő

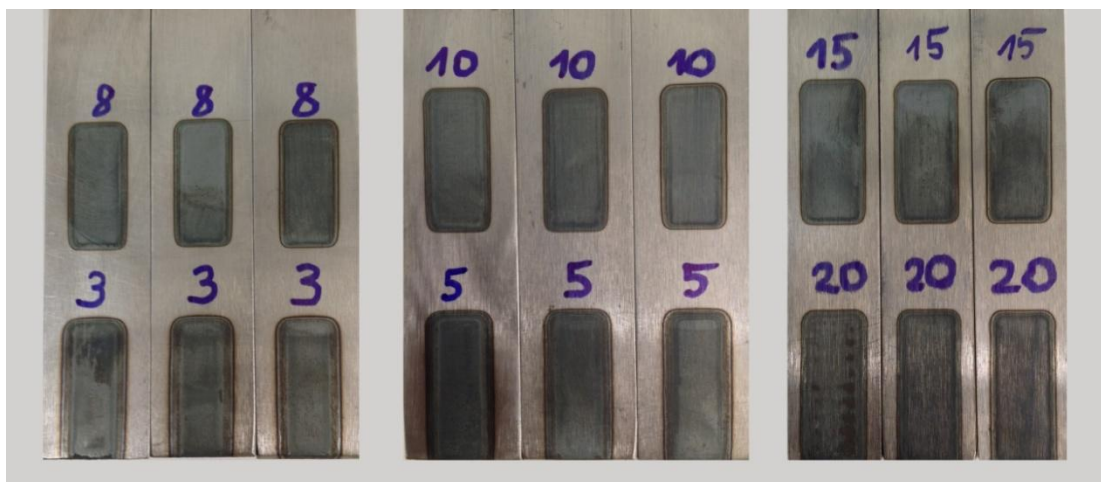
A mikrokeménység mérő készülék (31. ábra) segítségével meghatározható a keménység értékek változása a felülettől a mag felé haladva. Az optikailag látható átalakult rétegben a keménység nem homogén értéket vesz fel. A kialakult kemény réteg vastagságát úgy határozhatjuk meg, hogy meghatározunk egy a munkadarab megfelelő működéséhez szükséges keménységet és a felülettől a mag irányába haladva keménységeket mérünk. A kemény kéreg vastagságát az a felülettől való távolság adja, ahol még a kijelölt keménység értéket elérjük. A keménységmérő készülék segítségével HV 0,2 és HV 10 között tudunk Vickers keménységet mérni. A kialakult lenyomatot mikroszkóp segítségével tudjuk vizsgálni. A mérendő test mozgását XY asztal segítségével, mikrométer orsós pozícionálással végezzük.



31. ábra Zwick 3212 mikrokeménység mérő készülék

3.4 Lézeredzés próbahasábokon

A lézeredzés előtt a téglalap alapú hasábokat meg kellett tisztítanom az olajos, zsíros szennyeződésektől. A tisztítás fontos része a lézeredzésnek, mert a szennyeződéseken áthaladó lézernyaláb azokat elgőzölögteti, begyűjtja, ami bezavarja a pirométert. Ezáltal téves információkat kapnánk az aktuális hőmérsékletről, ilyen esetben magasabb hőmérsékletet érzékel a pirométer, ami miatt leveszi a lézer teljesítményét a vezérlés. Ez kifejezetten káros az edzésre nézve, mert edzetlenül maradnak szakaszok. Revétlenítés és tisztítás után megismételhető az edzés, de ez idő- és energiatöbbletet igényel, ami gazdaságilag nem kedvező. A tisztítást követően a próbahasábokat felhelyeztem a kéttengelyes pozicionáló asztalra. Idő és anyag takarékoság nevében, valamint a későbbiekben készítendő „gyors csiszolatok” érdekében az edzési sávokat a hasábok palást felületein, azonos magasságban készítettem. Az edzés során a különböző sebességek mellett a többi paramétert rögzített értéken tartottam. Az edzett sáv szélességeként 12mm-es spotot használtam. Teljesítmény minimumának és maximumának beállításával stabilabbá tettem a folyamatot. A lézer teljesítményének értékét 10-50% közé korlátoztam. Ezzel biztosítottam, hogy a sáv homogenitása ne változzon a hőkezelt szakaszon. A szorosan egymás mellé helyezett hasábokon a lézeredzést úgy végeztem, hogy a robotot vezérlő programban ciklikus eltolást alkalmaztam. Így egyszerre tudtam a három különböző anyagon azonos sebességgel a hőkezelést elvégezni. A hasábokat forgatva a többi sebesség értékkel folytattam az edzést. A hőkezelés során a próbatestek három palástfelületét használtam fel, ahogy az látszik a (32. ábrán).



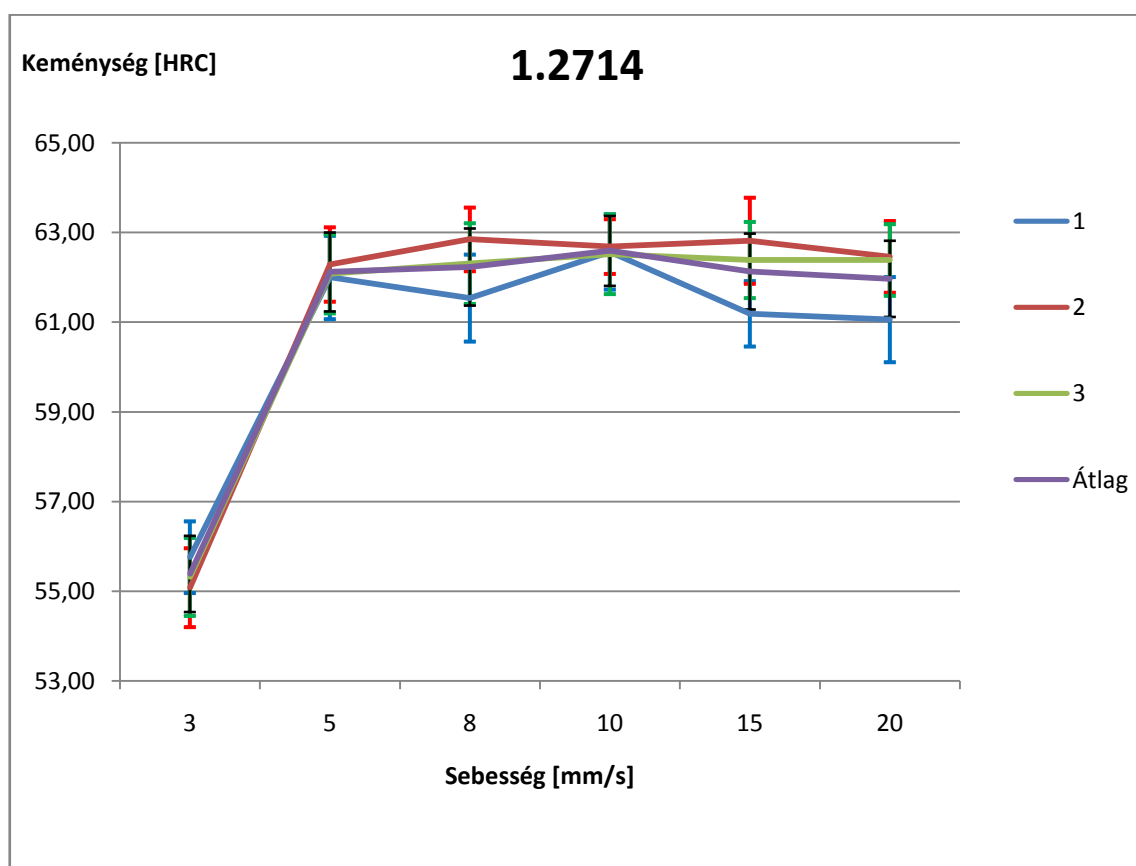
32. ábra Lézerhőkezelt hasábok kiterített képe

3.5 Felületi keménység meghatározás

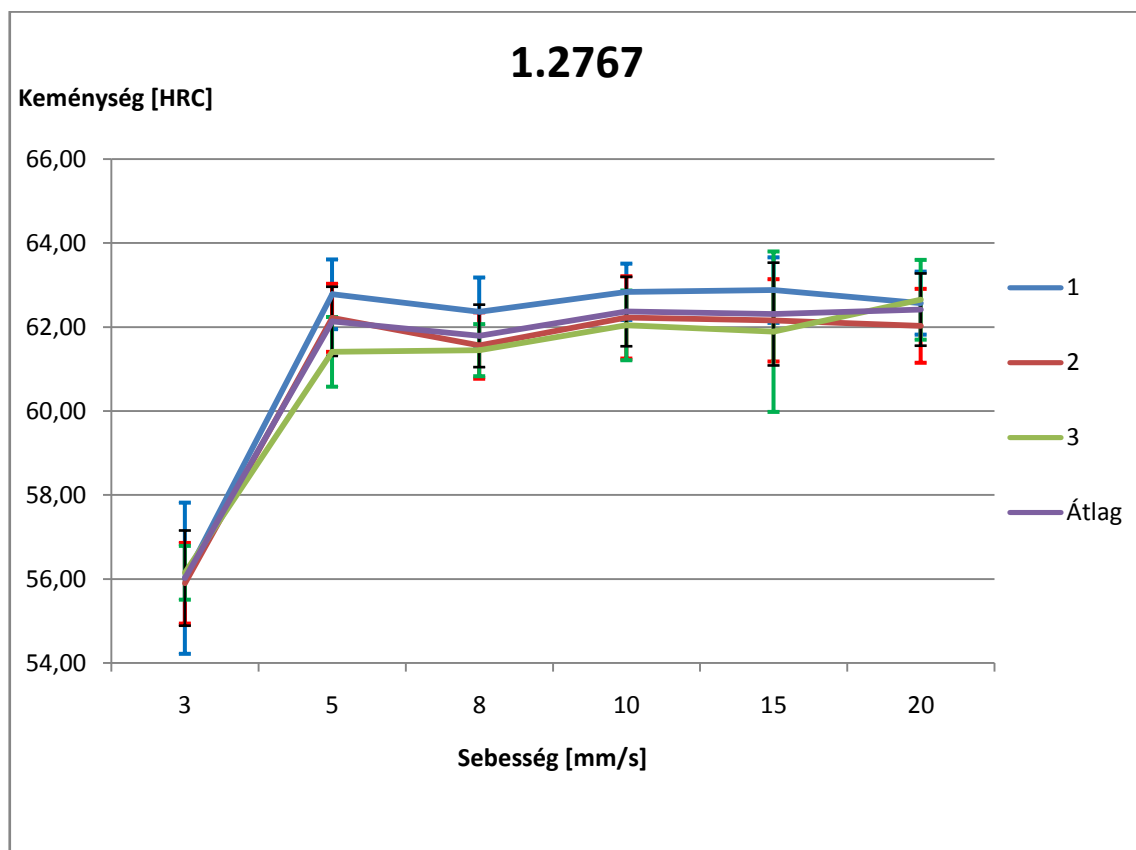
A kísérleti hőkezelés során kialakított kemény kéreg felületi keménységének mérésére a BAQ AlphaDUR mini ultrahangos keménységmérőt használtam. A mérés során a mérési pontokat a hőkezelt sávok középső tartományában vettem fel, ahol várhatóan a leghomogénebb a keménység. A mérőeszköz sajátossága miatt a készüléket kalibrálnom kellett a különböző anyagokra. Ennek szükségét az eltérő anyagok eltérő rugalmassági modulusa követeli meg. Szerszámacéloknál általában használható ugyanaz a kalibráció, de bizonyos ötvözők jelenléte, mennyisége befolyásolja a modulust, ezáltal a mérés hitelességét. A eltérő anyagok során a hőkezelt sávon történő karcvizsgálattal megállapítottam a keménységet. A keménységmérőt kalibrációs üzemmódba kapcsolva az edzett sávon 25 mérést végeztem, majd ezek átlagát a karcvizsgálat által kapott eredményre átírva megkaptam az adott anyagra érvényes kalibrációt. A különböző sebesség paraméterekkel hőkezelt sávok középső felületi részén háromszor 25 mérést végeztem. A mért eredmények átlagai az 1. táblázat-ban található. A méréseknek az eredményeit bővebben az (1. sz. melléklet) tartalmazza. Jól látható az 1. táblázat értékei alapján, hogy az alkalmazott sebességek növekedésével a keménység értékek is növekednek, mindaddig, amíg el nem érik az adott hőfok-anyag páros által elérhető maximumot. A táblázat értékeit szemléletesebben az (33. ábra), a (34. ábra) és a (35. ábra) mutatja

2.táblázat: Felületi keménységértékek átlagai

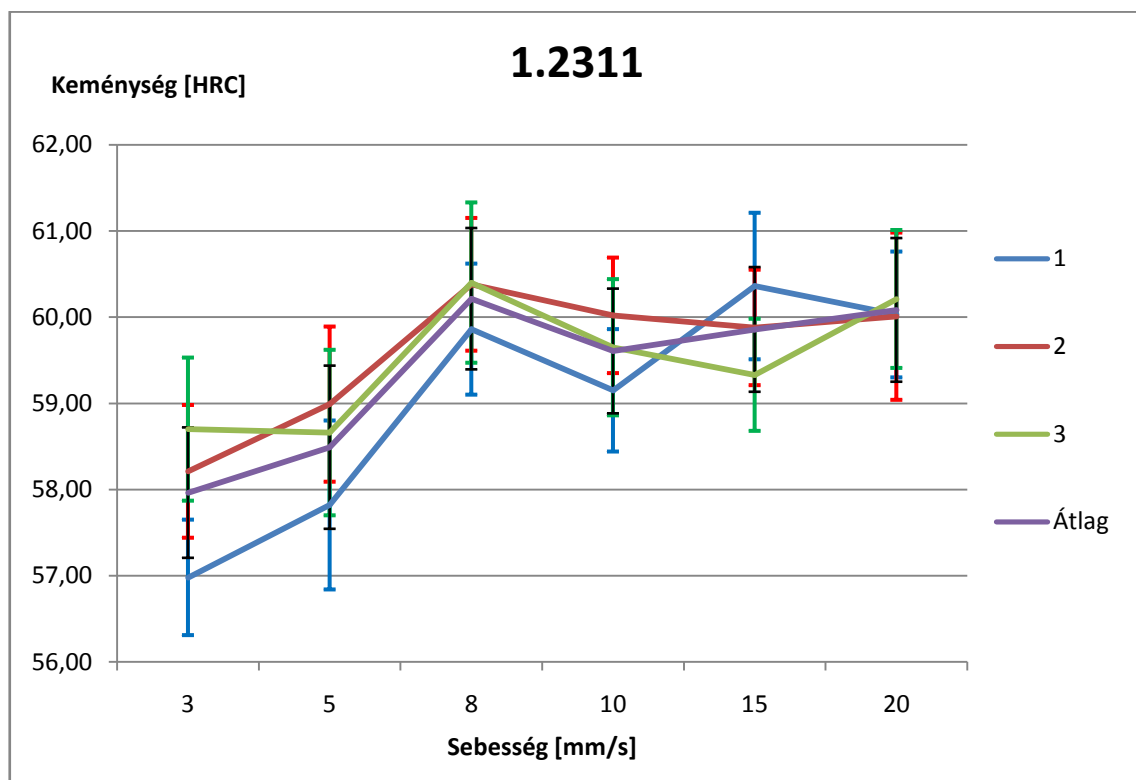
Keménység mediánok [HRC]						
	Sebesség [mm/s]					
	3	5	8	10	15	20
1.2767	56,02	62,78	62,36	62,84	62,88	62,57
	55,90	62,22	61,56	62,23	62,16	62,03
	56,15	61,41	61,45	62,04	61,89	62,65
Átlag	56,02	62,14	61,79	62,37	62,31	62,42
1.2714	55,76	62,00	61,54	62,57	61,19	61,06
	55,08	62,29	62,85	62,69	62,82	62,46
	55,32	62,08	62,31	62,52	62,39	62,39
Átlag	55,39	62,12	62,23	62,59	62,13	61,97
1.2311	56,98	57,82	59,86	59,15	60,36	60,03
	58,21	58,99	60,38	60,02	59,88	60,01
	58,70	58,66	60,40	59,65	59,33	60,21
Átlag	57,96	58,49	60,21	59,61	59,86	60,08



33. ábra Keménység- sebesség összefüggése az 1.2714 anyagnál



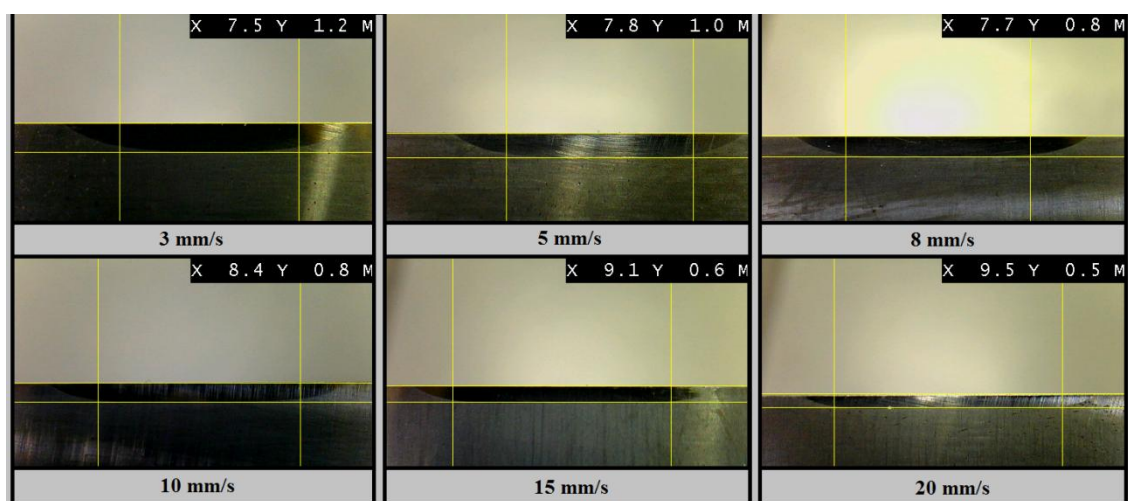
34. ábra Keménység- sebesség összefüggése az 1.2767 anyagnál



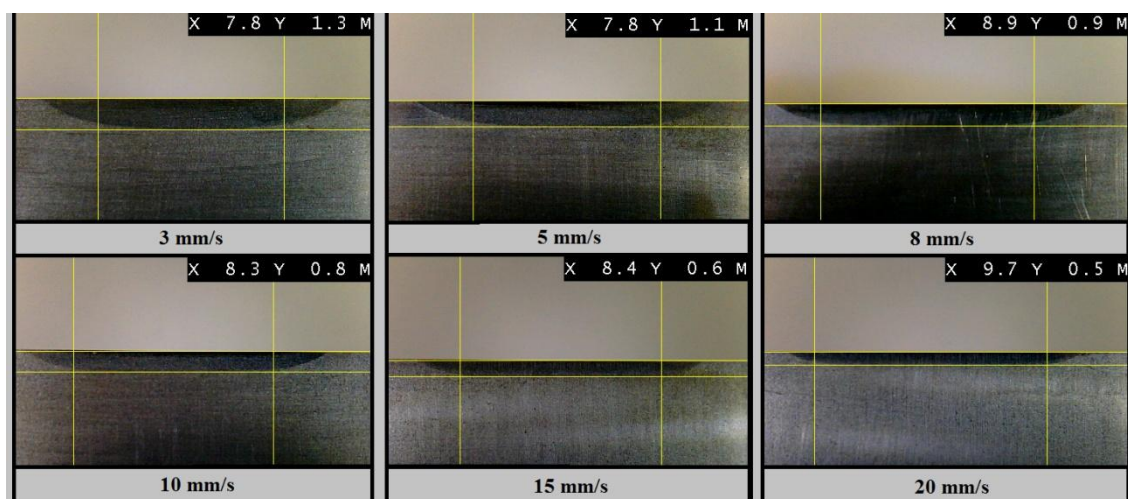
35. ábra Keménység- sebesség összefüggése az 1.2311 anyagnál

3.6 Kéregvastagság meghatározás és metallurgiai vizsgálatok

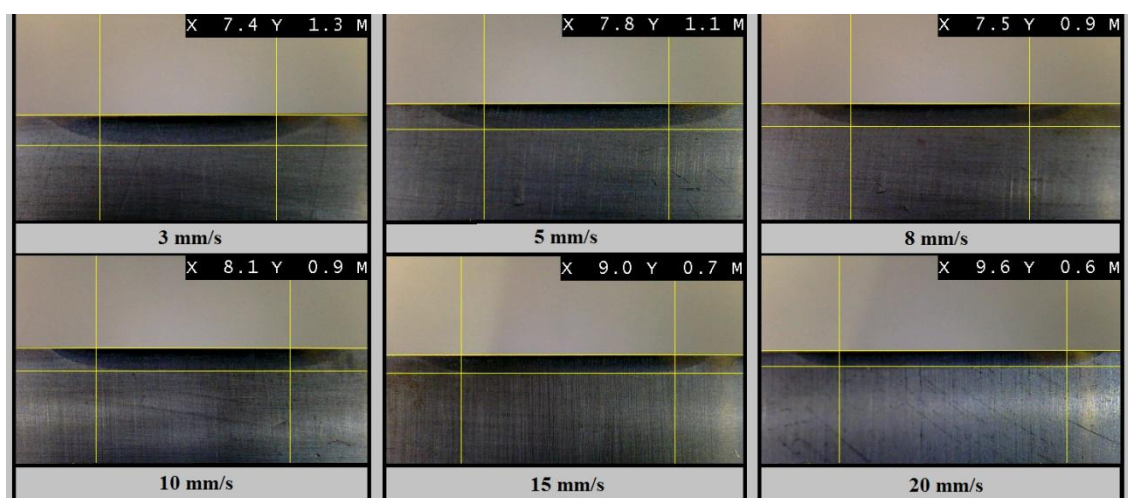
Első lépésként a lézerhőkezelt hasábokat két helyen elvágtam egy állványra rögzített egy milliméter vastagságú vágókoronggal felszerelt sarokcsiszolóval. A vágatokat úgy helyeztem el a hasábokon, hogy egy-egy darabra kerüljön rá mind a hat sebesség paraméter. A vágás során a darab vágott felületei a vágás hőhatása miatt nagy valószínűséggel szerkezeti változáson ment keresztül, ezért a vágás hőhatás zónáját le kellett munkálnom. Erre a célra nagyolásként egy Quantum QSM 200 kettős köszörűgépet használtam. Annak érdekében, hogy a köszörüléssel további káros hőt ne vigyek a darabba, a köszörülés folyamatát megállítva több alkalommal visszahűtöttem a próbatestet vízbe mártással. Az így kapott felületeket egy Einhell BT-US 400 szalagcsiszolóval finomítottam tovább, hasonló hűtési eljárással, mint a köszörülés során. A mikroszkópos leképezéshez a további felület előkészítést a REMET LS3V egytárcsás csiszoló és polírozó gépen folytattam. A csiszolást négyféle koronggal végeztem, az első fázisban egy 120-as, a második fázisban egy 220-as, a harmadik fázisban egy 600-as, végül egy 1200-as szemcseméretű tárcsával. Az első három fokozatban automatikusan történt a csiszolás, a három férőhelyes mintatartónak köszönhetően. Az utolsó csiszoló fokozatban kézzel kellett a darabokat csiszolni a nagyméretű karcok elkerülése végett. Az így nyert felület már alkalmas maratás utáni kis nagyítású mikroszkópi felvétel készítésére. A maratás során 3%-os HNO_3 -at használtam. Többszöri maratás és újracsiszolás után azt tapasztaltam, hogy a 2%-os HNO_3 -ba mártva a darab, rövid idő intervallum esetén nem, hosszabb, 1-2 másodperc esetén túl maródik. Optimális maratást a 3%-os HNO_3 -val értem el, a bemártást követően 1 másodpercen belül, de lehetőleg minél gyorsabban le kellett öblítenem, nehogy túlmarja a mintát. A maratást követően az ASH Ion 4.3 kézi mikroszkóppal készítettem képeket az eltérő sebességű hőkezelés során kialakult kemény rétegekről. A (36. ábrán) jól látható az eltérő sebesség hatása a kéregvastagságra az 1.2311- es anyagnál. Ugyanez a tendencia látható a (37. ábrán) és a (38. ábrán) az 1.2714 és az 1.2767 anyagnál.



36. ábra 1.2311 Rétegvastagság tábla

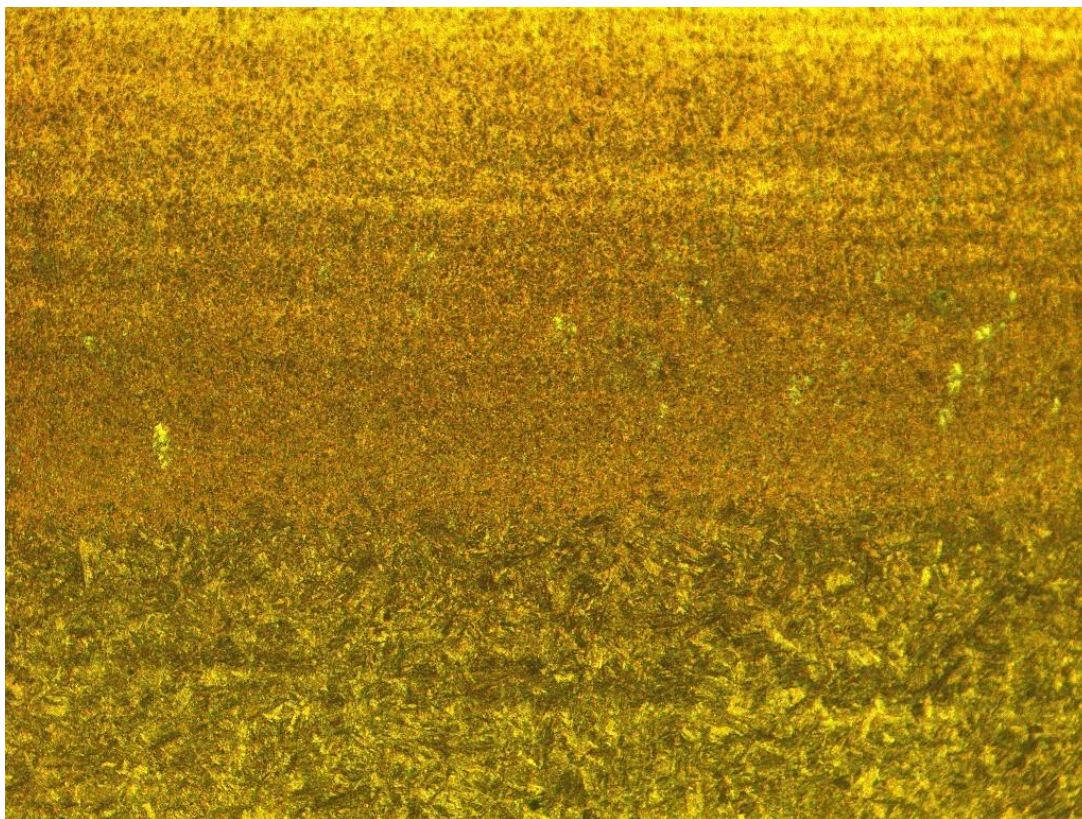


37. ábra 1.2714 Rétegvastagság tábla

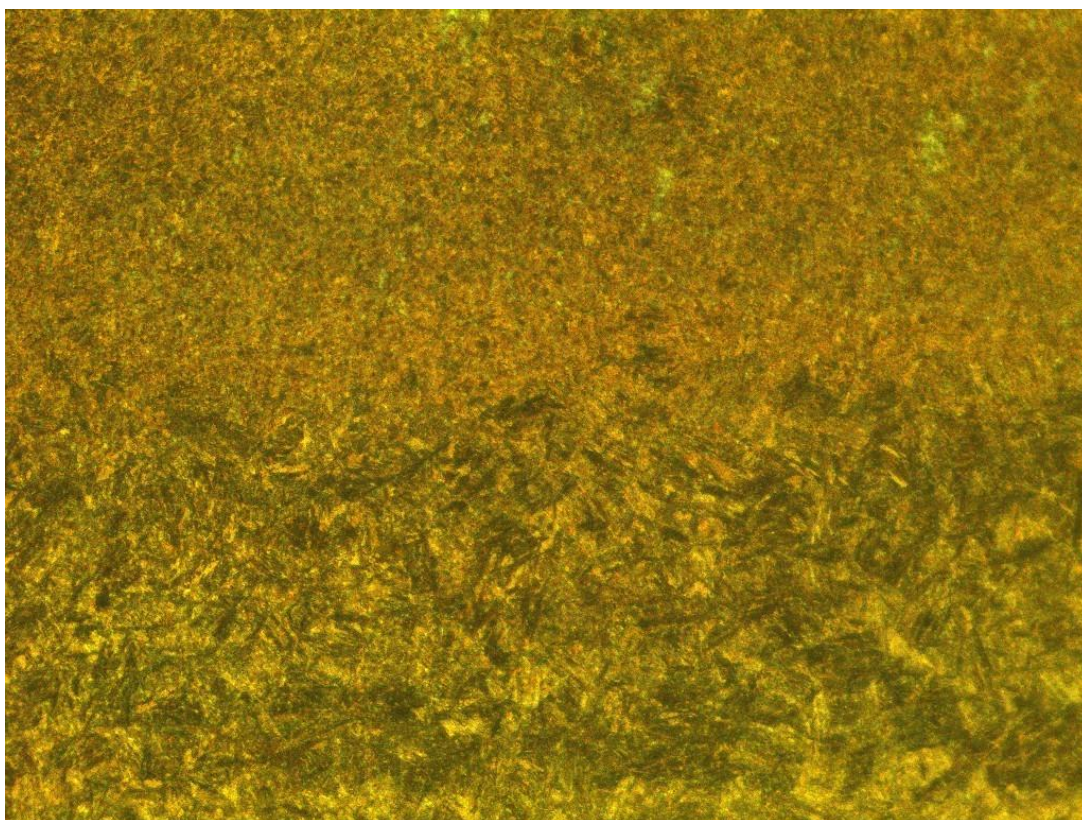


38. ábra 1.2767 Rétegvastagság tábla

A kézi mikroszkópos vizsgálatot követően a próbatesteket előkészítettem nagyfelbontású mikroszkópos leképzéshez. A csiszolótárcsákkal elért felületi minőség nagy felbontásban a különböző irányultságú karcok miatt nem ad szép képet a szövetszerkezetről. Ennek érdekében a felületet tovább kell finomítani polírozással. Polírozás során nem alkalmazhattam az automata befogót, a precizitás miatt kézzel kellett végrehajtanom a folyamatot. Három fázisban hajtottam végre a felület finomítást. Első fázisban a Biodiamant 9 mikrométer szemcsenagyságú pasztával dolgoztam. A pasztával történő polírozás közben nem használhattam vizet a keletkezett forgács eltávolítására. Vizet csak a folyamat legelején a szövettárcsa benedvesítésére és a polírozás közben a fémforgácsoktól szennyezett paszta eltávolítására és a szövetkorong tisztítására használtam. A tisztítási folyamat nagyon fontos, mivel a leváló forgácsok nem kívánt karcokat eredményeznek a polírozandó felületen. A polírozást többször megszakítva ellenőriztem az XDS 3met metallurgiai mikroszkópon a felület adott állapotát. Amikor már úgy véltem, hogy a felület nem finomodik tovább, áttértem a következő polírozó fokozatra. A folyamat a három és egy mikrométer szemcseméretű pasztával ugyanazon módszerrel történt, mint ahogy azt már előzőekben ismertettem. A 39. ábrán jól látható a szövetszerkezeti eltérés az alapanyag és a lézerhőkezeléssel kialakított martenzites kéreg között. Az edzésnek köszönhetően nem csak a keménység nőtt meg, hanem szemcseméret is finomodott. A 39. ábra alapján három réteget tudunk elkülöníteni, az átalakult martenzites-, az átmeneti-, és az alapanyag szövetszerkezetét. A 3 mm/s sebességgel lézerhőkezelt 1.2311-es anyag teljes sáv szélességű panoráma képét a (2.sz. melléklet) tartalmazza. A szövetszerkezeti vizsgálatára 200 szoros nagyítást alkalmazva még szembe tűnőbb az eltérés a kialakított réteg és az alapanyag között. (40. ábra)

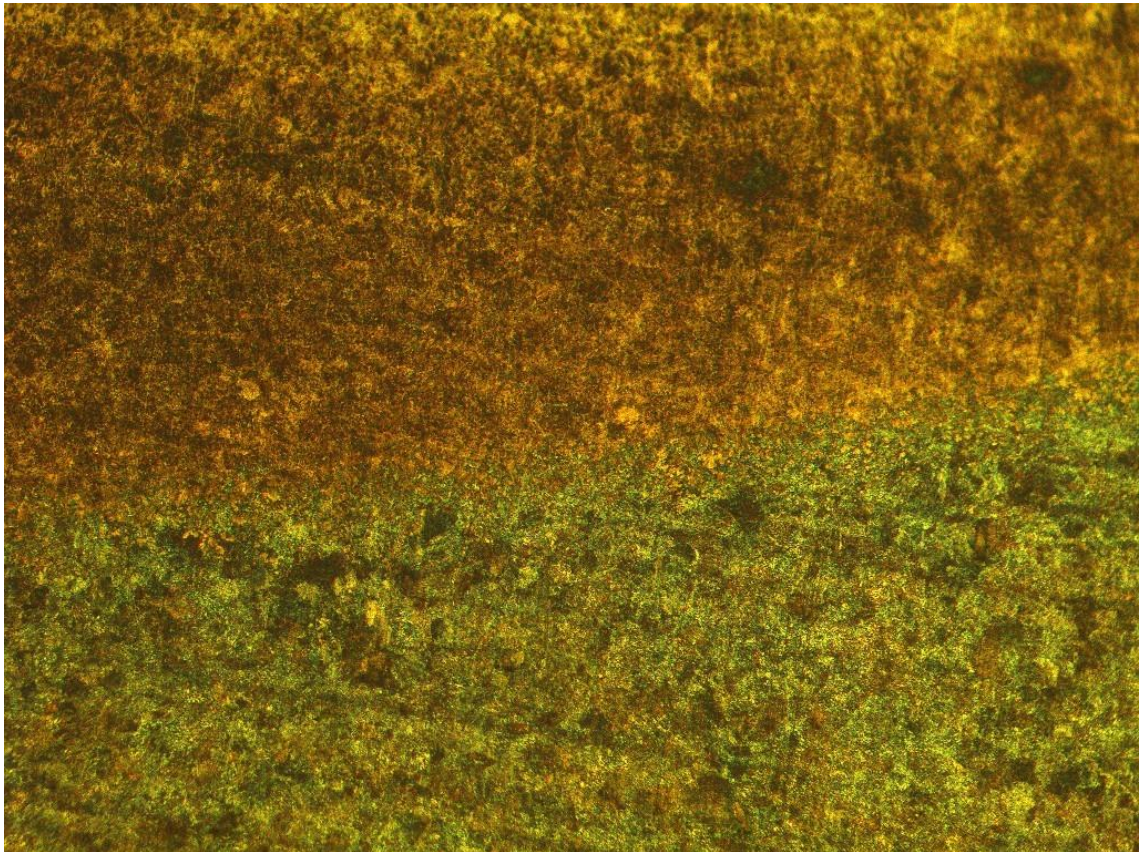


39. ábra 3mm/s sebességgel edzett 1.2311 mikroszkópi képe 100X nagyításban



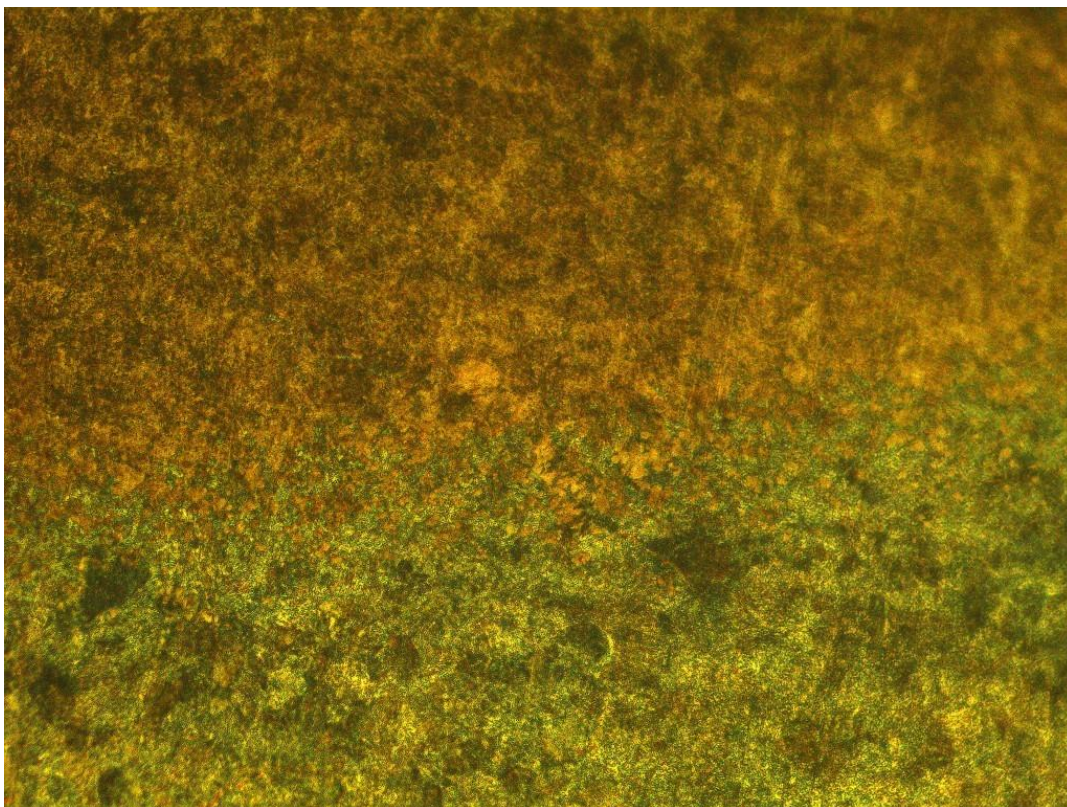
40. ábra 3mm/s sebességgel edzett 1.2311 mikroszkópi képe 200X nagyításban

Az 1.2714 melegalakító szerszámacél 3mm/s sebességgel lézerhőkezelt próbatestről láthatunk különböző felbontású szövetképeket a 41, 42, 43. ábrán. A különböző, egyre nagyobb nagyításban készült képeket elemezve, jól láthatóvá válik a maratásnak köszönhetően az alapanyag-edzett kéreg eltérő szövetszerkezete.

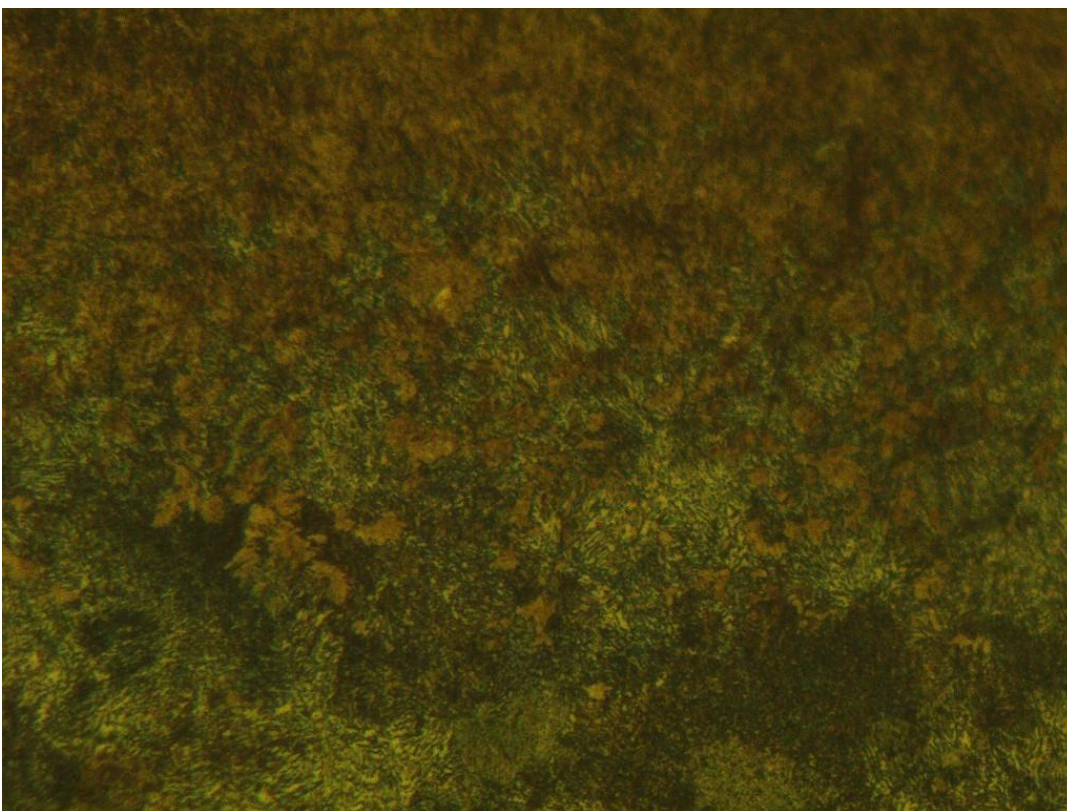


41. ábra 3mm/s sebességgel edzett 1.2714 mikroszkópi képe 100X nagyításban

A két eltérő tulajdonságokkal rendelkező réteg közötti átmenet jól megfigyelhető a 43. ábrán. A 3mm/s sebességgel lézerhőkezelt 1.2714 próbatestről készült panoráma képet a 2.sz melléklet tartalmazza.



42. ábra 3mm/s sebességgel edzett 1.2714 mikroszkópi képe 200X nagyításban

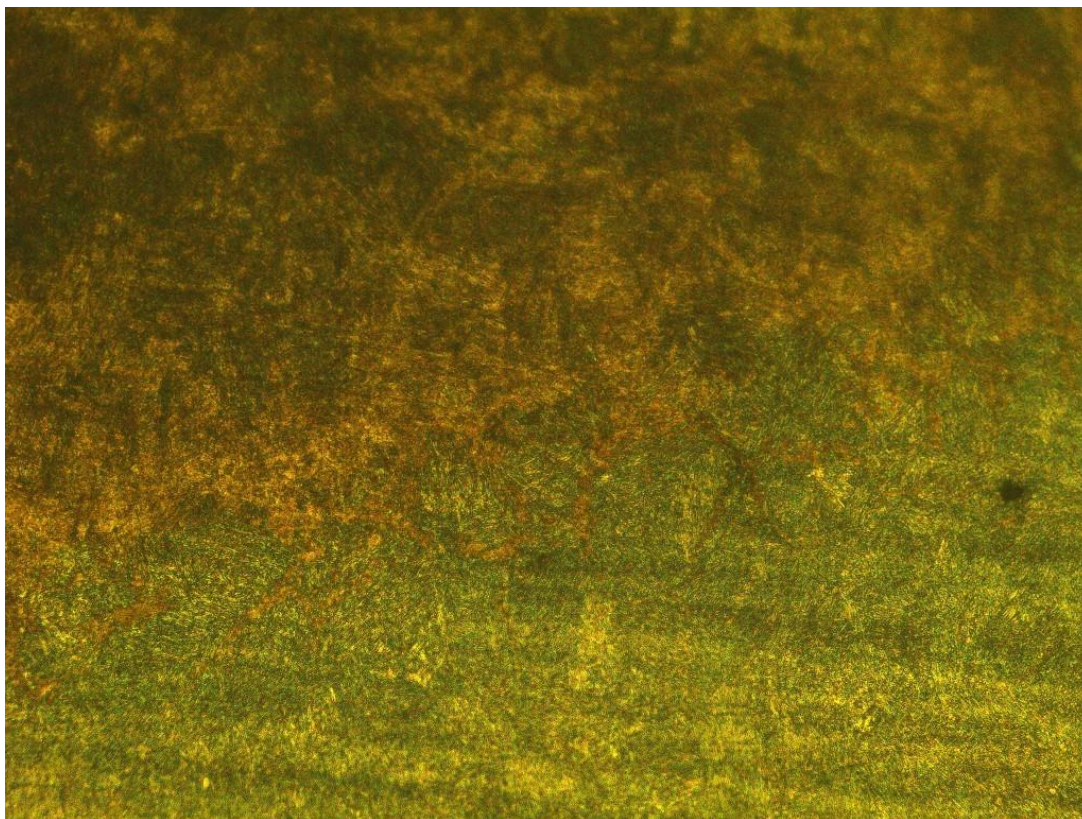


43. ábra 3mm/s sebességgel edzett 1.2714 mikroszkópi képe 500X nagyításban

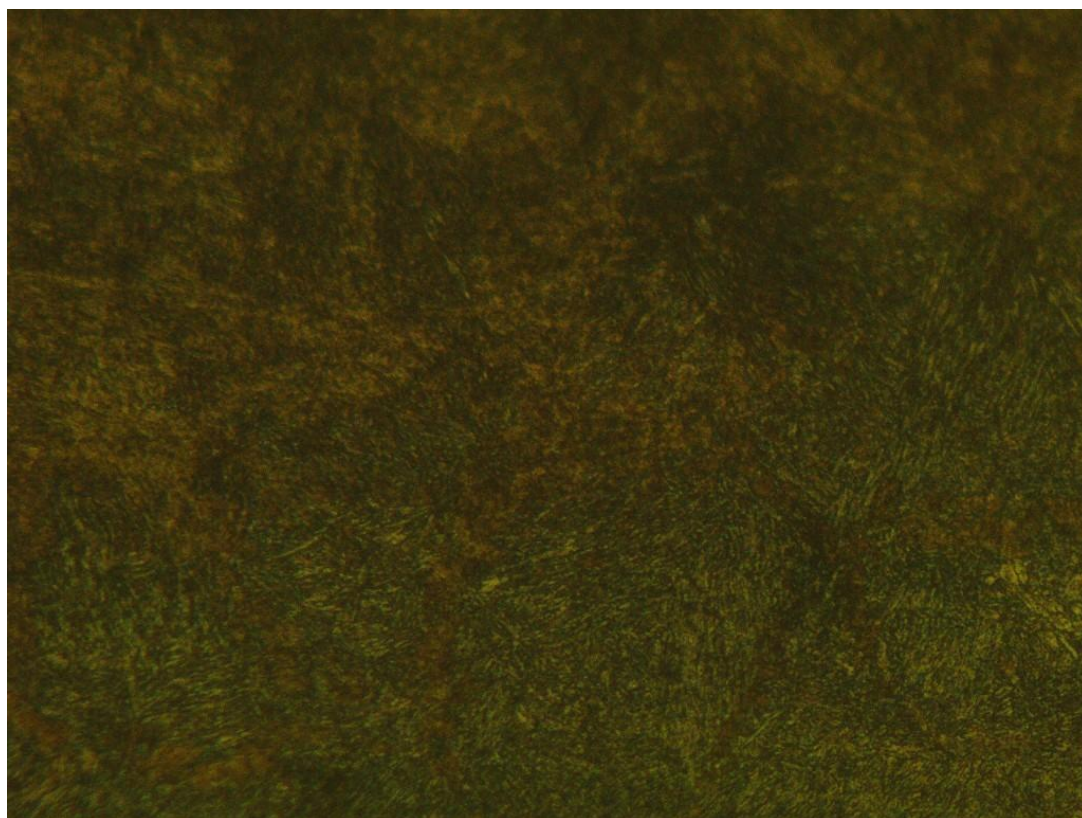
A 3mm/s-val hőkezelt 1.2767 hidegalakító szerszámacél szövetképét mutatja a 44, 45, 46. ábra. Ezek a szövetképek 100x (44. ábra), 200x (45. ábra) és 500x (46. ábra) nagyításban készültek. Az előző anyagokhoz hasonlóan itt is jól elkülönül az alapanya és a lézeredzett felületi réteg. Az 1.2767 szerszámacél 3mm/s sebességgel lézerhőkezelt próbatestről készült panoráma képet a 2.sz mellékletben tekinthetjük meg.



44. ábra 3mm/s sebességgel edzett 1.2767 mikroszkópi képe 100X nagyításban



45. ábra 3mm/s sebességgel edzett 1.2767 mikroszkópi képe 200X nagyításban

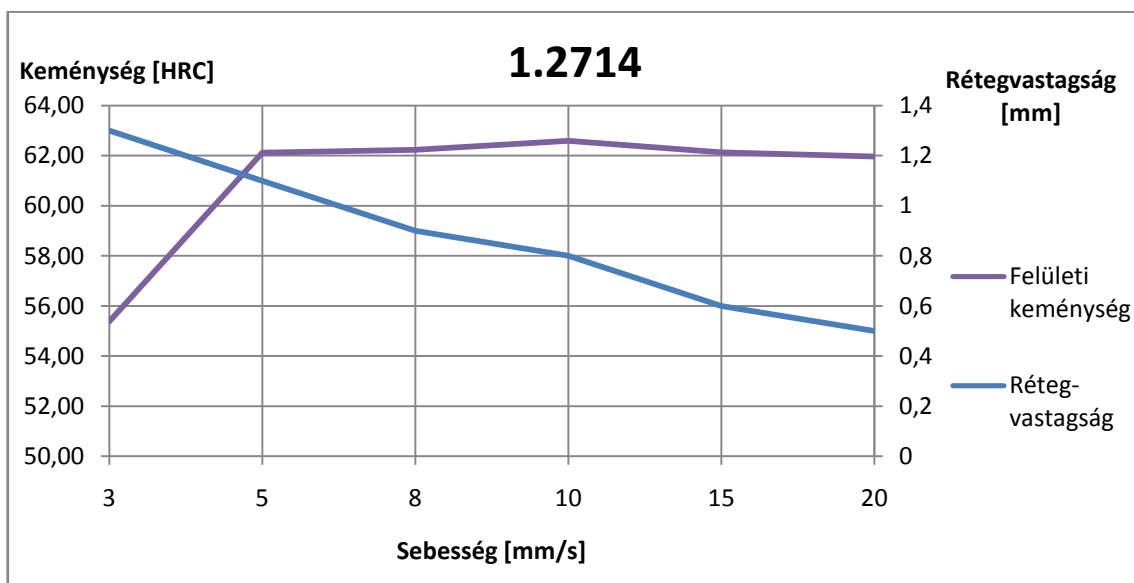


46. ábra 3mm/s sebességgel edzett 1.2767 mikroszkópi képe 500X nagyításban

A 39- 46. ábrákon jól látható, hogy próbadarab felülete felé haladva az alapanyag fokozatosan, keveredve alakul át a kemény réteg szövetszerkezetévé. Ebből is következtethetünk arra, hogy a lézerezéssel elért keménység változik a különböző rétegmélységekben. Az iparban a munkadarabok működő felületeinek megfelelő funkcionalitásához, az adott feladathoz optimális keménység szükséges. Ezt a keménység értéket meghatározott rétegmélységben kell elérni. Ezáltal nem a csiszolatokon jól látható átalakult réteg vastagsága a meghatározó, hanem az a kéreg vastagság, ami teljesíti a kívánt keménységi előírást. Ennek ellenőrzésére a Zwick 3212 mikrokeménységmérő készüléket használtam. A mérések során HV 0,2 mikrokeménységmérést végeztem az 1.2714, 1.2767 és az 1.2311 szerszámacél 3mm/s sebesség paraméterrel kialakított lézerezett csiszolaton. Első lépésként a mérendő test szakszerű befogását kellett végrehajtanom, hogy a mérések közben a próbatest ne tudjon elmozdulni. Erre a célra egy manuális működésű satut alkalmaztam. A satut a mérőgép XY asztalára, azon megfelelő helyre pozicionálva nekikezdektem a mérésnek. A mérési pontokat igyekeztem egymástól közel azonos távolságokban felvenni a metszeten. Az első pont az edzett felületet a lehető legjobban megközelítve lett felvéve, az utolsó pontot úgy választottam meg, hogy az biztosan szövetszerkezet átalakulás mentes területén helyezkedjen el. Mindhárom próbatesten 19-19 mérést végeztem. A lenyomatok közötti távolságot az XY asztal segítségével állítottam be. Ezek a távolságok kis eltérésekkel azonos kerek értéket vesznek fel, az eltérések a mérőgép felépítéséből ered. A mérőgép használata során egy csuklós mechanizmussal tudunk váltani a mikroszkóp és a keménységmérő szerkezet között. A váltás manuálisan történik, a két pozíció meghatározásához ütközők állnak rendelkezésünkre. A bizonytalanság az ütköztetés mértékéből fakad. A pontos lenyomat méret és távolság meghatározás végett a mintákat az XDS-3MET metallurgiai mikroszkóp segítségével ellenőriztem.

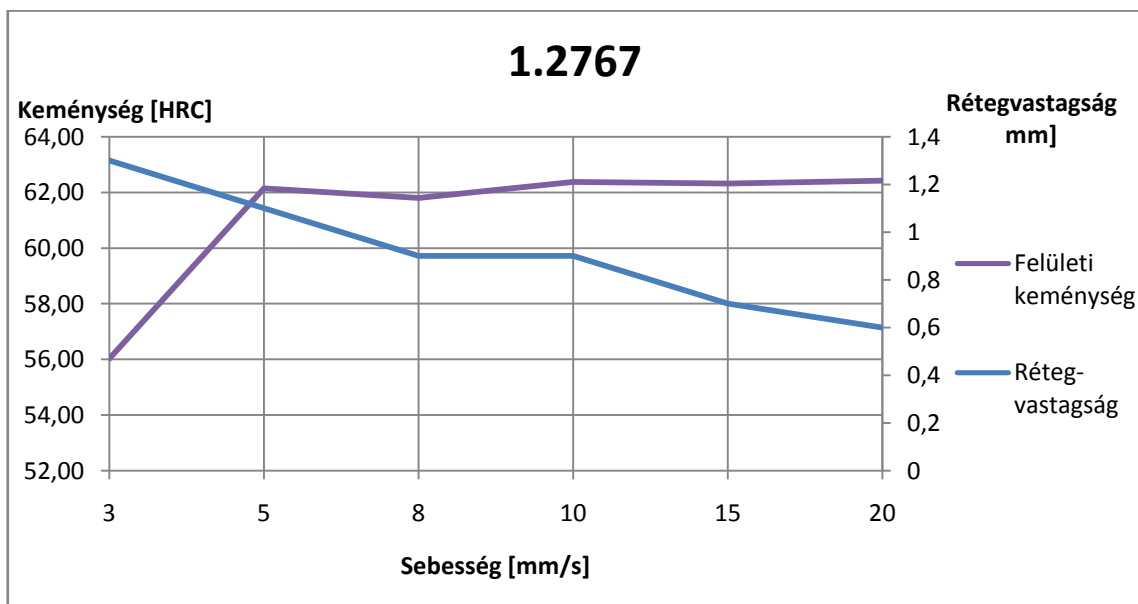
3.7 Kapott eredmények és kiértékelésük

A felületi keménység- és a kialakult rétegvastagság értékek a sebesség függvényében való ábrázolásával, összehasonlíthatóvá válnak a különböző paraméterek egymásra gyakorolt hatásai. A (47. ábra), az (48. ábra) és a (49. ábra) ábrázolja a keménység-rétegvastagság értékeket a sebesség függvényében. A kialakult kéregvastagság értékek közel lineárisan csökkenő függvényt alkotnak a sebesség növekedésével. A keménység értékek a növekvő sebesség függvényében, mint egy az alapanyag-hőmérséklet paraméterpáros által elérhető maximális keménység aszimptota tengelyhez közeledve csökkenő mértékben növekednek. Az optimális sebesség- hőmérséklet páros kiválasztásához sok szempontot kell figyelembe venni. Nem jelenthetjük ki, hogy a (47. ábra), (48. ábra) és a (49. ábra) függvényeinek metszete jelenti a legjobb eredményt. Az igaz, hogy ezen pontokhoz tartozik a keménység, rétegvastagság együttesen elérhető maximuma. Azonban az ipar igényei miatt gyakran eltolódik valamelyik érték irányába a mérleg. Azokban az esetekben, amikor a kisméretű kopás sem engedhető meg, olyankor a keménységre érdemes törekedni. Vannak olyan esetek is, amikor a kéregvastagság igénye nagyobb, mint az adott anyagnál elérhető maximum keménység érték. Az 1.2714 melegalakító szerszámacél lézerhőkezeléssel elért eredményeit mutatja a (47. ábra), ezt összehasonlítva a 3.sz. mellékletben található információk alapján belátható, hogy lézeredzéssel jóval nagyobb keménységet lehet elérni, mint más edzési eljárással. Nem is említve, hogy nincs szükség megeresztésre az edzés után, ami tovább csökkenti az elért keménységet. A (3.sz. melléklet) ugyan nem kéregedzési eljárásról ír, de a hagyományos kéregedzési eljárásokkal hasonló eredmények érhetőek el, mint volumen edzéssel.



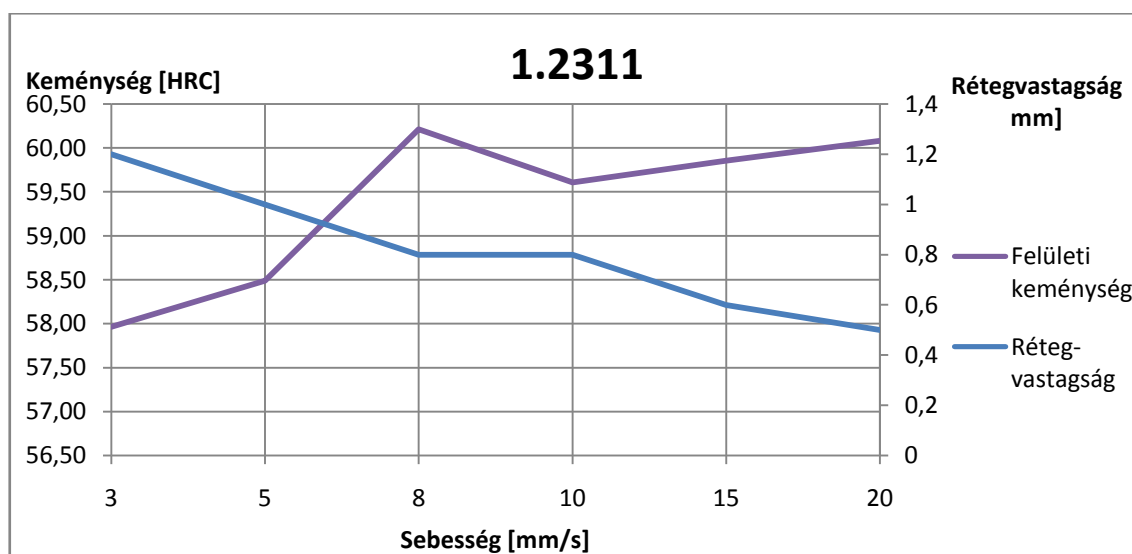
47. ábra 1.2714 Keménység-Rétegvastagság összefüggése

Az 1.2767 hidegalakító szerszámacél, (48. ábra) függvényei nagy hasonlóságot mutatnak, mind értékben, mind tendenciában az 1.2714 47. ábrában ábrázoltakéval. Azonban a rétegvastagság csökkenése a sebesség függvényében kevésbé drasztikus. Összevetve a (4.sz. melléklet)- ben ismertetett keménységekkel, itt is magasabb értékeket kapunk.



48. ábra 1.2767 Keménység-Rétegvastagság összefüggés

A három szerszámacél közül az 1.2311 műanyag-alakító szerszámacélban van a legkisebb szénttartalom, ez meg is látszik az elérhető maximális keménység értékében. Továbbá a másik két szerszámacél nikkel tartalma által az átedzhetőség javul, így kialakítható rétegvastagság is nagyobb ezeknél a fémeknél. Jellemzően előnemesített állapotban szállítják, általában ezért nem kap külön hőkezelést. Azonban az (5.sz. melléklet) megeresztési diagramja alapján itt is nagyobb keménységet tudunk elérni a lézer technológiával.

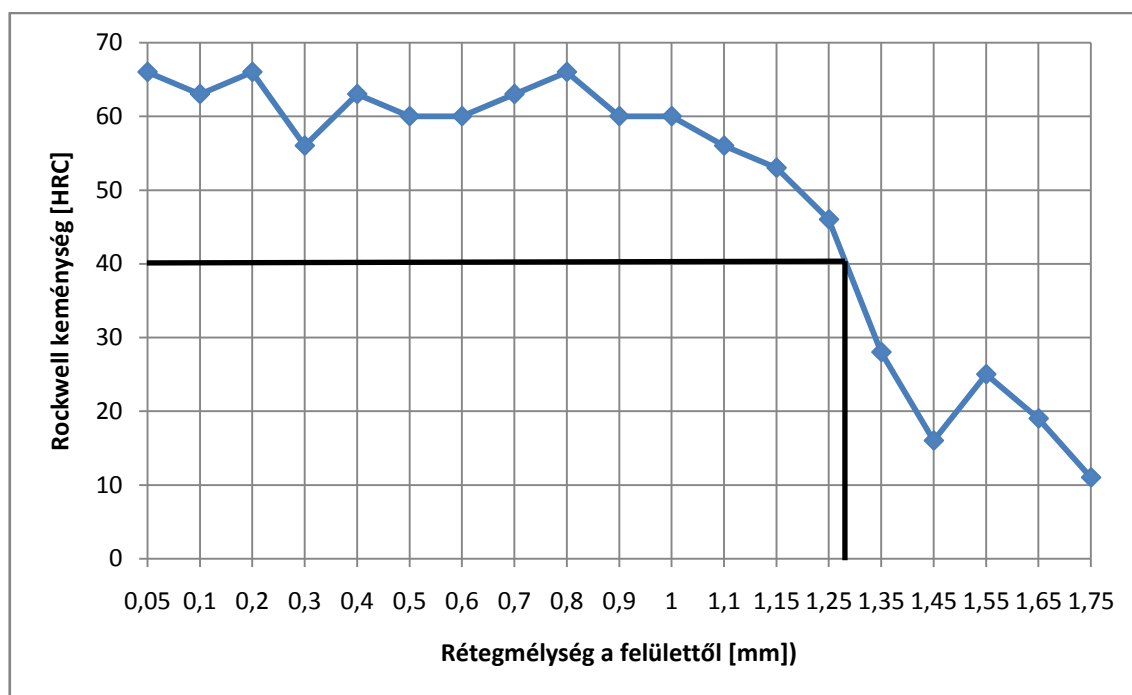


49. ábra 1.2311 Keménység-Rétegvastagság összefüggés

Az eddigiekben a kéregvastagságot az átalakult réteg méretével azonosítottuk. Az ipari felhasználás során azonban meghatározott keménység értéket kívánnak meg, megfelelő rétegmélységben. Mint azt már említettem, a kemény réteg fokozatosan vált át az alapanyag szövetszerkezetévé. Ebből következtethetünk arra, hogy a keménység is hasonlóan változik. A felület közelében a legnagyobb és a mag felé haladva csökken az értéke. Ennek ellenőrzésére alkalmaztam a Zwick 3212 mikrokeménységmérő szerkezetet. Az 1.2714 melegalakító szerszámacél eredményeit a 3. táblázat tartalmazza. A kapott eredményeket a 50. ábra mutatja szemléletesebben. A mérés során a keménységet Vickersben (HV0,2) mértem, majd ezt keménység konverziós táblázat segítségével átváltottam Rockwell (HRC) értékekre.

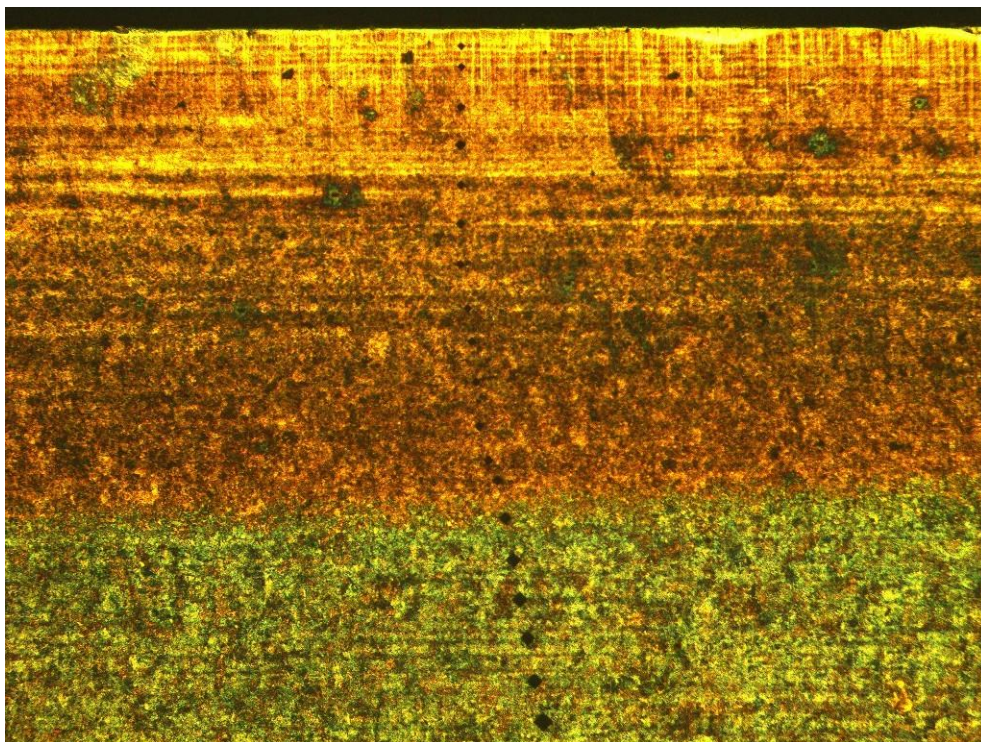
3.táblázat: Mikrokeménységmérés eredményei

1.2714			
Mélység	Lenyomat	HV 0,2	HRC
0,05	8	869	66
0,1	8,5	770	63
0,2	8	869	66
0,3	9,5	616	56
0,4	8,5	770	63
0,5	9	687	60
0,6	9	687	60
0,7	8,5	770	63
0,8	8	869	66
0,9	9	687	60
1	9	687	60
1,1	9,5	616	56
1,15	10	556	53
1,25	11	460	46
1,35	14	284	28
1,45	16	217	16
1,55	14,5	265	25
1,65	15,5	232	19
1,75	17	193	11



50. ábra Mikrokeménységmérés eredménye 1.2714 szerszámacélon 3mm/s sebességű hőkezelésnél

Az 50. ábra alapján megállapíthatjuk, hogy az 1.2714 anyagnál a felülettől mért 1,3 mm mélyen még 40 HRC keménységet tudunk a lézerezéssel elérni. Ez a rétegmélység megegyezik a korábban kézi mikroszkóppal megállapított kéregvastagsággal. Az elérendő keménység - rétegmélység páros meghatározása speciális feladatú munkadarabnál lényeges ipari tevékenység. Ezáltal nem célom meghatározni minimálisan elérendő konkrét keménység értéket, inkább csak megmutatom, hogy az adott átalakult réteg mag felőli határánál milyen keménységet tudunk elérni lézerezéssel. Az 1.2714 szerszámacél mikrokeménységmérése során készített lenyomatokról láthatunk képet az 51. ábrán.



51. ábra Mikrokeménységmérés mikroszkópi képe 50X nagyításban (1.2714)

4. Összefoglalás

A lézerhőkezelés kísérletem megkezdése előtt feltételeztem, hogy a sebesség növelésével a keménység növekedni, a rétegvastagság meg csökkenni fog. A három különböző rendeltetésű szerszámacél lézerhőkezelésének eredményei a vártak megfelelően alakultak. A rétegvastagság közel lineárisan változott az egyes anyagoknál, a keménység értéke csökkenő intenzitással növekedve közelítette a hőmérséklet-anyag paraméterpáros által elérhető maximum keménységet. A lézerhőkezelés hőmérsékletét a kísérletek során nem változtattam, mivel nem az adott anyag maximális keménységi értékének meghatározása volt a célom. A keménységek, így is jelentősen meghaladták a hagyományos edzési eljárásokkal elérhető értékeket. Fontos megemlítenem, hogy a kísérletek elvégzése során a lézerhőkezelés optimális felület lekövetéssel történt. A valóságban lézerezett alkatrészek, munkadarabok hőkezelné kívánt felületeit szabad görbék alkotják. Ezek leképzése általában csak közel optimálisan történhet, ezáltal a dolgozatban szereplő eredmények iránymutató jellegűek. Az eltérések nem mutatnak drasztikus változást, de számolni kell azzal, hogy a felület lekövetése során a keménység - rétegvastagság értéke változhat. Habár ez betudható a hőkezelandő anyag tulajdonságainak is, mint a homogenitás, edzhetőség.

Mint a kísérleti paraméterekből is látszik, a lézerhőkezelés sebessége jelentősen lecsökkenti a hőkezelési időt. Ezt az időt tovább csökkenti az a tény is, hogy nem szükséges a munkadarabot az edzés után megeresztő hőkezelésnek alávetni. Ezek az előnyök miatt egyre jobban előtérbe kerül a lézer technológia alkalmazása hőkezelések terén. A technika dinamikus fejlődése által egyre jobban alkalmazható az ipar minden területén a lézer, ez rugalmas alkalmazhatóságának, a vele történő érintésmentes megmunkálásnak köszönhető. Az üvegszálas vezetésnek köszönhetően a robotra szerelt optikák cseréjével egy lézer berendezés segítségével többféle megmunkálásra vagyunk képesek. Így egy robot-lézer konstrukcióval tudunk hőkezelné, hegeszteni, felszórni és jelölne. Ezáltal olyan multi funkciós szerszámot kapunk, amellyel sok, mára már hagyományosnak számító megmunkálási technika kiváltását tudjuk eszközölné.

5. Felhasznált irodalom

- [1] Educatio Társadalmi Szolgáltató Nonprofit Kft: A röntgensugárzás és a lézer ??????
<http://tudasbazis.sulinet.hu/hu/termesztudomanyok/fizika/fizika-11-evfolyam/a-rontgensugarzas-es-a-lezer/a-lezer>
- [2] Racz Ervin: Lézerek Budapest?????????
<http://uni-obuda.hu/users/racz.ervin/Lezerek.pdf>
- [3] Kovács Endre, Paripás Béla: Fizika II. Miskolc 2011
http://www.tankonyvtar.hu/hu/tartalom/tamop425/0033_SCORM_GEFIT6102/sco_11_06.htm
- [4] Tóth Gábor: A lézerek működésével kapcsolatos jelenségek, a lézerek fajtái, és működésük. 2006
http://madchemist.uw.hu/laser_elmelet.htm
- [5] Dr. Palásthy Béla: Fizika II. Miskolc 2012
http://www.uni-miskolc.hu/~www_fiz/palasthy/Fizika_II/188_15.pdf
- [6] Dr. Ábrahám György, Dr. Lőrincz Emőke, Dr. Antal Ákos, Dr. Tamás Péter: Lézertechnika. Budapest 2014
- [7] Dr. Gonda Viktor: Alakítástechnológia gépei II. ÓE-BGK, Budapest 2014, 4-9o.
- [8] Buza Gábor: Lézersugaras technológiák I. Edutus Főiskola, Budapest 2012
http://www.tankonyvtar.hu/hu/tartalom/tamop412A/2010-0017_50_lezersugaras_technologiak_I/ch01s02.html
- [9] Halász Gábor: Ipari Lézerek Magyarországon. Tatabánya 2014
http://www.bayzoltan.hu/files/uploaded/2_Halasz_Gabor.pdf
- [10] John E. Harry: Ipari lézerek és alkalmazásuk. Műszaki könyvkiadó, Budapest, 1979. 116-129 oldal
- [11] Kátai László: Cad tankönyv. BME, BGK, SZIE jegyzet. Budapest, 2012. 309-312
- [12] Dr. Berkes Ottó: Technológiai lézerek és alkalmazásuk. BME kézirat. Budapest. 1988. 28-35o
- [13] Bíró Szabolcs: Sugaras megmunkálások. BGK jegyzet. Budapest, 2013, 23-50o.
- [14] Dr. Geretovszky Zsolt: A lézernyaláb, mint szerszám. SZTE jegyzet. Szeged, 2012
- [15] Káldy Tamás: Technológiai leírás. Budai Benefit Kft. 2014
- [16] Bagyinszki Gyula, Bitay Enikő: Felületkezelés, Kolozsvár, 2009, 199-204o

- [17] Bagyinszki Gyula, Bitay Enikő: Felületkezelés, Kolozsvár, 2009, 239-242o
- [18] Dr. Czinege Imre, Csizmazia Ferencné Dr., Dr. Solecki Levente: Lézer hónolt felületek vizsgálata. SZIE jegyzet. Szeged, 2008
- [19] Petjan: Jelentős Audi-újítás. Autótechnika. 2014.11
- [20] Bagyinszki Gyula, Bitay Enikő: Felületkezelés, Kolozsvár, 2009, 88-118o
- [21] Kreis István: Lézersugárforrások, Edutus főiskola, Budapest, 2012
http://www.tankonyvtar.hu/hu/tartalom/tamop412A/2010-0017_23_lezersugar_forrasok/ch01s03.html
- [22] Hedue: Pozicionáló és vonaljelölő lézer, elemes pozicionáló lézer, 2016.11.25
http://www.hedue.hu/pozicionalo_lezer
- [23] Trumpf Magyarország: Lézertechnika megoldások, 2016.11.25
<http://www.hu.trumpf.com/hu/termek/lezertechnika/megoldasok/alkalmazasi-terueletek/lezersugaras-vagas/furas.html>
- [24] Budai Benefit Kft.: Bubenlaser géppark/ fanuc robot, Budapest, 2016.11.28
<http://www.bubenlaser-hu.com/fanuc-robot-4-kw-os-lezer>
- [25] Laserline Inc: Products/ LDM series, 2016.11.28
<http://www.laserline.de/high-power-diode-lasers-diode-laser-modules.html>
- [26] Elektro-optika, A mikroszkópok Magyar Szakértője: termékek: Optika XDS-3MET, 2016.11.28
<http://elektro-optika.hu/termek/optika-xds-3met/>
- [27] Walsh Engineering Supplies Ltd.: Quantum QSM 200 pdf, 2016.11.28
<http://www.walshengineering.com/shop/pdf/8059%20QSM200%20Bench%20Grinder.pdf>

6. Mellékletek

1.sz melléklet 1/2: Felületi keménységmérés táblázat

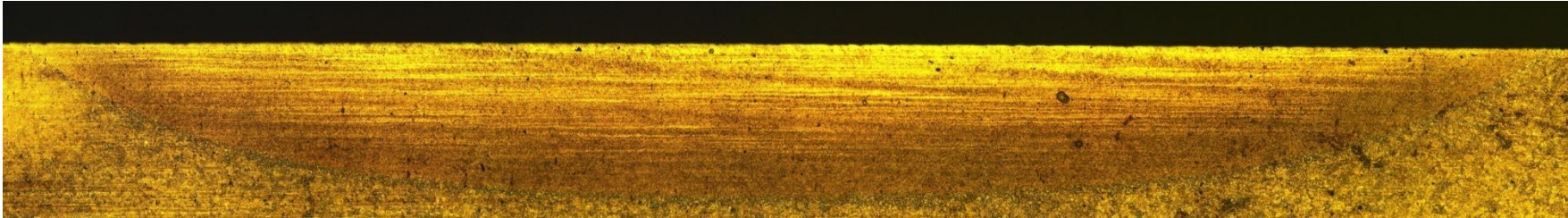
		Sebesség														
		3					5					8				
Anyag	Hőm.	Min	Med	Max	Std.dev	Std.dev %	Min	Med	Max	Std.dev	Std.dev %	Min	Med	Max	Std.dev	Std.dev %
1.2767	1250°C	53,70	56,02	58,70	1,80	3,20	60,70	62,78	63,80	0,83	1,33	61,10	62,36	63,70	0,82	1,31
		54,80	55,90	57,50	0,96	1,71	60,60	62,22	63,30	0,81	1,31	60,10	61,56	62,90	0,79	1,29
		54,80	56,15	57,00	0,64	1,13	60,10	61,41	62,50	0,83	1,35	60,10	61,45	62,40	0,62	1,01
Átlag		54,43	56,02	57,73	1,13	2,01	60,47	62,14	63,20	0,82	1,33	60,43	61,79	63,00	0,74	1,20
1.2714	1200°C	54,70	55,76	57,00	0,80	1,44	60,30	62,00	63,40	0,93	1,50	60,00	61,54	62,80	0,97	1,57
		53,80	55,08	56,50	0,88	1,59	60,80	62,29	63,50	0,83	1,34	61,70	62,85	63,80	0,71	1,13
		54,00	55,32	56,80	0,87	1,57	60,30	62,08	63,30	0,88	1,41	61,00	62,31	63,40	0,90	1,44
Átlag		54,17	55,39	56,77	0,85	1,53	60,47	62,12	63,40	0,88	1,42	60,90	62,23	63,33	0,86	1,38
1.2311	1200°C	55,50	56,98	58,00	0,67	1,18	56,60	57,82	59,60	0,98	1,69	58,70	59,86	61,00	0,76	1,26
		56,60	58,21	59,50	0,77	1,33	57,80	58,99	60,20	0,90	1,53	59,20	60,38	61,50	0,77	1,28
		57,00	58,70	59,60	0,83	1,42	57,40	58,66	59,90	0,96	1,64	59,10	60,40	61,70	0,93	1,55
Átlag		56,37	57,96	59,03	0,76	1,31	57,27	58,49	59,90	0,95	1,62	59,00	60,21	61,40	0,82	1,36

1.sz melléklet 2/2: Felületi keménységmérés táblázat

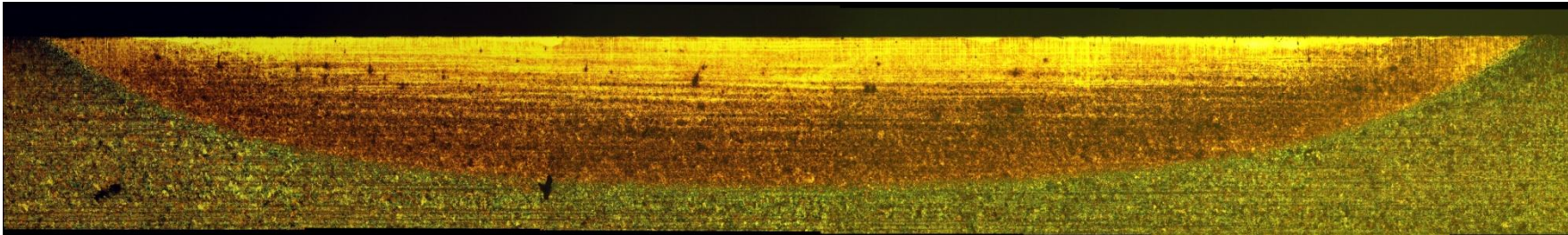
		Sebesség														
		10					15					20				
Anyag	Hőm.	Min	Med	Max	Std.dev	Std.dev %	Min	Med	Max	Std.dev	Std.dev %	Min	Med	Max	Std.dev	Std.dev %
1.2767	1250°C	62,10	62,84	63,90	0,67	1,07	61,50	62,88	63,90	0,78	1,24	61,50	62,57	64,10	0,75	1,19
		60,60	62,23	63,60	0,98	1,57	60,50	62,16	63,40	0,98	1,58	60,80	62,03	63,80	0,88	1,42
		60,80	62,04	63,70	0,83	1,33	60,70	61,89	63,10	1,91	1,48	60,80	62,65	63,80	0,95	1,51
Átlag		61,17	62,37	63,73	0,83	1,32	60,90	62,31	63,47	1,22	1,43	61,03	62,42	63,90	0,86	1,37
1.2714	1200°C	60,90	62,57	63,50	0,84	1,34	59,80	61,19	62,40	0,73	1,19	59,30	61,06	62,60	0,95	1,55
		61,80	62,69	63,90	0,61	0,98	61,40	62,82	64,00	0,96	1,53	61,20	62,46	63,80	0,80	1,28
		61,20	62,52	63,80	0,89	1,42	61,00	62,39	63,90	0,85	1,37	60,80	62,39	63,60	0,80	1,28
Átlag		61,30	62,59	63,73	0,78	1,25	60,73	62,13	63,43	0,85	1,36	60,43	61,97	63,33	0,85	1,37
1.2311	1200°C	58,20	59,15	60,60	0,71	1,20	58,80	60,36	62,00	0,85	1,41	58,90	60,03	61,40	0,73	1,21
		58,90	60,02	61,10	0,67	1,12	59,00	59,88	61,80	0,67	1,12	58,90	60,01	61,90	0,97	1,61
		58,10	59,65	60,90	0,79	1,32	58,30	59,33	60,50	0,65	1,09	59,00	60,21	61,30	0,80	1,32
Átlag		58,40	59,61	60,87	0,72	1,21	58,70	59,86	61,43	0,72	1,21	58,93	60,08	61,53	0,83	1,38

2.sz. melléklet:

3mm/s sebességgel edzett 1.2311 Szövetszerkezetének mikroszkópi képe 50X nagyításban



3mm/s sebességgel edzett 1.2714 Szövetszerkezetének mikroszkópi képe 50X nagyításban



3mm/s sebességgel edzett 1.2767 Szövetszerkezetének mikroszkópi képe 50X nagyításban



3.sz. melléklet: Böhler Kereskedelmi Kft.: 1.2714 megalakító szerszámacél

▶ 1.2714

BÖHLER-JEL: W500 EN-SZÁMJEL: 1.2714, (~1.2711)
EN-JEL: 55NiCrMoV7, (~54NiCrMoV6)

AISI: ~L6
RÉGI MSZ: NK2

VEGYI ÖSSZETÉTEL (%)

C	Si	Mn	Cr	Mo	Ni	V	W	Co	Egyéb
0,55	0,3	0,8	1,1	0,5	1,7	0,1	–	–	–

JELLEMZŐK

Olaj- és légedzésű melegsüllyeszték acél, a nikkelötvözésnek köszönhetően jó átedzhetőséggel. Jó szívósság és melegsüllyesztés. A lágyított mellett előnemesített (kb. 355–415 HB, kb. 1200–1400 N/mm²) szállítási állapotban is rendelhető. Lángedzhető, fotomarázható, nagyon jól polírozható, keménykrómozható.

ALKALMAZÁSI TERÜLET

Kovács- és préssüllyesztékek a legnagyobb méretektől, kovácsnyergek, süllyeszték- és matricatartók, melegelőlékek, csőszáj- és extruderszerszámok, szerszám- és sajtolótüske-tartók, támasztószerszámok, hajlító- és sajtolószerszámok, meleglyukasztó bélyegek, hidroforming szerszámok, zsugorgyűrűk. Műanyag-alakítás: jó felületi minőségű sajtoló- és fröccsöntő szerszámok, fokozott mechanikai (kopásállóság, nyomószilárdság, melegsüllyesztés) és hőigénybevétel, ill. nagyobb méretek (kb. 400–1000 mm vastagság) esetén. Mind előnemesített, mind pedig kontúr-nemesített állapotban (lágyított állapotban, kb. 5 mm ráhagyással történő nagyoló megmunkálást követően, kb. 44 HRC felületi keménységre nemesítve) alkalmazható. A kontúr-nemesítés nagyméretű, 355 HB-nél keményebb formákhoz ajánlott. Alkalmazható: termoplasztokhoz, ABS, SMC, GMT, lenrostonnal erősített PP, átlátszó masszákhoz, ill. sajtolószerszámok esetén duroplasztokhoz is.

HŐKEZELÉS

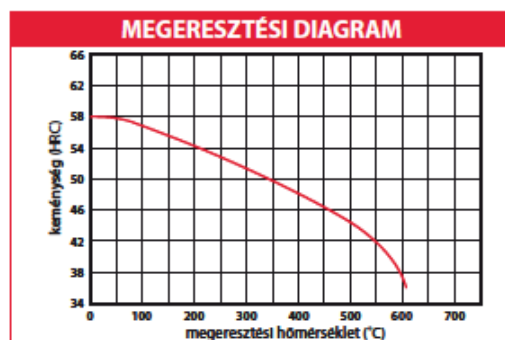
Lágyítás: 680–720 °C, 2–5 óra hőntartás, szabályozott lassú hűtés kemencében (10–20 °C/óra) kb. 600 °C-ig, utána levegőn. Keménység lágyítás után: max. 248 HB.

Feszültségcsökkentő izzítás: 600–650 °C, hőntartás semleges atmoszférában legalább 4 óra, lassú hűtés kemencében.

Edzés:

830–870 °C, hőntartás a teljes átmelegedés után 15–30 perc. Hűtés: olaj. Elérhető keménység: 52–58 HRC.
860–900 °C, hőntartás a teljes átmelegedés után 15–30 perc. Hűtés: levegő, gáz (vákuum). Elérhető keménység: 44–50 HRC.

Megeresztés: 300–600 °C, lassú felmelegítés közvetlenül az edzés után > hőntartási idő a kemencében 1 óra/20 mm munkadarab-vastagság, de legalább 2 óra > levegőhűtés. Legalább kétszeri megeresztés ajánlott, egy 3. megeresztés a feszültségcsökkentéshez előnyös. A megeresztés után elérhető keménység-irányértékek a megeresztési diagramon láthatóak. Szokásos munkakeménység: 36–52 HRC.



Edzési hőmérséklet: — 850 °C/olaj
Próbakeresztmetszet: ø 20 mm

RAKTÁRI PROGRAM

RÚDACÉL

kör	négyszet	lapos
☒	☐	☐

TÖMB **LEMEZ**

☒	☒
-------------------------------------	-------------------------------------

SZÁLLÍTÁSI ÁLLAPOT

lágyított (max. 248 HB) / előnemesített (355–415 HB)

BÖHLER K600 (1.2767 ESU/ESR)

EN-SZÁMJEL: 1.2767

AISI: –

EN-JEL: 45NiCrMo16, (X45NiCrMo4)

RÉGI MSZ: –

VEGYI ÖSSZETÉTEL (%)

C	Si	Mn	Cr	Mo	Ni	V	W	Co	Egyéb
0,48	0,23	0,40	1,30	0,25	4,00	–	–	–	–

JELLEMZŐK

Nikkelötvöztetésű hidegalakító szerszámacél nagyon jó szívóssággal, nyomószilárdsággal és átedzhetőséggel. Egyszerűen hőkezelhető, egyenletes beedződés nagyobb keresztmetszetek esetén is. Olajban és levegőn edzhető, a hőkezelési méretváltozás csekély. Nagyon jól (magas fényre) polírozható, fotomaratható, szikraforgácsolható, keménykrómozzható. Elektroszalagos átolvasztással előállított kivitelben is rendelhető (1.2767 ESU/ESR), melynek nagyobb tisztasági foka, finomabb és egyenletesebb eloszlású karbidjai, homogénebb szövetszerkezete miatt még jobb a polírozhatósági tulajdonságai.

ALKALMAZÁSI TERÜLET

Alkalmas közepes vagy akár nagyon nagy méretű műanyag-alakító vagy szívós hidegalakító szerszámokhoz: nagy szívóssági igénybevételű tömörsajtoló szerszámok, evőeszközök kivágószerszámjai, hidegbenyomó szerszámok, hidegollókések, vágó- és kivágószerszámok (vágólapok és bélyegek) vastag lemezekhez ($R_m < \sim 1000 \text{ N/mm}^2$, 12 mm vastagság felett), ócskavas- és öntecsvágó ollókések, nehéz hidegalakítások és hajlítások szerszámjai. Húzópofák, nagy esztergapontozók és hasonló, nagy szívóssági követelményű szerszámok. Vasalatok, zsugorgyűrűk igény szerinti szilárdságra (1300–1600 N/mm²) megeresztve.

Műanyag-alakítás: sajtoló- és fröccsöntőformák, ahol a nagy keménység, abrazív kopásállóság mellett a magas felületi minőség és a jó szívósság is követelmény. Jó szívóssági tulajdonságai alapján mély kimunkálású formákhoz is felhasználható. Alkalmazható: átlátszó formamasszákhöz, termoplasztokhoz és duroplasztokhoz, erősített műanyagokhoz. Nagy formákhoz a kontúrneresztés (nagyoló megmunkálást követően kb. 5 mm ráhagyással nemesítve) ajánlott.

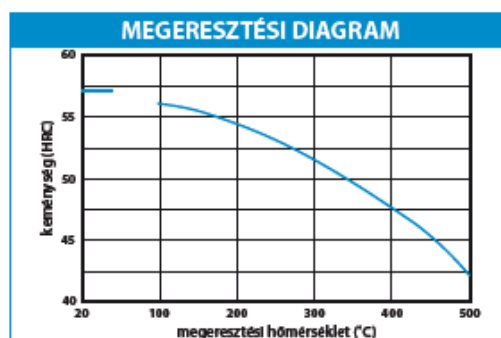
HŐKEZELÉS

Lágyítás: 610 (620)–650 °C, szabályozott lassú hűtés kemencében (10–20 °C/óra) kb. 600 °C-ig, utána levegőn. Keménység lágyítás után: max. 285 HB.

Feszültségcsökkentő izmitás: Kb. 650 °C, hőtartás semleges atmoszférában a teljes átmelegedés után 1–2 óra, lassú hűtés kemencében.

Edzés: 840–870 °C, hőtartás a teljes átmelegedés után 15–30 perc. Hűtés: olaj, sófürdő (300–400 °C), levegő, gáz (vákuum). Elérhető keménység edzés után: 53–57 HRC levegőhűtés esetén, 54–58 HRC olaj-, sófürdős vagy gáz-hűtés esetén.

Megeresztés: Lassú felmelegítés közvetlenül az edzés után > hőtartási idő a kemencében 1 óra/20 mm munkadarab-vastagság, de legalább 2 óra > levegőhűtés. A megeresztés után elérhető keménység-irányértékek a megeresztési diagramon láthatóak. Szokásos munkakeménység: 50–56 HRC. Bizonyos esetekben ajánlott a megeresztési hőmérséklet csökkentése és a hőtartási idő növelése.



Edzési hőmérséklet: — 850 °C

Próbakeresztmetszet: 20 mm négyyszög

RAKTÁRI PROGRAM		
RÜDACÉL		
kör	négyzet	lapos
☒	☒	☒
TÖMB		LEMEZ
☒		☒
SZÁLLÍTÁSI ÁLLAPOT		
lágyított (max. 285 HB)		

Az 1.2767 ESU/ESR csak tömb formában van a raktári programban.

1.2311

BÖHLER-JEL: M201 EN-SZÁMJEL: 1.2311 AISI: ~P20
EN-JEL: 40CrMnMo7 RÉGI MSZ: –

VEGYI ÖSSZETÉTEL (%)

C	Si	Mn	Cr	Mo	Ni	V	W	Co	Egyéb
0,40	0,3	1,5	1,9	0,2	–	–	–	–	–

JELLEMZŐK

950–1100 N/mm² szakítószilárdságra (280–325 HB) előnemesített szállítási állapotú, króm-mangán-molibdén ötvöztetésű műanyag-alakító szerszámacél. Homogén szövetszerkezet, jól/gazdaságosan forgácsolható. Jó átedződése által egyenletes szilárdságú a teljes keresztmetszet mentén, nagyobb méretek esetén is (kb. 400 mm vastagságig). Nagyon jó – a Böhler M200-at (1.2312) jelentősen meghaladó – szívósság. Nitridálható, betétedzhető, lánggal és indukciósan edzhető, keménykrómozható, bevonatolható. Nagyon jól polírozható, szikraforgácsolható, fotomarátható. EST* kivitelen is rendelhető.

*EST – Extra Struktur: Az acél előállításától a hőkezelésig alkalmazott különleges eljárások révén jelentősen javított minőség a normál kivitelen képest: nagyobb tisztasági fok, növelt szívóssági értékek, egyenletesebb lágyított és nemesített szövetszerkezet, szerkezeti kezelés, jobb mérettartás hőkezeléskor, jobb polírozhatóság és fotomaráthatóság.

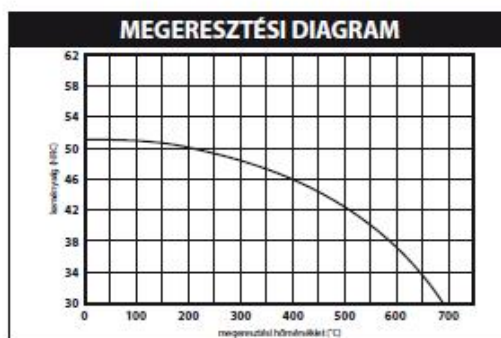
ALKALMAZÁSI TERÜLET

Műanyag- ill. gumialakító szerszámok nagyobb és közepes méretű formái (kb. 400 mm vastagságig, e felett a magkeménység észrevehetően csökken). Alkalmazható termoplasztokhoz, nagy sajtolt ABS idomokhoz is, duroplasztokhoz. Polírozáshoz az EST kivitelt ajánlott. Szerszámkeretek a műanyag- és nyomásosöntő-iparban. Általános gépészeti alkatrészek, készülékelemek, tengelyek, csapszegek.

HŐKEZELÉS

Mivel az acél szállítási állapota előnemesített, általában nem szükséges hőkezelés.

Feszültségcsökkentő izzítás: Max. 480 °C, hőtartás legalább 4 óra, lassú hűtés kemencében.



RAKTÁRI PROGRAM		
RÚDACÉL		
kör	négyzet	lapos
☒	☒	☒
TÖMB		LEMEZ
☒		☒
SZÁLLÍTÁSI ÁLLAPOT		
előnemesített (950–1100 N/mm ² , 280–325 HB)		