

Fémporfúvós lézersugaras felrakóhegesztéssel kialakított rétegek vizsgálata

Examination of layers formed by metal powder blowing laser beam welding

Gégény Ádám
IWL7XN

Hareancz Ferenc, Egyetemi tanársegéd

Jelen TDK dolgozat a 2024-2.1.1-EKÖP-2024-00008 projekt keretében jött létre.

1 Köszönetnyilvánítás

Szeretném köszönetemet kifejezni Hareancz Ferenc témavezetőmnek, aki bemutatta nekem a lézeres felrakóhegesztés technológiájának alapjait, megalapozta a dolgozat létrejöttét, és végig támogatott. Továbbá szeretnék köszönetet mondani, Juhász Gergelynek, aki hasznos szakmai tanácsokkal látott el a felrakások és az előkészítés során. Kettejük elhivatottsága, szakmai tudományos hozzáértése végig motiváló volt a dolgozatom megírása során. Szeretnék köszönetet mondani Kölüs Martinnak és Péczy-Kovács Péternek a spektrométeres vizsgálatokban való segítségükért. Továbbá szeretnék köszönetet mondani az egész Mechanikai- és Lézersugaras technológiák kutatócsoportnak, amiért használhattam az eszközeiket, berendezéseiket, alapanyagaikat.

A 2024-2.1.1-EKÖP-2024-00008 számú projekt a Kulturális és Innovációs Minisztérium Nemzeti Kutatási Fejlesztési és Innovációs Alapból nyújtott támogatásával, a 2024-2.1.1-EKÖP pályázati program finanszírozásában valósult meg.

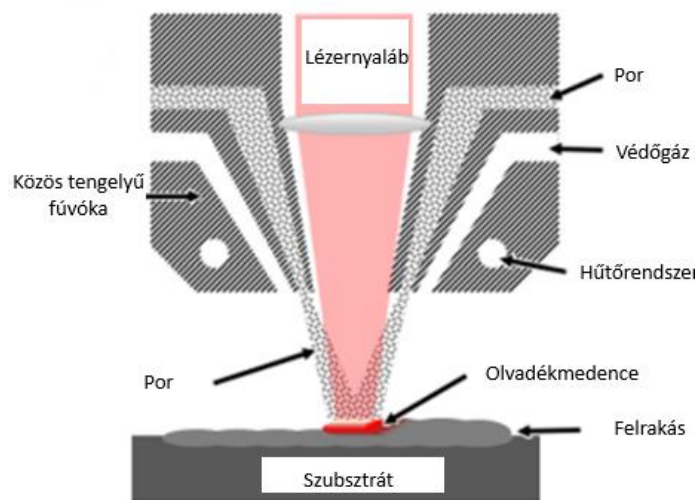
Tartalomjegyzék

1	Köszönetnyilvánítás	1
	Tartalomjegyzék.....	2
	Bevezetés	4
2	Irodalmi áttekintés	5
2.1	Lézeres felületkezelések történelmi háttere	5
2.2	Lézersugaras felületmódosítási eljárások	6
2.2.1	Felületedzés	6
2.2.2	Felületi átolvasztás	6
2.2.3	Felületi ötvöztetés	6
2.2.4	Lézeres felületi ráolvasztás.....	6
2.3	Fémek fejlődése	6
2.3.1	Ipari jelentőség.....	7
2.4	Lézeres felrakás folyamata	8
2.5	A lézernyaláb intenzitásprofiljai	10
2.6	Lézeres felrakóhegesztés utómegmunkálásai	11
2.7	Különböző kutatási áttekintés a bevonatokra	14
2.7.1	Wolfram-Karbid-Nikkel bevonat	14
2.7.2	Wolfram-karbid részecskék méretének hatása.....	15
2.7.3	Vas alapú bevonat	16
2.7.4	Kobalt alapú bevonat	19
3	Kísérlet menete	20
3.1	Alkalmazott lézercella	20
3.2	Anyagok kiválasztása	21
3.3	Felrakások paraméterei.....	21
3.4	Vizsgálati eljárások	22
3.4.1	A CNC kód.....	23
3.5	Minták előkészítése	25
4	Vizsgálatok.....	26
4.1	Első vizsgálat: Metco 5163.....	26
4.1.1	Egyréteges felrakás	26
4.1.2	Háromréteges felrakás	30
4.1.3	Ötréteges felrakás	31
4.2	Második vizsgálat Metco 45C-NS	33
4.2.1	Egyréteges felrakás	33
4.2.2	Háromréteges felrakás	35
4.2.3	Ötréteges felrakás	37
4.3	Harmadik vizsgálat: m4p V15-Fe.....	39

4.3.1	Egyréteges felrakás	39
4.3.2	Háromréteges felrakás	40
4.3.3	Ötréteges felrakás	42
5	Összegzés, Summary	44
	Ábrajegyzék	45
	Irodalomjegyzék.....	46

Bevezetés

Az angolul additive manufacturing (rövidítve AM) néven ismert eljárások egy része nem más, mint a hagyományos felrakóhegesztés újragondolása, és egyre nagyobb teret hódít magának a gépipar több ágazatában. Alkalmazásával tetszőleges geometria felépíthető, amelynek „csak” az alkalmazott hegesztési eljárás térfogati felbontása szab határt. Ipari alkalmazásban elterjedt a lézersugaras, por adagolós eljárás, amit öttengelyes megmunkáló központokba integrálnak. A védőgázos, huzalelektrodás ívhegesztés alkalmazása az additív gyártásra kevésbé kiforrott, de robotosítva hasonlóan alkalmas. [1.]



1. ábra Lézeres felrakás

Dolgozatomban, az egyik poradagolós technológiát, az LMD (Laser Metal Deposition) alkalmazom, ahol a lézersugár megolvasztja az áramoltatott fémport. Így kialakíthatóak a felrakások, amikkel a munkadarab alakja leképezhető.

Alapvetően kettő nagy csoportra oszthatóak a DED gyártási folyamatok, melyeknek számos alcsoportja létezik: [2.]

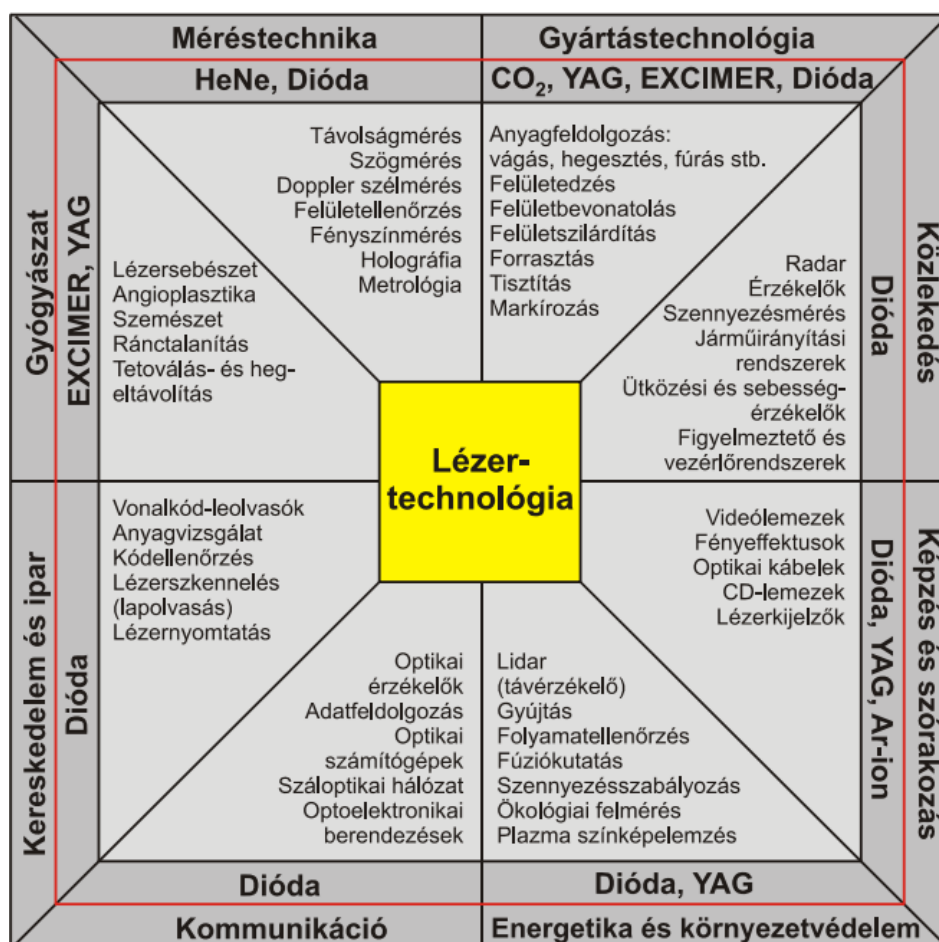
1. Poradagolós gyártás (LAM-LDED)
 - a. **LMD: Laser Metal Deposition**
2. Huzalos íves additív gyártás (WAAM)
3. Huzal és lézeres technológia (WLAM)
4. Huzal és elektronnyalábos technológia (WEAM)

2 Irodalmi áttekintés

2.1 Lézeres felületkezelések történelmi háttere

Az évtizedekkel ezelőtt felfedezett lézer számos lehetőséget nyitott sok tudományágban. Az első évtizedben laboratóriumi tesztek végeztek, ahol az alkalmazások lehetőségeit vizsgálták, majd ezután először a mérés- és távvezérlés területén majd az ipari eszközök területén alkalmazták.

Sokfajta lézer létezik, melyek egymástól méret, teljesítmény, sugárzás hullámhossza, előállítási költségek szempontjából különböznek másoktól. Az ipari felhasználáshoz képest alacsony teljesítményű lézerekkel találkozhatunk a mindennapokban, például a távvezérlés területén lézervezérelt üvegszálak technológiát alkalmaznak adatok leolvasásához, szkennerek felépítésénél vagy akár CD lejátszóknál. [3.]



2. ábra Lézer-technológiák alkalmazásai

2.2 Lézersugaras felületmódosítási eljárások

2.2.1 Felületedzés

Az anyag felületét ezen eljárás során oly módon kezelik, hogy ne olvadjon meg, majd viszont a hőhatásra a vasötvözet felületi rétegében ausztenites, majd a hűtés következtében martenzites szerkezetű legyen, ezzel megnövelve a kopásállóságot és csökkentve a kifáradási hajlamot.

2.2.2 Felületi átolvasztás

Ezen eljárás során az anyag felületi rétegét megolvasztják a lézerrel, majd gyors hűtéssel szilárdítják. Az összetétel nem változik, viszont a felület szerkezete igen. Fémek esetén ez lehet amorf vagy mikrokristályos felület, ami javítja a felület kopás-, és korrózióállóságot vagy csökkenti a kifáradási hajlamot.

2.2.3 Felületi ötvözés

A szubsztrátot a célnak megfelelő összetételű porral kezelik. A lézeres eljárás során megolvad a por, és a hordozóanyag felületi rétege is, ami az ötvözetréteget képi.

2.2.4 Lézeres felületi ráolvasztás

Nevezhető lézeres felületi felrakásnak is, hasonló a felületi ötvözéshez. A szubsztrát nem, vagy csak nagyon kis mértékben olvad meg. Ennek oka, hogy ne híguljon a kialakuló bevonat. [3.]

2.3 Fémek fejlődése

Napjainkban a fémek használata kiterjed az élet minden területére, a repülőgépipartól az ékszerek gyártásáig, ahol különböző fizikai paramétereknek kell megfelelniük, megfelelő tömegűnek kell lenniük, bizonyos esetekben korrózióállóknak vagy valamilyen elvárt karakterisztikával kell rendelkezniük. A mérnöki ötvözetek olyan fémek, amelyek egy vagy több fémes (például: Fe, Al, Ti), vagy egyéb nem fémes elemet tartalmaznak (például: C, N, H), olyan fémeken alapszanak, amelyek alacsony sűrűségűek (például: Mg, Al, Titán-ötvözetek), nagy elvárt szilárdságuk van (például: Mg, Al, Titán-ötvözetek), nagy a hőállóságuk (például: Titán- és Nikkel ötvözetek), és tökéletes a korrózióállóságuk (például: Titán-,

Alumínium- és Nikkel ötvözetek). Az ipar és az igények növekedésével a mérnöki ötvözetek hatalmas fejlődésen mentek keresztül, alkalmazásuk gyorsabban fejlődött más hasonló anyagokhoz képest. Az első kutatások azt mutatták bár, hogy a hátrányaik enyhültek (például az alacsony keménység, magas súrlódási együttható, gyors kopás és magas hőmérsékletű oxidáció), de ezek a paraméterek csak a felületre korlátozódtak, tehát a kulcs a felületi tulajdonságok fejlesztésében van. Jelentős számú tanulmány készült a mérnöki ötvözetek felületmódosításairól különböző esetekben, amik hegesztés, hőpermetezés, ionimplantáció, CVD és lézeres felrakások témaköreire terjedtek ki. A lézeres felrakás technológiája egy robosztus kombináció, ahol a keveredés korlátozható, valamint a hőhatás zóna (HAZ-Heat Affected Zone) is valamelyest szabályozható, ami azon az anyagon alakul ki, ahova a felrakás készül. [4.]

2.3.1 Ipari jelentőség

A titánium-, magnézium- és egyéb ötvözeteknek ipari szempontból kiemelkedő jelentőségük van, például magas szilárdság, megfelelő keménység és alacsony sűrűség. Ezen anyagok széles körben elterjedtek az autóiparban, valamint a repülőgép iparban. Az ipar fejlődésével ezen anyagok magas hőmérsékleten, magas nyomáson és kopó környezetben kerülnek felhasználásra, azonban a fent említett anyagok használatát nagyban korlátozzák ezen körülmények, mivel gyenge a hőstabilitásuk. Ezeknek a problémáknak a megoldására sok felületjavító technológia létezik, köztük a lézeres felrakóhegesztés.



3. ábra Lézeres felrakóhegesztés a gyakorlatban

Ez egy újfajta, fejlődésben lévő eljárás, jellemzően a felületjavításra és törött alkatrészek javítására használatosak. Alapvető módszer a lézeres felrakás technológiájában a felrakó por megolvasztása a szubsztráton, lézersugár kíséretében. A hőmérséklet gradiens nagy, tehát finom szemcsés, kemény bevonatot lehet a szubsztrát felületére felvinni.

A többi felületkezelési technológiához képest több előnye is van, például a felrakott rétegek és szubsztrát között erős kötések alakulhatnak ki, a hőhatás zóna kicsi, és a nagy hőmérsékletgradiens miatt finom mikrostruktúrát alkot, valamint környezetbarát és anyagtakarékos. [5.]

Egyéb anyag és ötvözeteket is lehet ilyen módon gyártani, például az alumíniumot és ötvözeit, melyek szintén elterjedtek a repülőgép iparban. Rozsdamentes acélt autóiipari és háztartási termékek esetén használnak, titániumot és ötvözeit pedig az orvosiparban. Innen is látszik a felhasználás két nagy csoportja, a javítás, és újra gyártás. Az utóbbi csoportnál megállapították, hogy a környezeti hatások és az egész termékéletről környezeti hatása 63,8%-kal csökken. [6.]

Az egyedi karakterisztikának köszönhetően nagy fejlesztési potenciál van a lézeres felrakóhegesztésben a javítás és felületkezelés, valamint az új termékek gyártásának területén. A számítógépes hardver és szoftver technológiák fejlődésével és a lézer árainak csökkenésével ezen technológia



4. ábra LMD javítás

nagy figyelemre tett szert az elmúlt időszakban. Mivel a rétegek minőségét sok paraméter befolyásolja, így előfordulhatnak hibák az egyes rétegekben, amelyek befolyásolják az alkatrészek teljesítményét. Összességében viszont elmondható ezen technológiával kialakított geometriákról, hogy jó kopásállóságuk és korrózióállóságuk van. Manapság a kutatások, a kopásállóságra, illetve a magas hőmérsékletű oxidációállóságra, valamint a korrózióállóságra vannak főként kihegyezve. [7.]

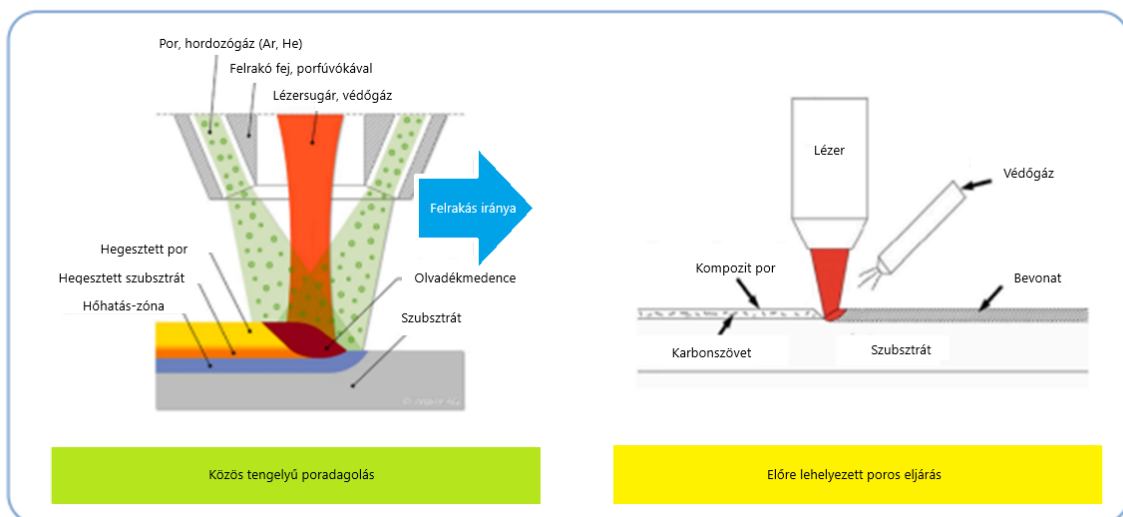
2.4 Lézeres felrakás folyamata

Első lépésként meg kell határozni a megfelelő paramétereket, melyeket rendszerint tapasztalati úton lehet optimalizálni. A legfontosabb a teljesítmény, az adagolás sebessége, a rétegszám. Ezeknek a paramétereknek van a legnagyobb hatása a morfológiára,

mikrostruktúrára, és a bevonat egyéb tulajdonságaira. A lézeres felrakásnál fontos megjegyezni, hogy a folyamat eredményességére nagyban hat a gyors hűtés, ami alagutakat, buborékokat és repedéseket okozhat a felrakásban. Ha a teljesítmény túl nagy, a fej sebessége túl alacsony, nagyon nagy bevitt hőűréséghez alakulhat ki, ami a hordozóanyagdeformációjához, a por égéséhez, valamint a felrakott réteg törékenységéhez vezet. Ezzel szemben a megfelelő teljesítmény és vonalsebesség megválasztásával elkerülhetjük a felrakás során keletkező problémákat és megfelelő rétegeket alakíthatunk ki. [8.]

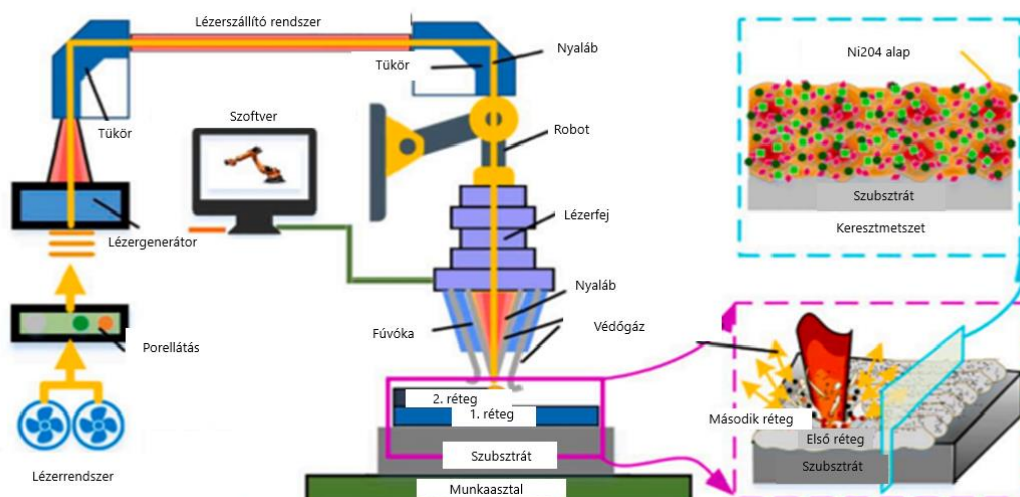
Alapvetően egy nagyteljesítményű lézer a hőforrás, aminek a segítségével kialakítjuk a rétegeket a szubsztráton. Adagolás tekintetében négy eljárást különböztethetünk meg: közös tengelyű poradagoló, nem közös tengelyű poradagoló, az előre lehelyezett por és huzalos adagolás. Legelterjedtebb ezek közül a közös tengelyű adagolás, és az előre lehelyezett por. A lézer megolvasztja a szubsztrátot, ahol egy ömledékmedence képződik, majd ebbe adagolja a szórófej a fémport a védőgáz segítségével. A lézer kapcsolatba lépett a folyékony ömledékkel, kialakulnak a rétegek. A folyamat során az adagolófej együtt mozog a lézersugárral. Ettől eltérően működik az előre lehelyezett poros módszer (angol irodalmakban preplaced powder system), ahol a felrakandó réteg anyagát előre felviszik a szubsztrát vagy másnéven hordozóanyag felületére. Ennél az eljárásnál a lézersugár megolvasztja ezt a porréteget, majd az ömledék hirtelen lehül, így kialakítva a felrakott réteget.

A lézeresen felrakott minták négy részre oszthatók fel: felrakási zóna (cladding zone-CZ), határfelületi zóna (interfacial zone- IZ), hőhatás zóna (heat affected zone-HAZ), illetve a hordozóanyag vagy szubtrát (substrate-SUB).



5. ábra Közös adagolás és az előre lehelyezett poros eljárás

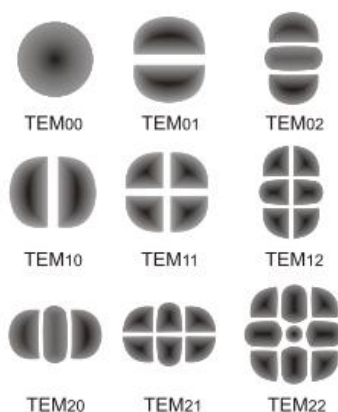
Általánosságban a két legelterjedtebb eljárásról elmondható, hogy a közös tengelyű adagolásnál a lézer kihasználtsága magas, viszont magasak a technológiai feltételek, ha minőségi rétegeket szeretnénk kialakítani. Ha megvizsgáljuk az előre lehelyezett poros eljárást, azt láthatjuk, hogy egyszerűbb és jobb a rétegkialakítás, viszont a behatás mélységének szabályozása kihívást okozhat, illetve az anyag folyása nagy mértékű. [4.] Gépi oldalról vizsgálva a fő alkatrészek maga a lézerberendezés, az LMD-fej, az adagoló, és a feldolgozó egység. Ezeknek a részeknek mind külön karakterisztikája van.



6. ábra A teljes folyamat elvi vázlata

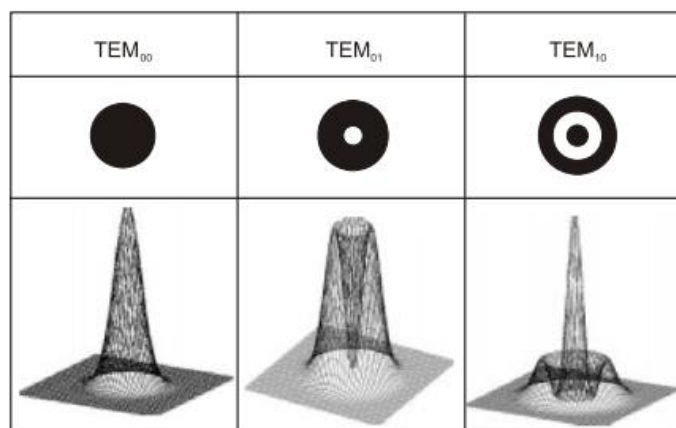
2.5 A lézernyaláb intenzitásprofiljai

Lézeres megmunkálásoknál alapvetően különböző nyalábokkal lehet dolgozni. A nyaláb profilját több paraméter befolyásolja, például a rezonátor hossza, a felépítés, sugárzott hullámhossz, tükör kiképzése.



7. ábra Intenzitásprofilok és elnevezéseik

A legideálisabbnak az úgynevezett TEM_{00} -t transzverzális módust nevezzük, ennek oka, hogy körszimmetrikus, Gauss-eloszláshoz hasonló alakú. [3.]



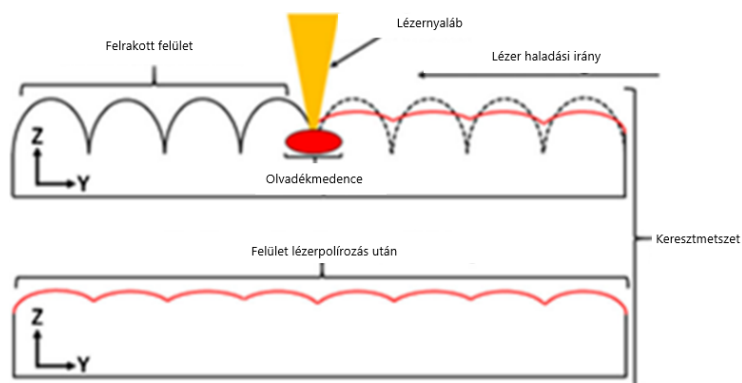
8. ábra Néhány lézernyalábhoz tartozó intenzitásprofil

2.6 Lézeres felrakóhegesztés utómegmunkálásai

Az előbbi bemutatásból és esettanulmányokból látszik, hogy alapvetően a lézeres felrakóhegesztést bevonatok készítésére és komplex geometriák kialakítására is lehet használni. Az egyes komponensek jobb teljesítményre képesek, együtt használva, például, ha vesszük a hordozóanyag mechanikai előnyeit a bevonat kopás és rozsdállóságával. Legtöbb esetben szükség van a rétegek utómegmunkálására is. Az első ilyen a lézerpolírozás.

Ebben az esetben Inconel 625 porból kialakított rétegek lézerpolírozásáról esik majd néhány szó. A használt por részecskeátmérője 45 és 90 mikrométer közé esik, a hordozóanyag pedig AISI 304L rozsdamentes acél. A rétegeket 350 W teljesítményű, 2000 mm/perc sebességgel alakították ki, ahol az átfedés mértéke 0,5 mm és az adagolás 7,5 g/perc. A védőgáz argon, 3 L/perc sebességgel áramlott a fejnél. A 9. ábrán látható a lézeres polírozás sematikus bemutatása.

Polírozáskor több különböző beállítást használtak, mindenhol merőleges volt a lézer a felrakásokra és 2000 mm/perc volt a fej sebessége. Itt is argon volt a védőgáz, azonban a hordozó áramlás értéke nulla volt, csupán a teljesítmény változott, így az energiasűrűség is.



9. ábra Lézeres polírozás sematikus ábrája

Összességében, a legfőbb tapasztalások szerint minnél nagyobb lézeres teljesítmény használtak, annál alacsonyabb volt a keménység. A legnagyobb teljesítmény 550 W volt amit kipróbáltak, a legalacsonyabb pedig 250 W.

Előnye a technológiának, hogy ugyanabban a gépben lehet magát a polírozást végezni, ahol a bevonatok, geometriák gyártását. [9.]

Lézer teljesítménye [W]	Energiasűrűség, J/cm ² -> $E=P/(S \cdot v)$, ahol a P: lézer teljesítménye [W]; S: foltátmérő [cm]; v: fej sebessége [cm/s]
250	937.5
350	1312.5
450	1687.5
550	2062.5

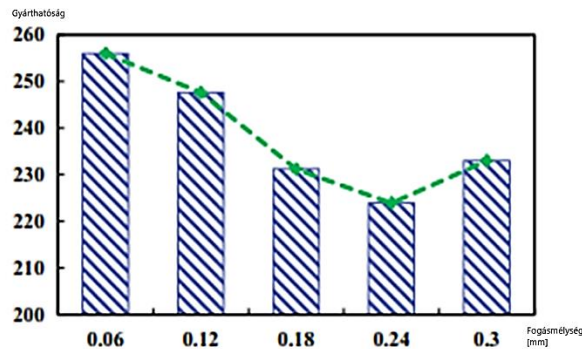
10. ábra Teljesítmény és energiasűrűség értékek lézerpolírozás során

Van lehetőség természetesen hagyományos forgácsolási eljárásokkal is megmunkálni a felrakott geometriát, például forgásszimmetrikus alkatrészekre felrakott rétegeket lehet esztergálni. Legfontosabb paraméterek itt a fogásmélység, vágóerő hatása, felületi érdesség, mikrokeménység.

A tapasztalatok azt mutatják, hogy a nagyobb vágóerő hatására rosszabb felületi érdesség és nagyobb ütőmunka keletkezik. Ha a fogásmélységet növeljük, különösen sugárirányú erők dominálnak, mintsem tangenciális irányú erők. Hozzá kell még tenni, mind az Rz mind az Rt értéke kétszer nagyobb, a magas vibráció miatt, egyes esetekben a 0,18 mm mély bevágások is keletkezhetnek.

Megmunkálhatóság szempontjából, a fogásmélység növelésével csökken a megmunkálhatóság. Tapasztalatok szerint 0,24 mm fogásmélység körül a legrosszabb a megmunkálhatóság króm-nikkel esetén. Ezen anyagot vizsgálva az optimális fogásmélység 0,12 mm.

A vibráció kiküszöbölhető jobb felületi érdességgel, ami nagy javulást mutat megmunkálhatóság szempontjából. [10.]



11. ábra Megmunkálhatóság-fogásmélység diagram

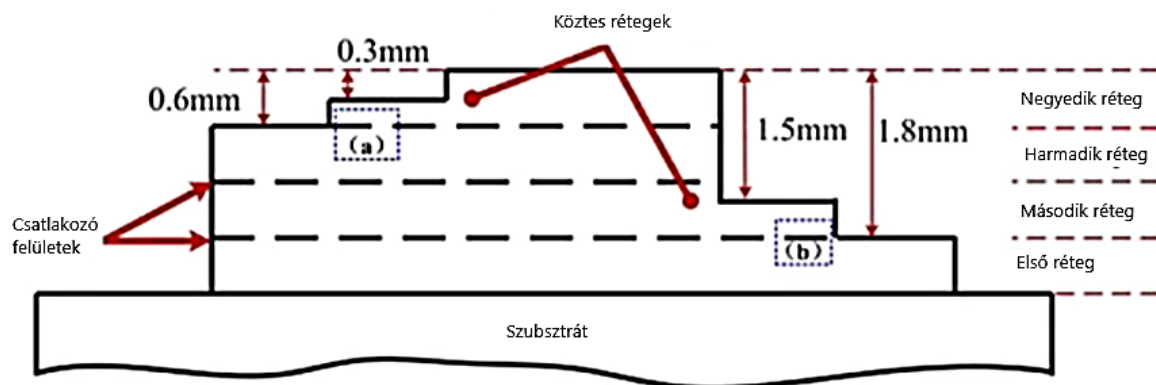
Természetesen lehet marni is a felrakott rétegeket. A következőkben egy vas-króm felrakás marásának a tapasztalatait mutatom be.

A vágósebesség és előtolás értékek nyilvánvalóan kritikus pontok, és hatással vannak a forgács morfológiájára.

A keményebb felső rétegek megmunkálásakor a forgácsleválasztás csökken, nyírás szempontjából is fokozott keménység tapasztalható.

A vágóerők hatására bekövetkező rezgések viszonylag magasak.

Tapasztalható, hogy a köztes rétegekben nagyobb rezgések tapasztalhatók, a csatlakozó felületeknél pedig alacsonyabbak a vibrációk. [11.]



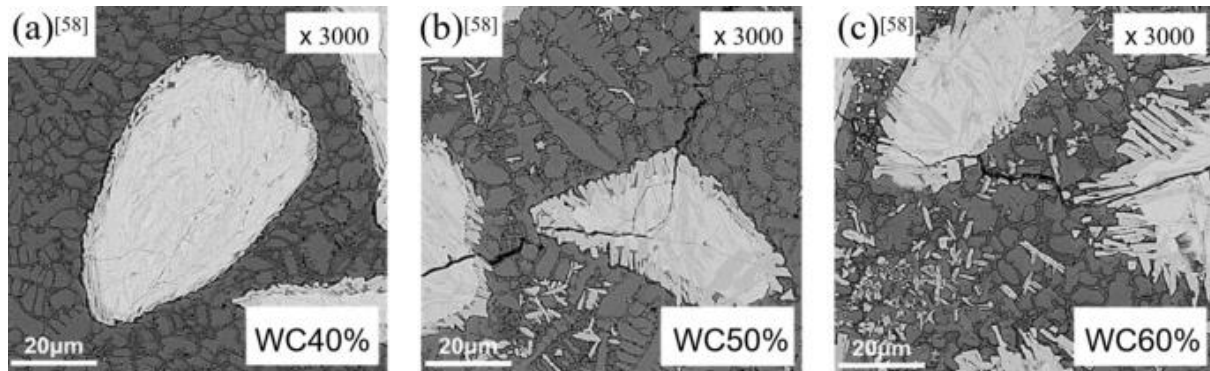
12. ábra A köztes rétegek és csatlakozó felületek

Hagyományos forgácsolási eljárásokon túl hőkezelési eljárások is alkalmazhatók. Ezt az eljárást síneknél alkalmazzák. Ilyen például a 415SS martenzites rozsdamentes acél, amit 410L és SS420 kombinálásával fejlesztettek ki, de külön-külön kevésbé bizonyultak kompatibilisnek. [12.]

2.7 Különböző kutatási áttekintés a bevonatokra

2.7.1 Wolfram-Karbid-Nikkel bevonat

Elsősorban fontos megjegyezni, hogy a wolfram-karbid keramikus fém kompozit, hajlamos a törésre. Tanulmányok bizonyították, hogy törések alakulnak ki magas wolfram-karbid tartalmú NiCrSiBC-WC bevonatolásoknál. Az alábbi ábrákon ezen repedések láthatóak, különböző wolfram-karbid tartalmaknál.



13. ábra Repedések különböző WC tartalomnál

Az 50%-os WC tartalomhoz képest megemelkedett a repedés mértéke 60%-os wolfram-karbid tartalomnál, ezt jellemzően a maradó feszültségek növekedésének lehet tulajdonítani. Ugyanakkor a keménység nem változik szignifikánsan. 50% wolfram-karbid tartalom esetén 654,3 HV, 60%-nál 674,3 HV, ami mindössze 3%-os növekedést jelent.

Különböző wolfram-karbid tartalmak, különböző hatást gyakorolnak. 5-35 tömegszázalékos vizsgálatok azt mutatták, hogy minden bevonat szilárdsága meghaladja a 170 MPa-t. Ahogy először a wolfram-karbid tartalom növekedett, úgy növekedett a kötési erő, majd ez elkezdett csökkenni. A legnagyobb kötési szilárdságot 20%-os wolfram-karbid tartalomnál mérték, aminek értéke 192,46 MPa volt.

A bevonat kopása a munkafolyamat során fokozatos veszteségre utal vagy a felület anyagának mozgására. Az élettartam szempontjából ez mindenképpen javítandó, ki kell küszöbölni a gyors kopást. Ebből a szempontból az alábbi főbb csoportokat különböztetjük meg: tapadási kopás, abrazív kopás, oxidációs kopás, kifáradási kopás.

Ahogy a fém alapú bevonatok nagyrészt lágy részekből állnak, a külső erők hatására képlékeny alakváltozásra képesek. Wolfram-karbid hozzáadása nélkül erősen kopnak. A kopás mértéke a wolfram-karbid tömegszázalékának növelésével folyamatosan csökken, ami a finomszemcsék

erősítő, valamint a második fázisú keményítés hatása, amit a wolfram-karbid bevonat okoz, tehát nyilvánvaló, hogy a tömegszázalék növelése növeli a felület keménységét.

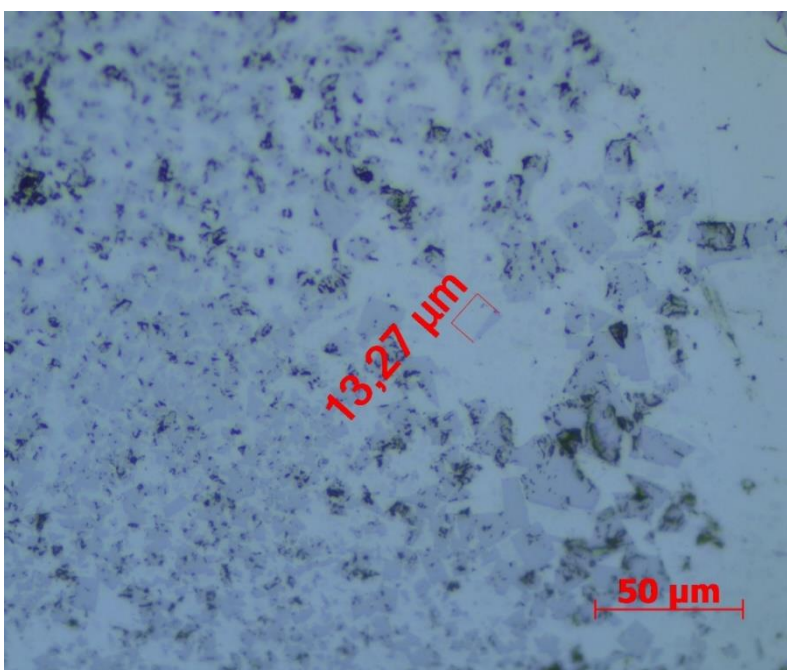
A nikkel-wolfram-karbid kopásmechanizmusa legtöbb esetben adhéziós, abrázív, valamint oxidációs. Ezen mechanizmusok jellemzői a leválás, koptató részecskék, barázda, oxidáció és képlékeny deformáció. [5.]

2.7.2 Wolfram-karbid részecskék méretének hatása

Geometriaileg azonos bevonatok érhetők el gömb alakú karbid porral, ugyanazokkal a gyártási paraméterekkel, akkor is, ha a részecskék átmérője különböző. A durva részecskékből előállított bevonatok sokkal egyenletesebb keményfém eloszlást mutatnak. [8.] Van Acker társaival bebizonyította, hogy magas koncentrációjú finom karbid szemcsék okozzák ezen eloszlást, állításuk szerint a kisebb karbid részecskék effektívebbek kopásállóság szempontjából, mint a nagyobbak. [14.]

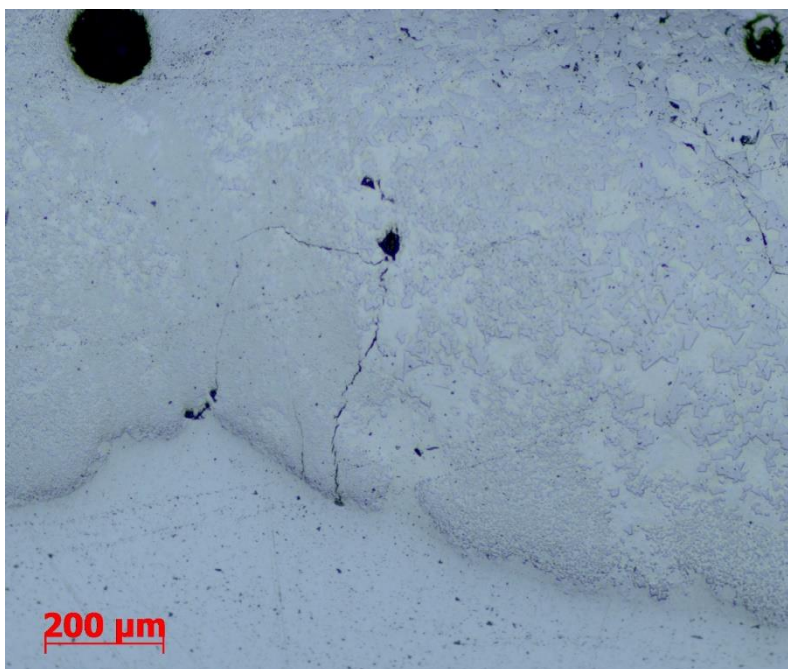
Más kutatások azt állítják, hogy ezen bevonatok kopásállósága nagyrészt az erősítő részecskék aránya okozza. [15.]

Továbbá nagyobb mértékű porozitás volt megfigyelhető a régiók átfedésénél, amikor a bevonatot kisméretű karbid részecskék alkották. Ekkor az erősítő részecskék majdnem teljesen feloldódtak.



14. ábra Apró wolfram-karbid részecskék az általam vizsgált mintán

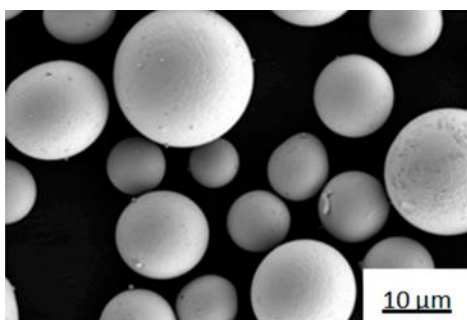
Ennek oka, hogy a karbid részecskék nagyrészt megkötik a környezeti levegő oxigénjét. Ezek a területek nem csak a bevonatok felületénél találhatóak, hanem a teljes vastagságban is. Ez azért is hatalmas hátrány, mert a végső forma kialakításához polírozás szükséges, viszont ezek a porozítások azt okozzák, hogy a kopás mindig más karakterisztikát mutat az egyes régiókba. Minden előny ellenére nagyobb wolfram-karbid szemcsékkel érdemes a végső bevonatot elvégezni a feljebb említett hátrányok miatt. [16.]



15. ábra Zárvány és repedés az általam vizsgált mintán

2.7.3 Vas alapú bevonat

A szubsztrát 27SiMn. A felrakások előtt csiszolópapírral felcsiszolták a felületet, eltávolították a rozsdát, olajfoltokat, amíg fényes nem lett a felület, ezután etanollal lett megtisztítva.



16. ábra Vas-alapú ötvözetpor mikromorfológiája

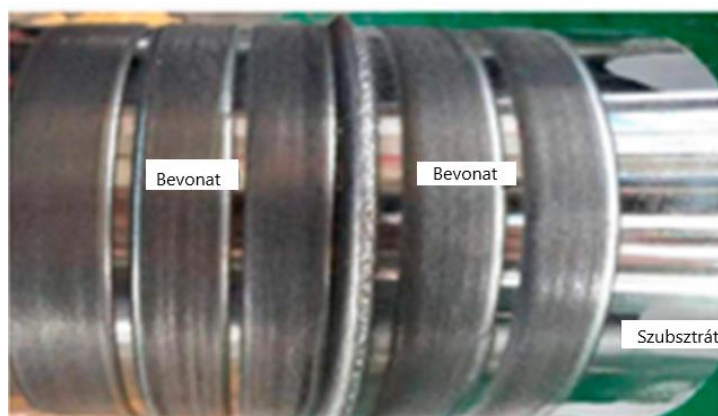
A felrakott por vas-bázisú ötvözet, aminek az átlag keménysége 51 HRC, a por részecskéinek átlag átmérője 38 mikrométer és gömb alakú, ami javítja az áramlási tulajdonságokat.

Samples	C	Cr	Si	Mn	Mo	P	Ni	B	S	Cu	Fe
27SiMn	0.24-0.32	≤0.30	1.1-1.4	1.1-1.4	—	≤0.04	≤0.30	—	≤0.04	≤0.30	Bal
Alloy powder	0.1	17.4	1.15	0.28	0.3	—	2.85	1.00	—	—	Bal

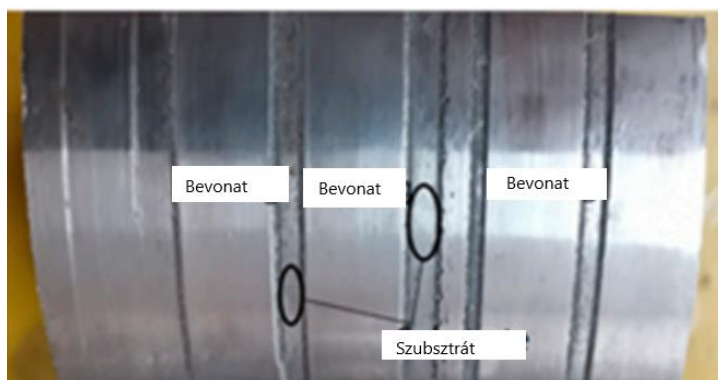
17. ábra Hordozóanyag és por kémiai összetétele

Ennek a felrakásnak a mintáit kicsi, 11x11x11 mm³ mintákra vágták, amiken a felrakás volt. A keresztmetszete a mintáknak polírozva volt, és vas-kloriddal kezelték a felületét. Ezután elektron mikroszkóppal vizsgálták a mikrostruktúrát és a morfológiáját a minták különböző területeinek. A teszt során a diffrakció 20 és 80 fok között volt és a diffrakció sebessége 2 fok/perc volt.

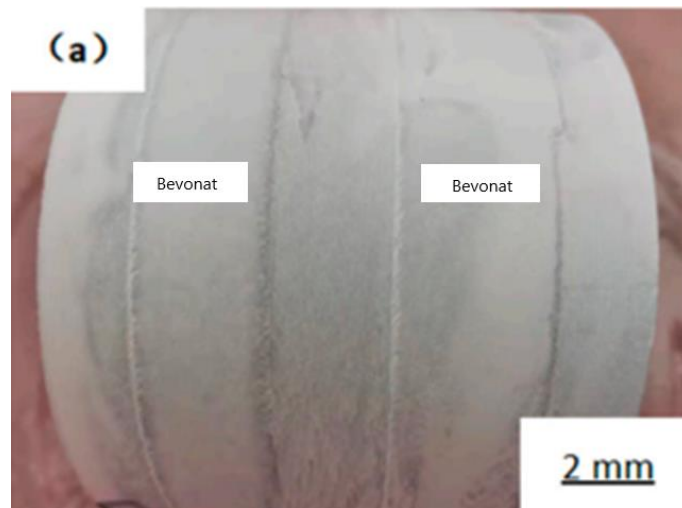
A 20. ábrán látható, hogy a felrakott rétegek nagyrészt egységesek voltak, nincsen repedések vagy légbuborékok. A felület simának mutatkozott, miután esztergával megmunkálták, és itt se látszódtak repedések, buborékok, zárványok. A felrakott rétegeken repedés detektálást is végeztek, itt egy színezett vegyszert használtak a hibák kimutatására, de nem találtak semmilyen repedésre vagy törésre utaló hibát.



18. ábra Felrakások a megmunkálás előtt

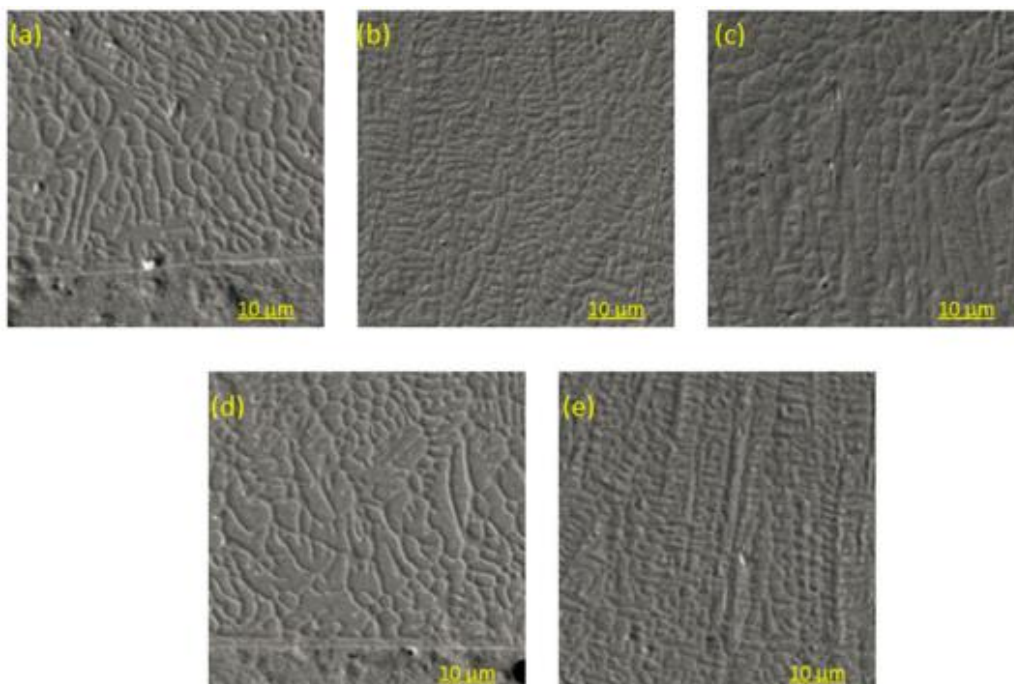


19. ábra Felrakás esztergálás után



20. ábra Repedés keresés a rétegeken

A 20.ábrán láthatóak a különböző mikrostruktúrák. Az a) ábra mutatja az alsó részét, a b) a középsőt a c) pedig a felső rétegeket. A d) a második minta felrakásának az alsó része, az e) a második minta középső része. [17.]



21. ábra Különböző területek mikrostruktúrája

2.7.4 Kobalt alapú bevonat

Ennél a pornál $20 \times 10 \times 10 \text{ mm}^3$ dimenziójúra munkált alapanyagra történt a felrakás. A felületet polírozták, valamint alkohollal megtisztították a művelet előtt. A por kobalt alapú, önfluxáló ötvözet volt, aminek a részecskeméretei 50-120 mikron között alakultak.

Elements	C	Mn	Si	S	P	Fe
wt%	0.95–1.04	≤0.40	≤0.35	≤0.030	≤0.035	Bal.

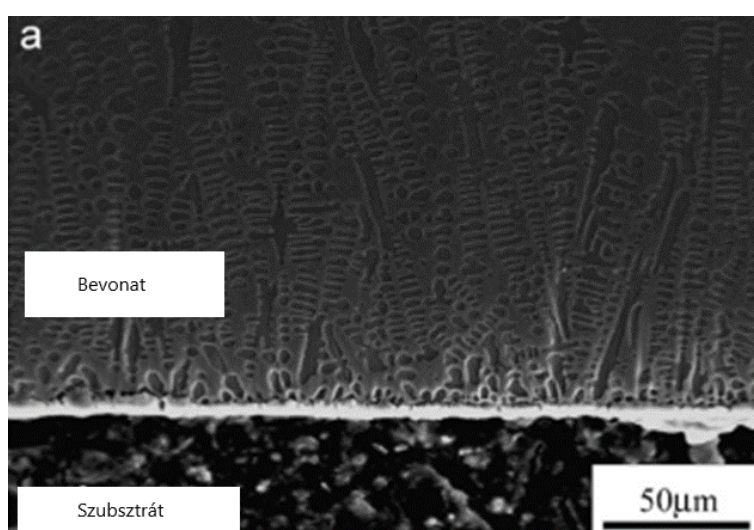
22. ábra Szubsztrát összetétele

A felrakáshoz egy 5 kW teljesítményre képes CO_2 lézerberendezést használtak, amit közvetlenül a felületre irányítottak, így létrehozva az olvadékmedencét, amibe az argon védőgáz segítségével befűjték a port.

Elements	C	Cr	Si	B	Ni	W	Fe	Co
wt%	0.5–1.0	19.0–23.0	1.0–3.0	1.5–2.0	2.27–3.0	7.0–9.0	≤5	Bal.

23. ábra Felrakott por összetétele

Az eredmények azt mutatják, hogy ezen kobalt bázisú por szerszámacélra történő felrakása sikeres, vékony rétegek felrakása lehetséges, alacsony energiabevitel mellett. Kimutatták, hogy a lézeres felrakás ennél az anyagnál hatásos, a fém felületet gyorsan meg lehet olvasztani és gyorsan meg lehet szilárdítani. Érdekesség, hogy egy vékony fehér vonal fedezhető fel a szubsztrát és a bevonat között, melynek vastagsága 3-5 mikron. Ennek a rétegnek a kialakulásának az oka a koncentráció gradiens, amit a felületképző ötvözet magas diffundáló hatása eredményez a bevonat és a szubsztrát között. [18.]



24. ábra Felrakott réteg keresztmetszetének mikrográfiája

3 Kísérlet menete

3.1 Alkalmazott lézercella

A próbatesteket Trumpf TruLaser 7020-as lézercelláján készült. Ez a gépegység a TruLaser Cell Series 7000 csoportba tartozik, mely nagyon sokoldalúan használható. Használható kettő- vagy háromdimenziós térben, illetve cső keresztmetszeteknél is. Alkalmas továbbá prototípus- és sorozatgyártáshoz is. Alkalmas lézervágásra, hegesztésre, valamint felületmódosító tevékenységekhez, mint például a felrakások. Anyagok szempontjából széles alkalmazási lehetőségek vannak, így megmunkálhatóak, illetve kezelhetőek vele lágyacélok, galvanizált lemezek, alumínium vagy rozsdamentes acél is. Lézer típusát tekintve szilárd halmazállapotú vagy CO₂ lézerrel adták ki. [19.] Az alábbi táblázat az alkalmazott lézercella paramétereit tartalmazza.

1. táblázat Trumpf TruLaser Cell 7020 paramétereit

Munkatér	
<i>X tengely</i>	<i>80 in</i>
<i>Y tengely</i>	<i>60/80 in</i>
<i>Z tengely</i>	<i>30 in</i>
<i>B tengely</i>	<i>+/- 135°</i>
<i>C tengely</i>	<i>n*360°</i>
<i>Dinamikus vágóoptika</i>	<i>+/- 0,4 in</i>
Tengelysebesség	
<i>Egyidőben</i>	<i>6811 in/min</i>
<i>X; Y; Z tengely</i>	<i>3937 in/min</i>
<i>B; C tengely</i>	<i>90 min⁻¹</i>
Tengelygyorsulás	
<i>Egyidőben</i>	<i>630 in/s²</i>
<i>X; Y; Z tengely</i>	<i>354; 394; 394 in/s²</i>
<i>B; C tengely</i>	<i>200; 100 rad/s²</i>
<i>Dinamikus vágóoptika</i>	<i>1575 in/s²</i>

3.2 Anyagok kiválasztása

A felrakásokhoz kiválasztott alapanyagoknál, amiket elsősorban figyelembe vettem, hogy kopás és korrózióállóak legyenek, valamint törekedtem arra, hogy a felrakott rétegeknek nagy keménysége legyen, vagy legalább a szubsztrátnál nagyobb. Kettő anyag a Metco termékpalettájáról lett kiválasztva, egy pedig egy egyedi fémpor volt, amit az m4p-Metal for printing gyártott.

2. táblázat Metco 5163 százalékos összetétele [20.]

Metco 5163	W	Co	Cr	C	Fe
min.	Bal.	9	3,5	4,8	
max.		11	4,8	5,8	1

3. táblázat Metco 45C-NS százalékos összetétele [21.]

Metco 45C-NS	Co	Cr	W	Ni	C
min.	Bal.	25,5	7,5	10,5	0,5

4. táblázat V15-Fe százalékos összetétele a m4p által kibocsátott adatlap alapján

V15-Fe	Fe	C	Mo	Mn	Cr	Si	V
min.	Bal.	3,5	0,5		12,5		14
max.		4,5	1,5	2	14,5	2	16

5. táblázat A szubsztrát összetétele százalékosan, az egyetemen található spektroszkóppal mérve

Szubsztrát	Fe	C	Si	Mn	Cr	Mo	Ni	Al	Co	Cu	Nb	V
	Bal.	0,359	1,3	0,613	1,39	0,06	0,1	0,1	0,008	0,119	0,01	0,08

3.3 Felrakások paraméterei

Metco 5163 esetén:

Teljesítmény: 1000 W

Főmozgás: 700 mm/min

Metco 45C-NS esetén:

Teljesítmény: 1275 W

Főmozgás: 300 mm/min

m4p V15-Fe:

Teljesítmény: 600 W

Főmozgás: 750 mm/min

Ezek a paraméterek tapasztalati úton lettek meghatározva. A Metco 5163 esetén nehéz volt megválasztani mind a teljesítményt mind a sebességet, ugyanis alacsony teljesítmény esetén a rétegek közötti átfedés nem volt megfelelő, hiába lett beállítva a programba, nagyobb teljesítménynél pedig az anyag olvadása nagyon nagy mértékű lett már 3 rétegnél is. A sebességről is ugyanez mondható el, alacsony sebességnél túl sok anyag került a szubsztrátra, ami megolvadt. Ezen paraméterekkel is nagymértékű porozitást mutattak a minták. Hasonló probléma volt a V15-Fe-vel is, itt túl nagy teljesítménynél a minta füstölt, valamelyik komponense kiégett gyártás közben, itt is észrevehető volt porozitás, valamint az átfedések hiánya, azonban nagyobb teljesítménynél a füstjelenség mellett meg is olvadt a felrakás. A Metco 45C-NS azonban a felrakás után nagyon szép alakzatot mutatott, jó volt az átfedés is, valamint a keresztmetszetek is szemrevételezéssel homogénnek tűntek.

3.4 Vizsgálati eljárások

A különböző típusú anyagokhoz különböző felrakási paraméterek tartoznak. A felrakások után megvártam, míg az anyag a lehül. A felrakások egy három és öt réteggel történtek, hengeres felületre.

A felrakások CNC-kód alapján készültek, mely kód kontúrleírását én készítettem. A gép beállításában, és az azokhoz tartozó kód megírásában Hareancz Ferenc és Juhász Gergely segítettek. Ez a kód egy henger geometriát tartalmaz, melynél be lehet állítani milyen magasra szeretnénk a hengert felépíteni. Maga a program a sokrétű állíthatóság miatt paraméteres programozással készült, így személyre szabható, mekkora átfedést, mekkora rétegeket és mekkora magasságokat szeretnénk kapni vagy, hogy mekkora a beállított feltátmérő. Természetesen a gyártási paraméterek is állíthatóak ily módon. Felrakásaimnál minden esetben az átfedés 60% volt, a rétegvastagság a Metco 5163 esetén 0,8 mm, a Metco 45C-NS esetén 1,8 mm, V15-Fe esetén 0,86 mm. Ezeknek a rétegeknek a vastagsága tapasztalati úton került meghatározásra.

3.4.1 A CNC kód

Az alább látható CNC kód a Metco 5163 során volt használva, a 3 réteges felrakáshoz

;Manually created program, original name HP LMD_TOMB

N100 DEF REAL RapidFeed = 5000 ;mm/min MELLEKMOZGAS

N110 DEF REAL Velocity = 700 ;mm/min FOMOZGAS

N120 DEF REAL Power = 1000 ;Watt TELJESITMENY

N130 DEF INT PowerValue_G820 = 0 ;ANALOG TELJESITMENY VEZERLESHEZ
SZUKSEGES

N140 DEF REAL PowerUpLen = 1 ;mm FEL RAMPA HOSSZA

N150 DEF REAL PowerUpFixLen = 1 ;mm FIX FEL RAMPA HOSSZA

N160 DEF REAL PowerDownFixLen = 1 ;mm FIX LE RAMPA HOSSZA

N170 DEF REAL PowerDownLen = 1 ;mm LE RAMPA HOSSZA

;-----VALTOZOK DEFINIALASA-----

N180 R101=8.9 ;SUGAR

N190 R102=R101*1

N200 R103=0.6 ;ATFEDES MERTEKE

N210 R104=((R102*R103)/2) ;ATMERO CSOKKENTES

N220 R105=0.8 ;MIN. KONTUR ATMERO

N230 R106=1.7 ;NINCS HASZNALVA

N240 R108=0 ;Y KEZDOPONT

N250 R109=0 ;Z KEZDOPONT

N260 R110=0.8 ;FELRAKA VASTAGSAGA

N270 R111=2,4 ;Z MAX MAGASSAG

N280 R112=3 ;FOLTATMERO

N290 R113=2 ;MAG=1 KOPENY=2

;-----VALTOZOK DEFINIALASA VEGE-----

;-----SZAMITASOK-----

N300 R150=60 ;FIX RAMPA KEZDES SZAZALEK

N310 R151=60 ;FIX RAMPA VEGE SZAZALEK

N320 R152=15 ;RAMPA VEG SZAZALEK UT ALAPJAN

;-----SZAMITASOK VEGE-----

N330 TC_RESET

N340 TC_VACUUM(1,0,1)

N350 TC_ACL(1,0,0)

```

N360 G71
N370 TOOL_LEN(0.0)
N380 TRAORI(1)
N390 TC_LASER_REQUEST(1)
N400 TC_LMD_FOCUSLINE_DATA(R113,R112)
;-----NULLPONT-----
N410 M00
N420 SET_G54( 841.485+0.17,1265.556, -1.421,0,0,0)
N430 F = Rapidfeed
;-----NULLPONT VEGE-----
N440 PowerValue_G820 = ROUND((Power/4000)*10000)
;***** Definition LPC *****
;      Point  Channel Voltage          Function
N450 G820  S0=1  S1=1  H10= 0          H40 = FIX ;LASER NINCS
TELJESITMENY
N460 G820  S0=2  S1=1  H10=ROUND(PowerValue_G820*(R150/100)) H40=FIX
;INDITO FIX TELJESITMENY
N470 G820  S0=3  S1=1  H10=ROUND(PowerValue_G820)    H40=FIX ;KEZDO
RAMPA 100% TELJESITMENYRE UT ALAPJAN
N480 G820  S0=4  S1=1  H10=ROUND(PowerValue_G820*(R152/100)) H40=WAY ;LE
RAMPA TELJESITMENY UT ALAPJAN
N490 G820  S0=5  S1=1  H10=ROUND(PowerValue_G820*(R151/100)) H40=FIX
;VEGSO FIX TELJESITMENY
;-----MEGMUNKALAS-----
N500 G1 X=-R101 Y=R108 Z=R109 B=0 C=0 ;kezdőpontra állás
N510 TC_WELD_ON(1,"LMDHILTI",00,100)
N520 TC_ACL(1,0,0)
N530 MSG ("...")
N540 F = Velocity
N1000 IF(R109<=R111)
N560 WHILE(R101>=R105)
N570 TC_ACL(3,0,0)
N580 G2 X=-R101 Y=R108 I=AC(0) J=AC(0)
N590 R101=R101-R104

```

```

N600 TC_ACL(1,0,0)
N610 G1 X=-R101
N620 ENDWHILE
N630 R109=R109+R110
N640 R101=R102*1
N650 G1 X=-R101 Y=R108 Z=R109
N660 ELSE
N670 TC_ACL(1,0,0)
N680 TC_WELD_OFF(2,00)
N690 TC_ACL(0,0,0)
N700 F = RapidFeed
N710 G1 Z=R109+100
N720 GOTO N2000
N730 ENDIF
N740 GOTO N1000
N2000 M30

```

3.5 Minták előkészítése

Következő lépésként a felrakott rétegeket levágtam, úgy, hogy a szubsztrátot is lehessen vizsgálni. Az egyetem épületeiben megtalálható előkészítő teremben végeztem az előkészítés összes fázisát, ahol egy precíziós vágóval először levágtam a felrakott réteget valamennyi hordozóanyaggal, majd ezt még félbe vágtam, hogy a keresztmetszet látható legyen. A mintáimat tehát előkészítettem a meleg ágyazáshoz.

Ezek után következett a beágyazás, ahol az ágyazóba helyeztem a mintadarabokat majd 1,5 kanál bakelit ágyazóport öntöttem a minta mellé. Itt a lehető legnagyobb nyomáson 180 Celsius fokon 8 percig készült az ágyazott darab. Az ágyazás végeztével megjelöltem a mintákat.

Innentől készen álltak a mintadarabok a csiszolásra. A csiszolási folyamatokat 300 1/perc-es fordulaton végeztem, szemrevételezéssel ellenőriztem az állapotot. Minden csiszolás előtt letisztítottam a munkadarabot, a csiszolóberendezés karimáját és rögzítőgyűrűjét pedig elmostam vízzel. A papírok, amiket használtam sorrend szerint P320, P600, P1000. Végző lépésként a polírozást végeztem el, ahol 150 1/perc-es fordulatot alkalmaztam, a polírozáshoz használt szuszpenzió pedig 1 mikronos gyémántsuszpenzió volt. Itt is szemrevételezéssel ellenőriztem a mintákat.

4 Vizsgálatok

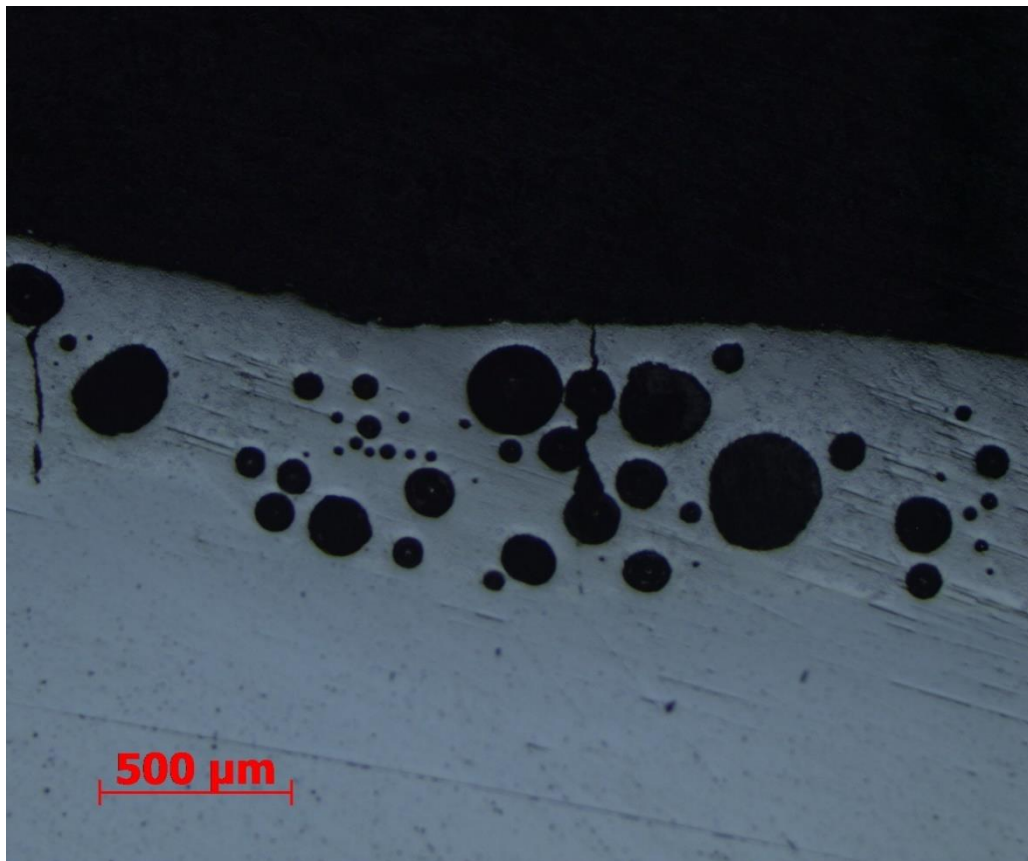
Vizsgálatok szempontjából mikroszkópi képeket csináltam először, ahol megvizsgáltam milyen esetleges sérülések, hibák lehetnek a keresztmetszetben, majd vizsgáltam a szövetszerkezeti képet. A vizsgálatokat Vickers keménységméréssel zártam, amit úgy állítottam be, hogy a felrakás felső részétől egészen a szubsztrátig vizsgáltam a keresztmetszetet, így láthatóvá téve a keménységek különbségét a keresztmetszeten belül. A következőkben ezen mikroszkópi képeket és keménységmérési eredményeket fogom bemutatni.

4.1 Első vizsgálat: Metco 5163

4.1.1 Egyréteges felrakás

Első réteg:

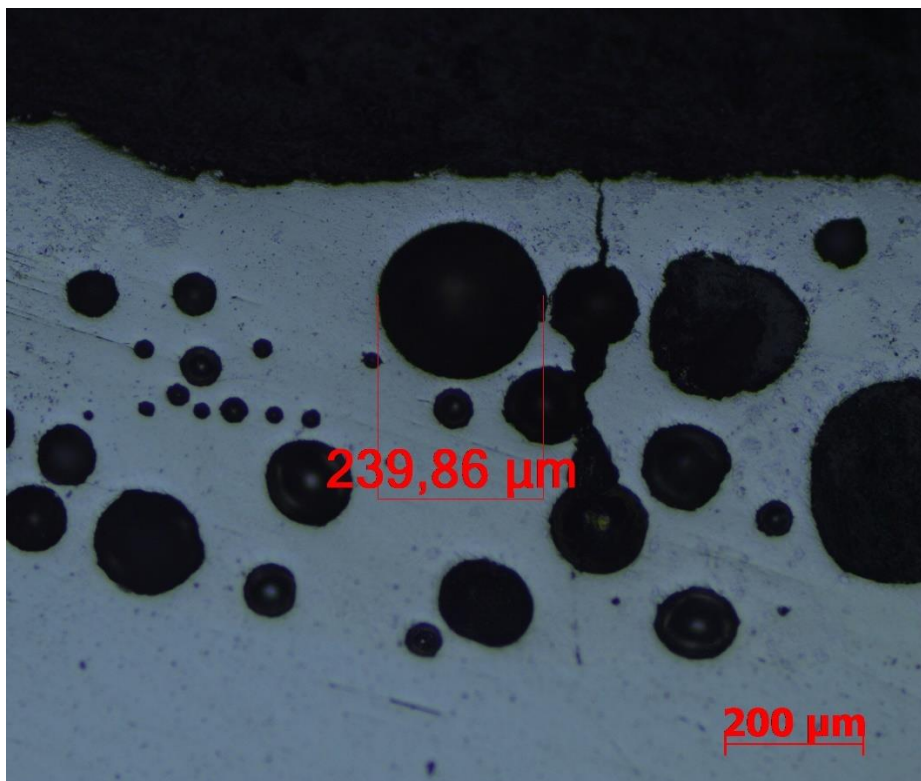
Az első rétegben is porozitás látszik, zárványok találhatók a keresztmetszetben. Észrevehetőek már itt is szignifikáns repedések.



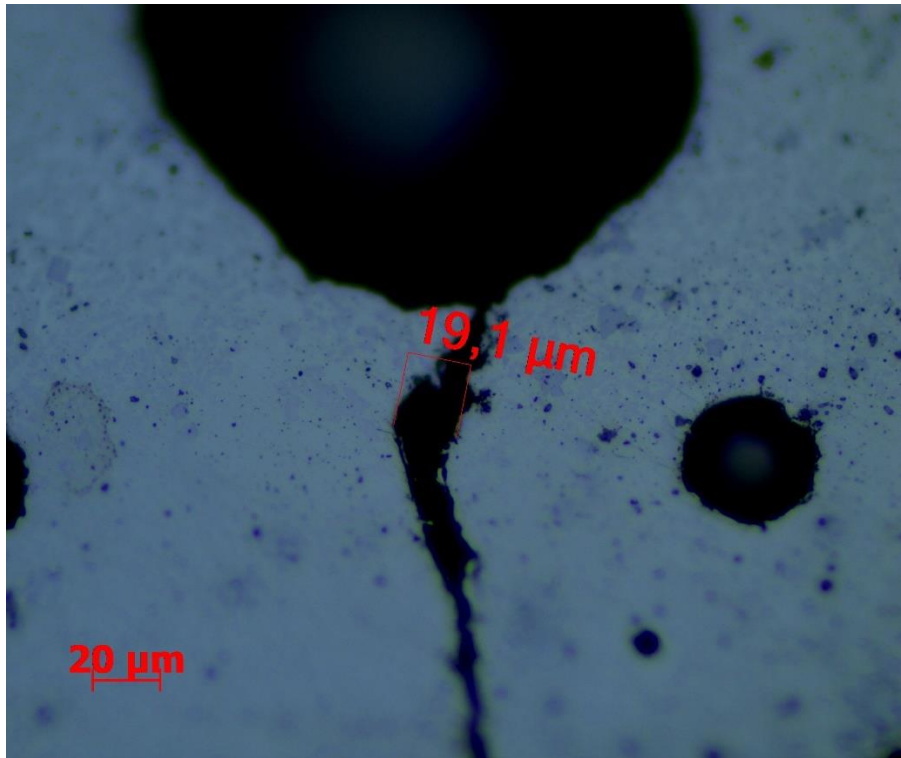
25. ábra Egyréteges felrakás keresztmetszete Metco 5163 anyagnál

Megfigyelhető a zárványok gyakorisága, illetve, hogy sokszor egymásba olvadnak, valamint a repedés is keresztezi. További repedés található a 24. ábra bal oldalán, ami egy keresztmetszeti hibából indul és teljesen átszeli azt, egészen a szubsztrátig.

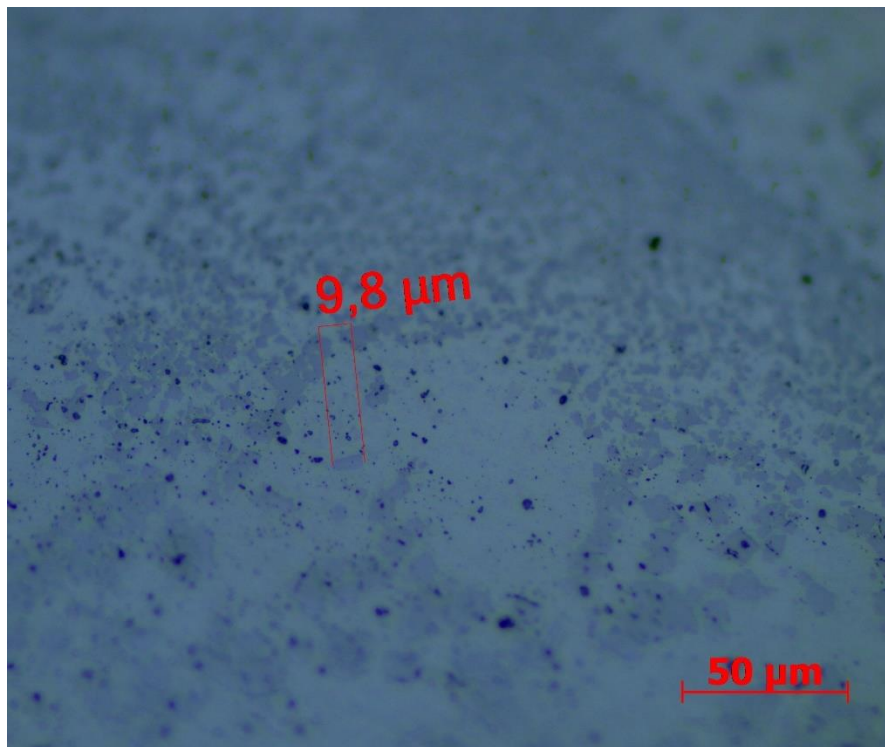
A 25. ábrán látható egy kiragadott porozitás átmérője. Nagyon sokféle porozitás található már ezen az egyréteges felrakáson is, ez egy nagyobbnak mondható, mint látszik a képen.



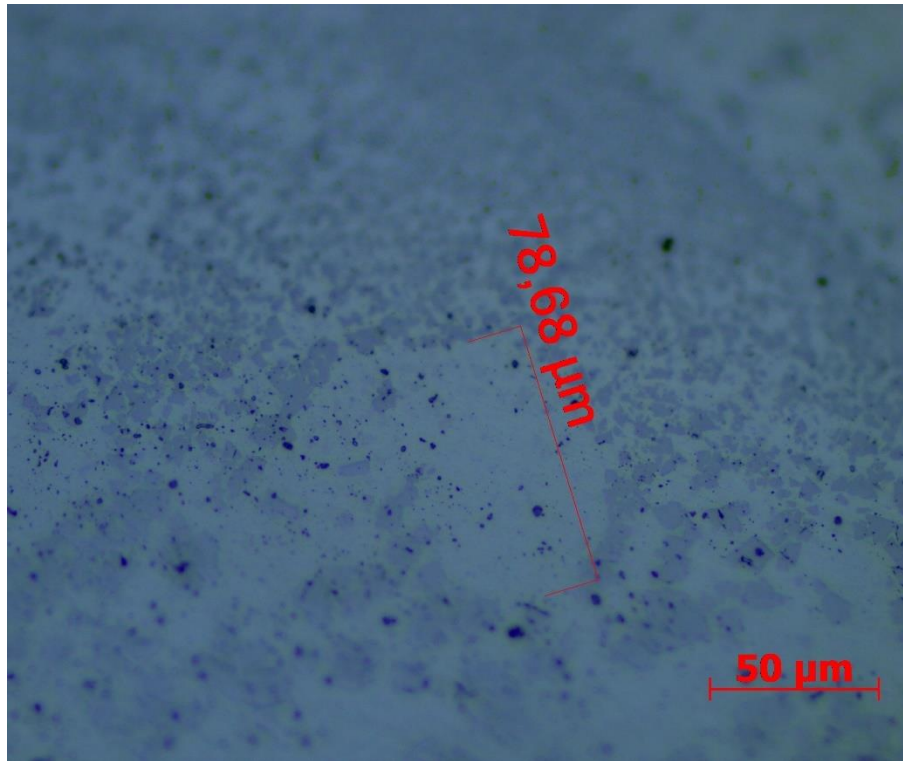
26. ábra Keresztmetszeti hiba átmérője



27. ábra Egy porozitásból induló repedés legnagyobb szélessége



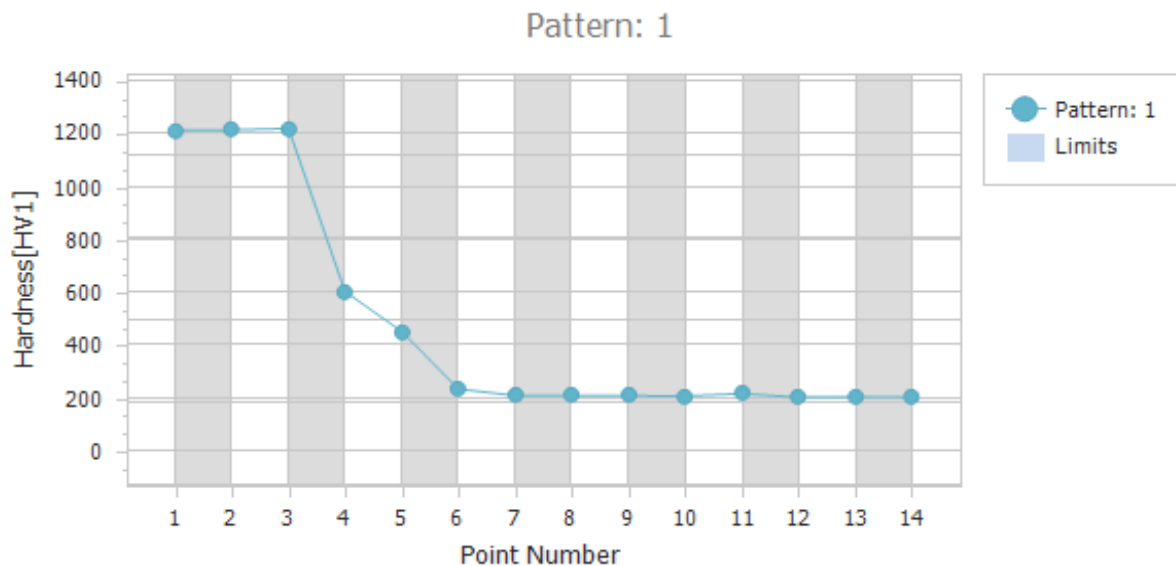
28. ábra Metco 5163 wolfram-karbidos felrakás mikroszerkezetében a wolfram-karbid részecske nagysága



29. ábra Kobalt részecske mérete a mikroszerkezetben

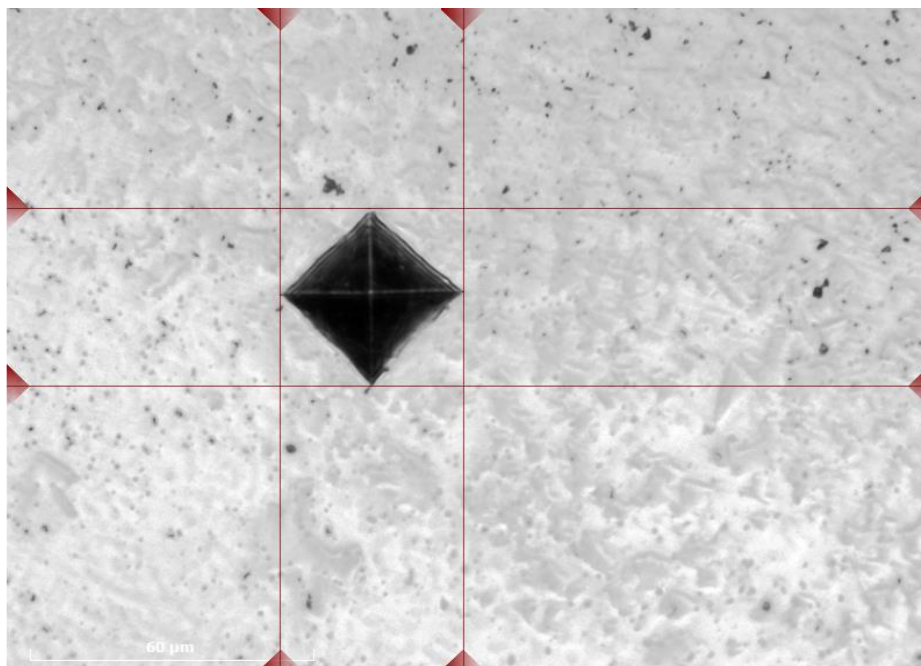
A 28. ábrán látható, hogy apróak a wolfram-karbid részecskék, ezek okozhatják azt, hogy a felrakáson repedések keletkeztek. [16.]

Rátérve a keménységmérésre, nagy különbségek tapasztalhatók a wolfram-karbid és a szubsztrát keménysége között.



30. ábra Az egyréteges felrakás keménység értékei

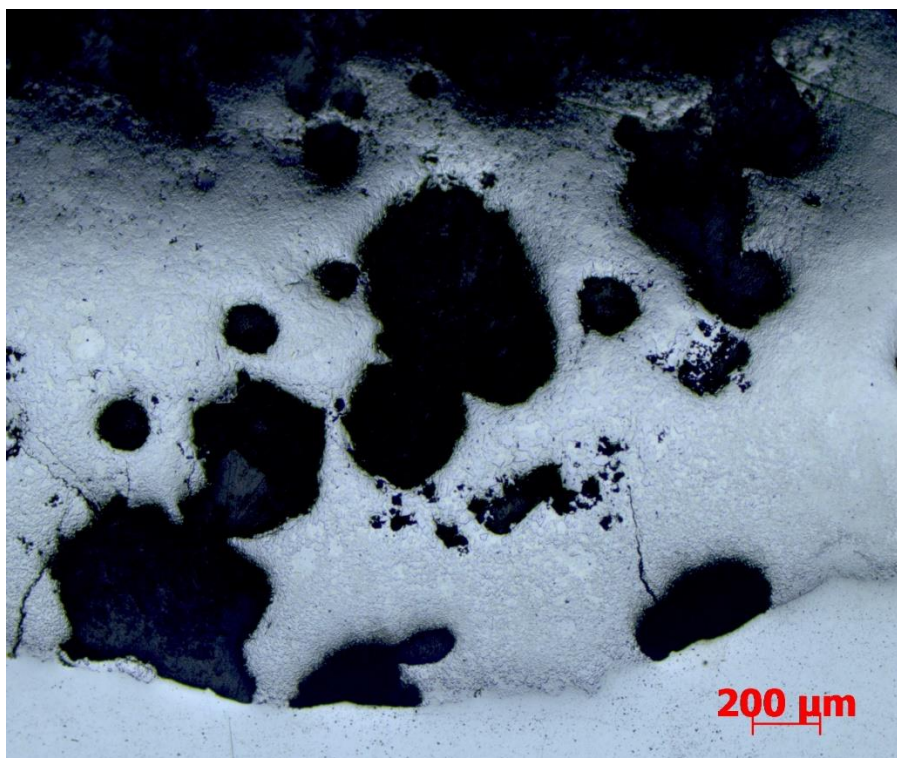
Az első három érték a felrakásé, a negyedik, ötödik, hatodik az átmeneti zónáé. Ezen túllépve, a szubsztrát keménysége látható. Láthatóak a hatalmas különbségek, a felrakás keménysége kicsivel több mint 1200 HV.



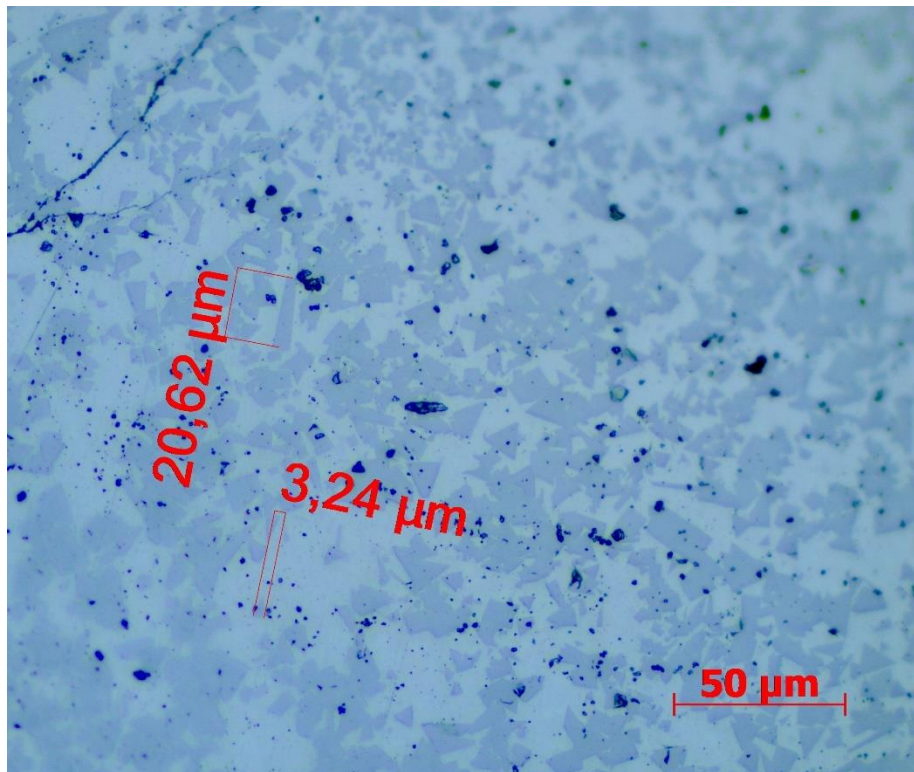
31. ábra Vickers keménységmérés lenyomata

4.1.2 Háromréteges felrakás

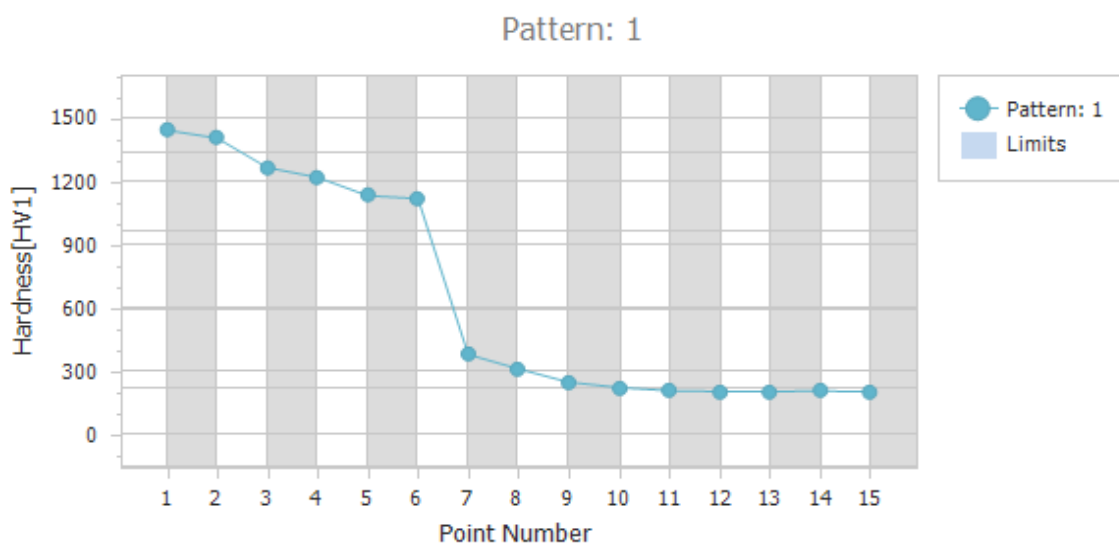
Itt is ugyanazok a problémák tapasztalhatóak, mivel itt a felrakás során több anyagot építünk fel több hiba is látható.



32. ábra Extrém hiba a háromréteges felrakás esetén



33. ábra Különböző wolfram-karbid szemcseméreték a mikrostruktúrán

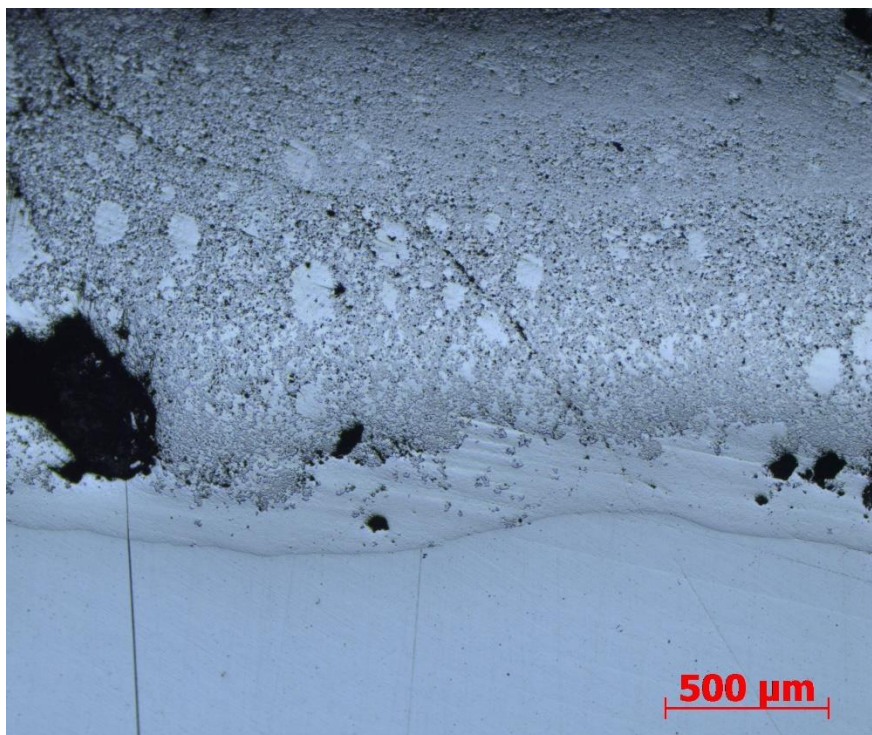


34. ábra Metco5163 három réteges felrakása

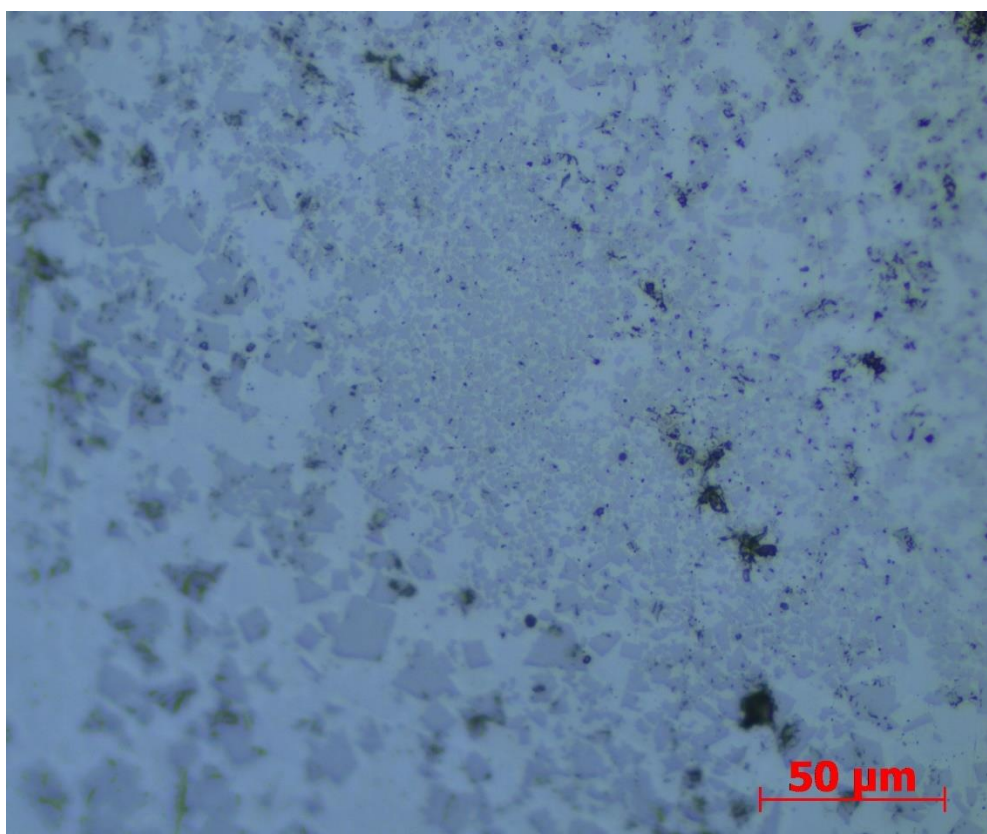
Látszódik, hogy a keménység már megközelíti az 1500 HV keménységet, a legmagasabb a próbadarab felső részein található, itt a legnagyobb érték 1438 HV.

4.1.3 Ötréteges felrakás

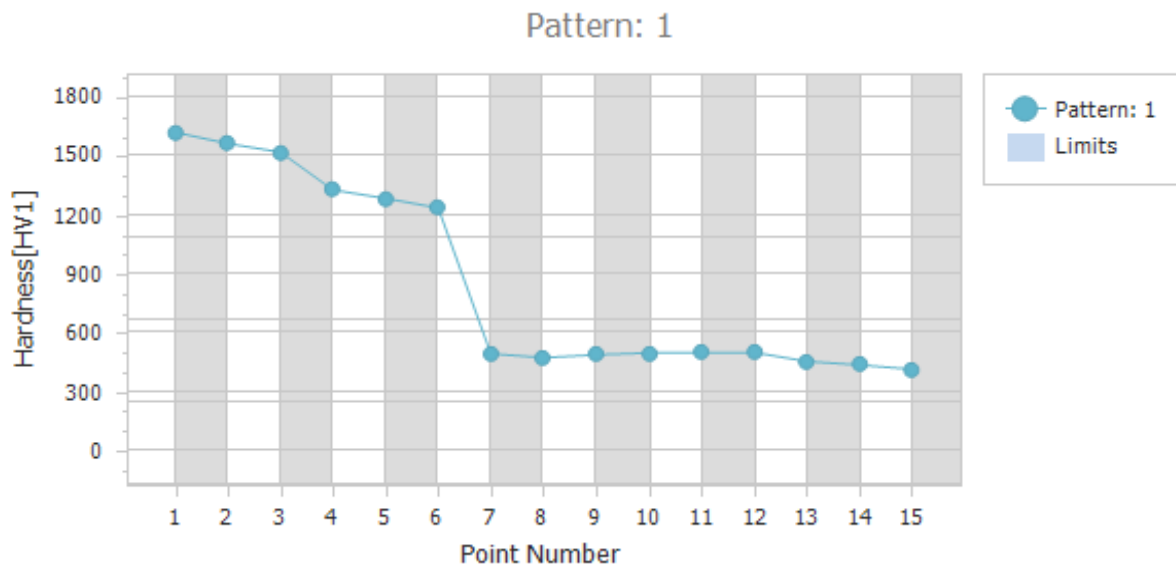
Az előző vizsgálatokhoz hasonlóan itt is észrevehetőek ugyanazok a hibák, illetve az is, hogy a legnagyobb keménység itt is megnövekedett.



35. ábra Ötréteges felrakás alsó régiója



36. ábra Ötréteges felrakás mikroszerkezete az apró wolfram-karbid szemcsékkel



37. ábra Ötréteges felrakás keménysége

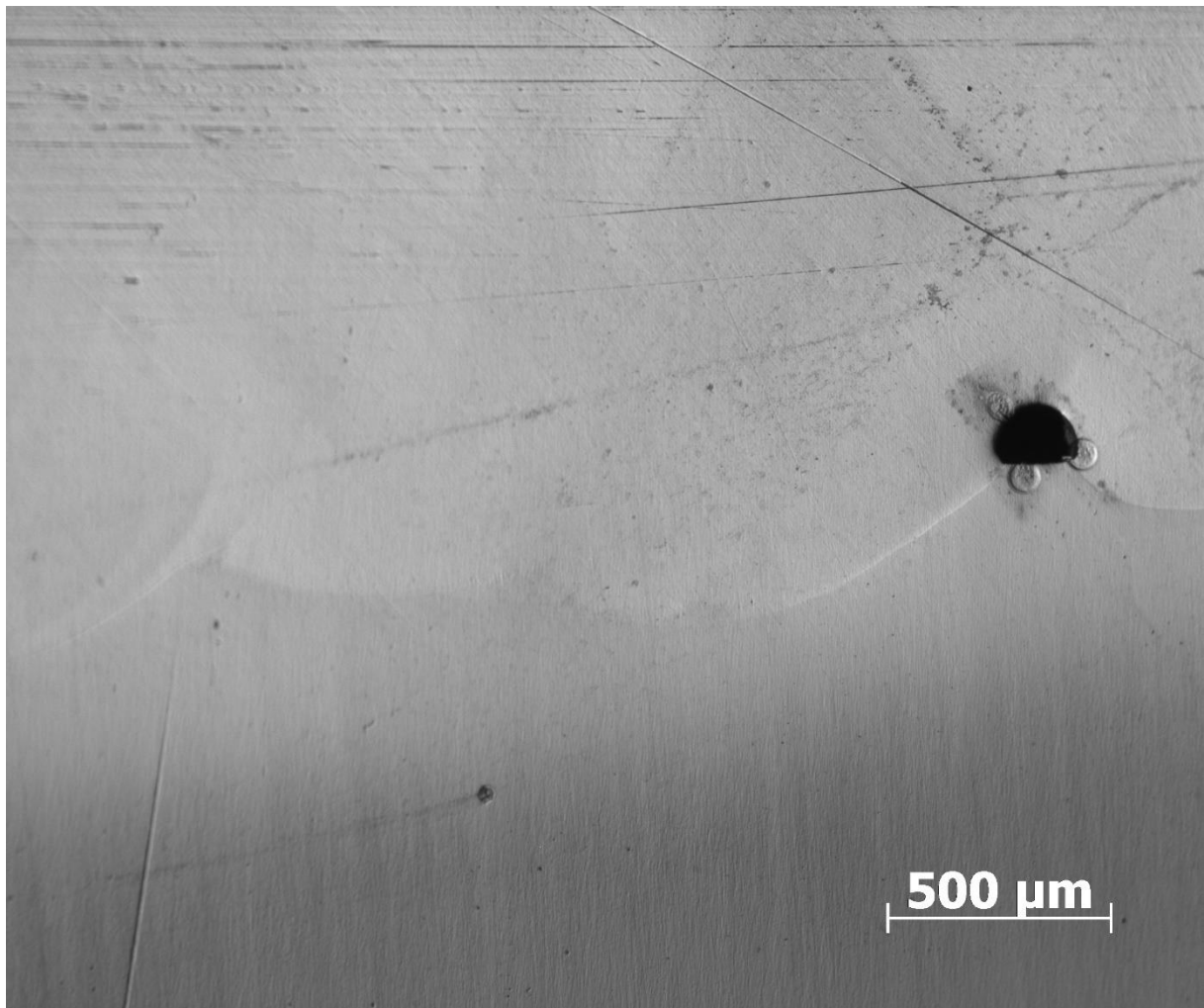
Látható, hogy a maximális keménység is emelkedik, érdekesség, hogy a szubsztrát keménysége is emelkedett. A maximális keménység értéke 1621 HV.

4.2 Második vizsgálat Metco 45C-NS

Az első rétegből is látszik, hogy az előző anyaghoz képest sokkal kevesebb hiba keletkezett, sőt a három vizsgált anyag közül az ezzel az anyaggal felrakott rétegek lettek a leginkább homogénnek.

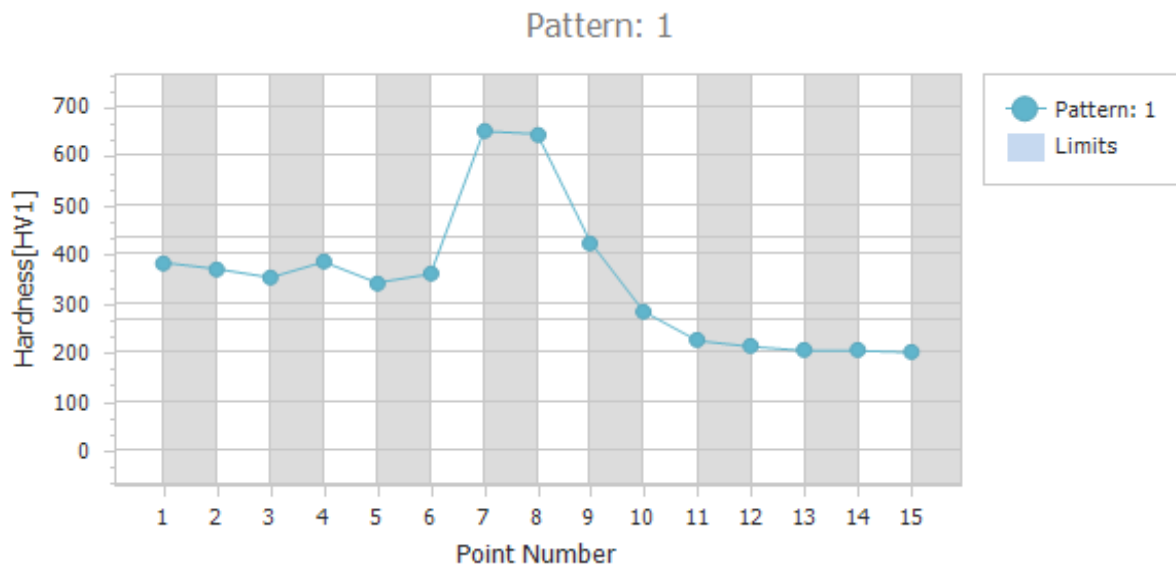
4.2.1 Egyréteges felrakás

Az első rétegen komolyabb zárványok a szubsztrát és a felrakások határán észrevehető.



38. ábra Zárvány a szubsztrát és a felrakás között

A 37. ábra bal oldalán észrevehető, hogy az anyagok keverednek, valamint a kép jobb oldalán a két anyag között létrejövő zárvány látható. Ezen keveredés mértéke a keménységmérések során is észrevehető volt, ennek az anyagnak a mintáin látszódott leginkább, hogy a szubsztrát hogy keveredik fel a felrakott rétegeken.

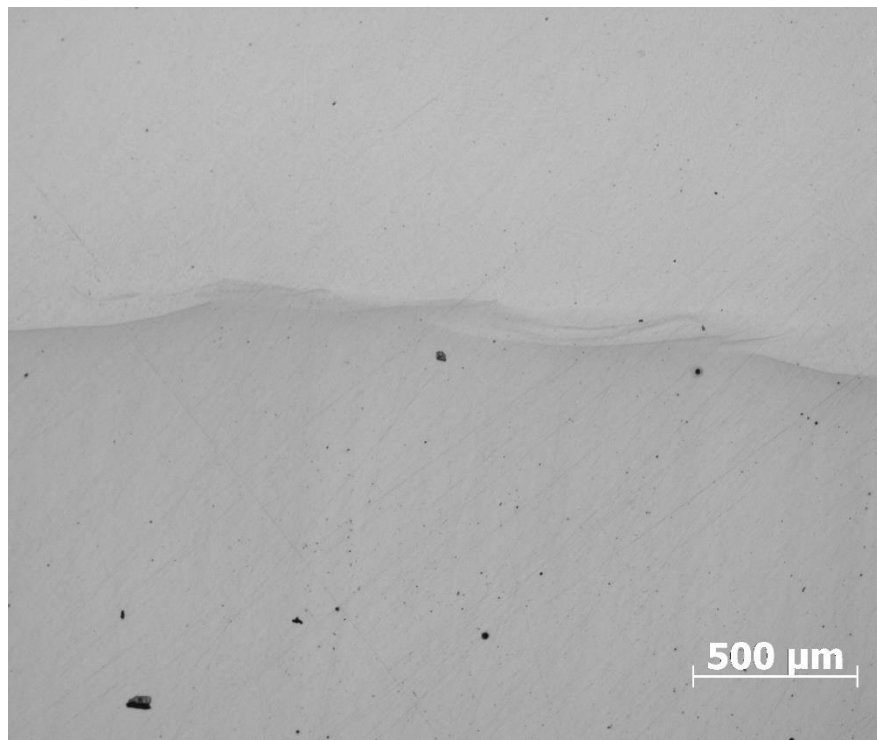


39. ábra Első felrakott réteg keménység értékei

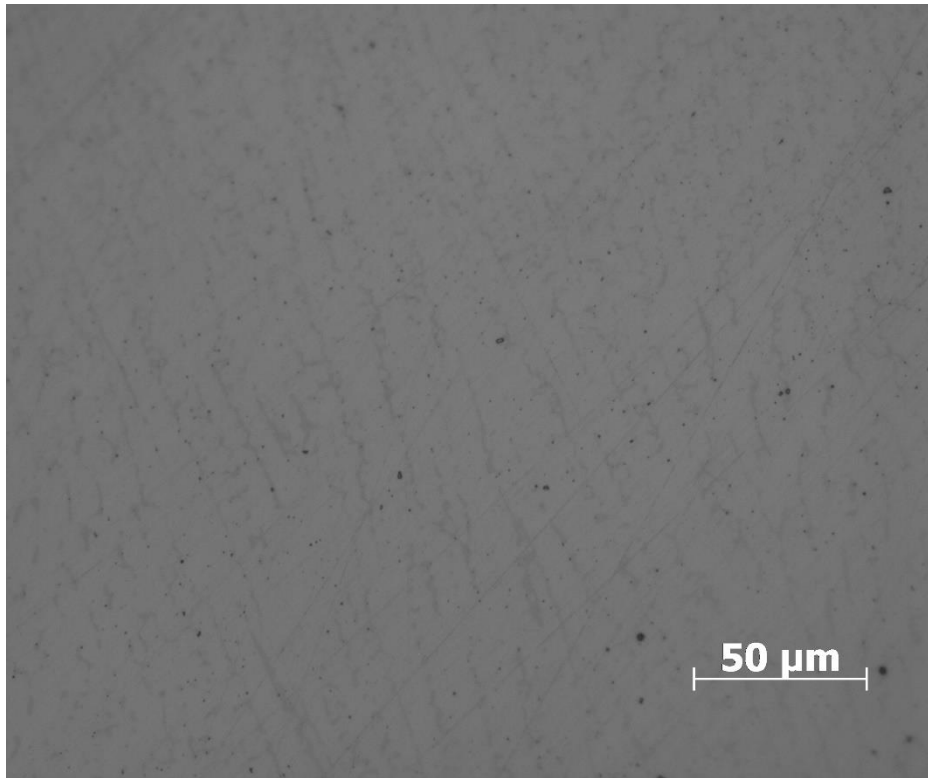
A 38. ábrán láthatóak az első réteg Vickers keménység értékei. Látható, hogy a mérések közepénél megugrottak az értékek, én ezt az anyagok keveredésének valószínűsítem.

4.2.2 Háromréteges felrakás

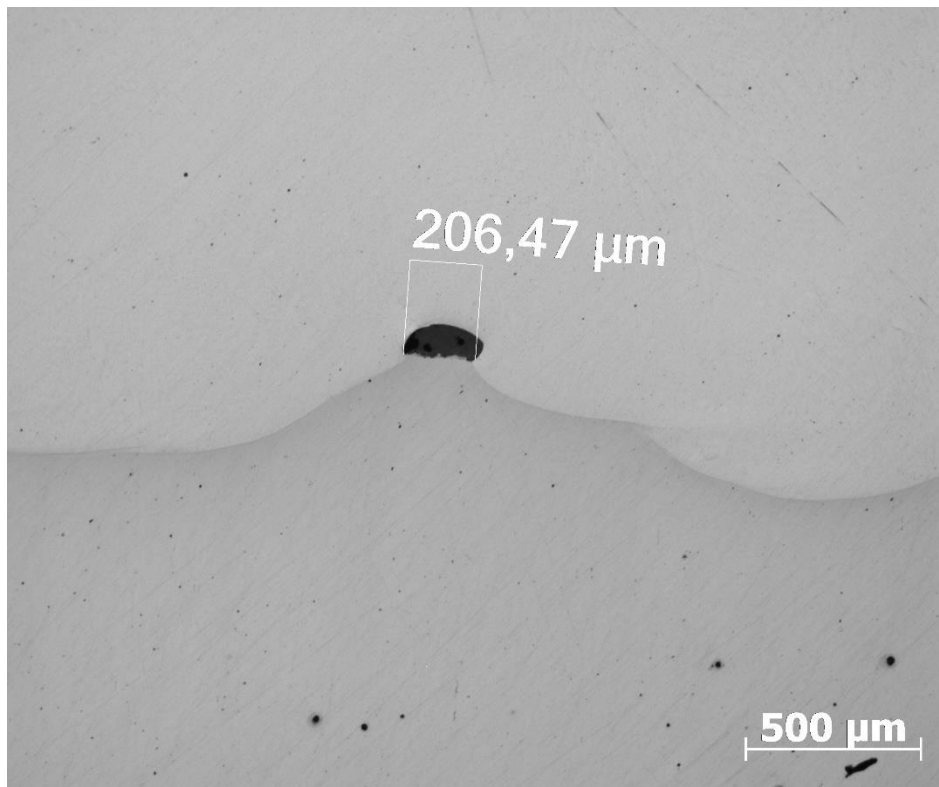
Itt már jobban látszódnak mind a keveredések, mind a hibák, azonban még mindig ígéretesebbek, mint az előzőleg vizsgált felrakások.



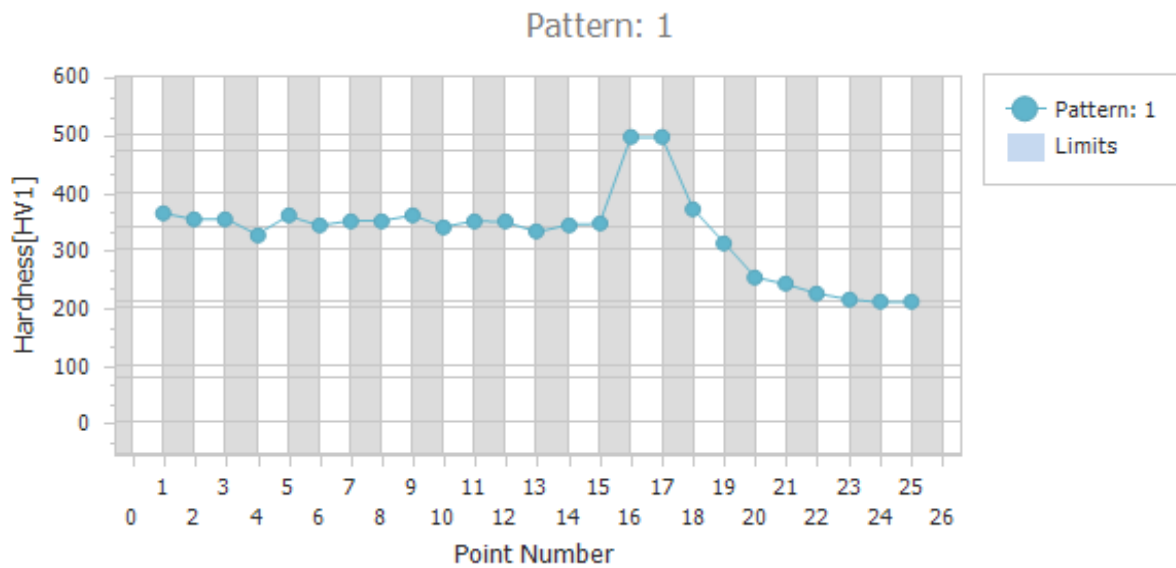
40. ábra A szubsztrát és a 45C-NS keveredése



41. ábra Metco 45C-NS mikrostruktúrája



42. ábra Zárvány a határfelületen

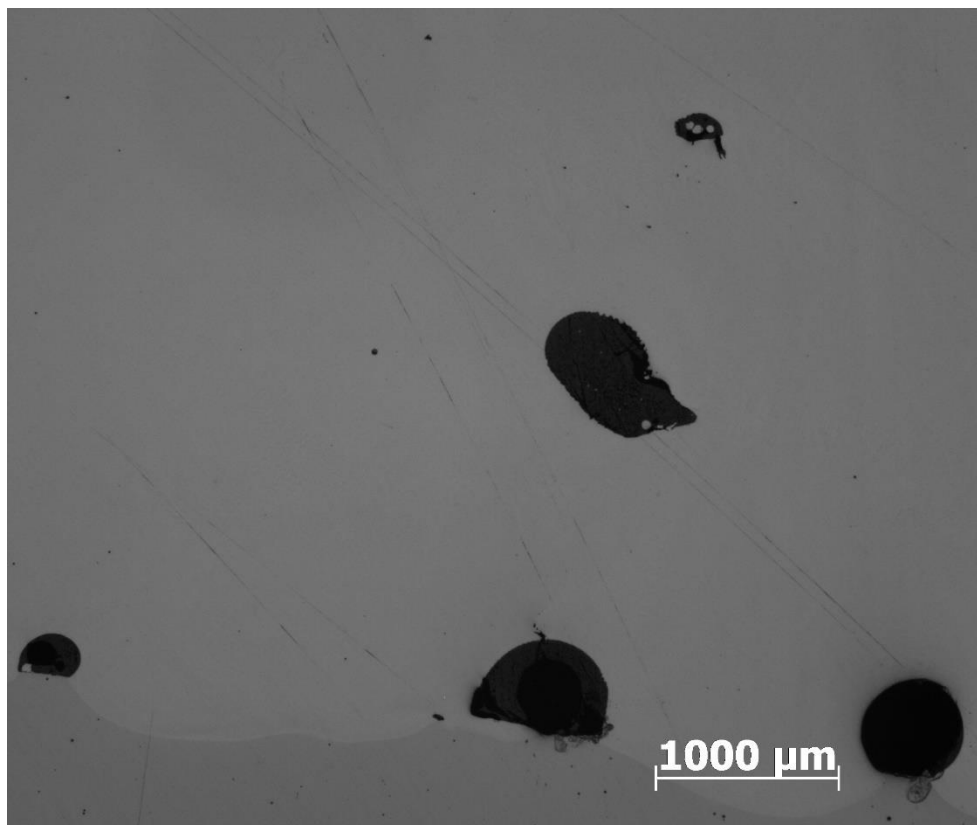


43. ábra Három réteges felrakás keménységei

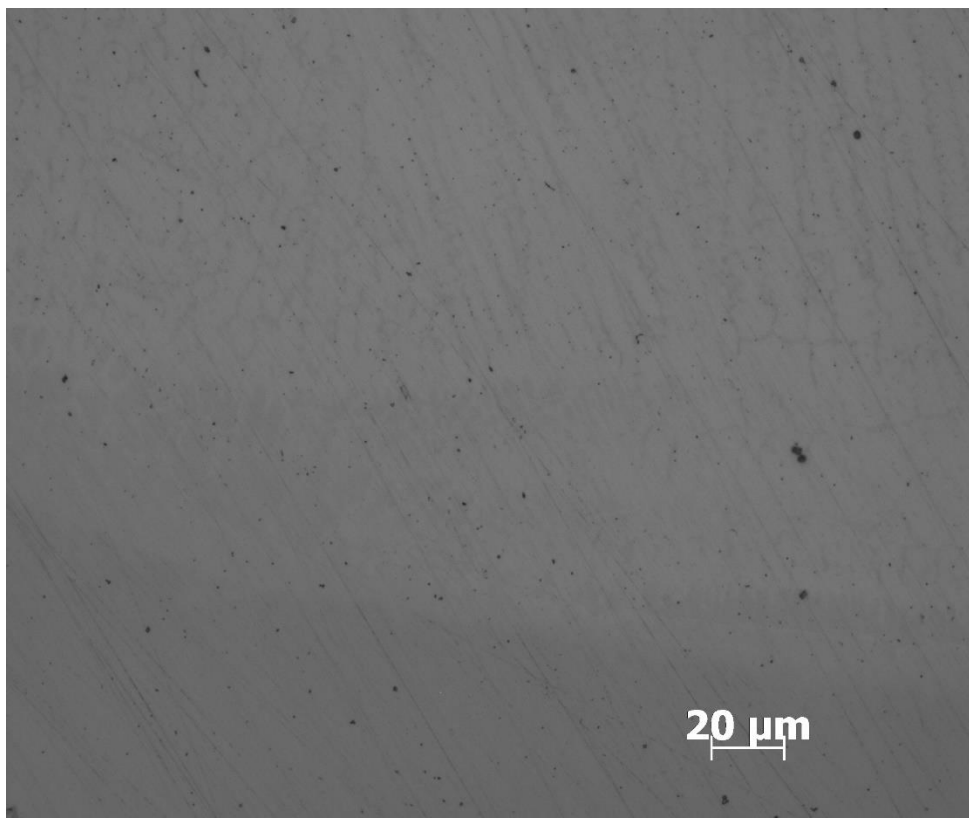
Látszik, hogy a szubsztrát közelében ismét emelkedik a keménység. Itt a felrakás vastagsága miatt, több mérést végeztem.

4.2.3 Ötréteges felrakás

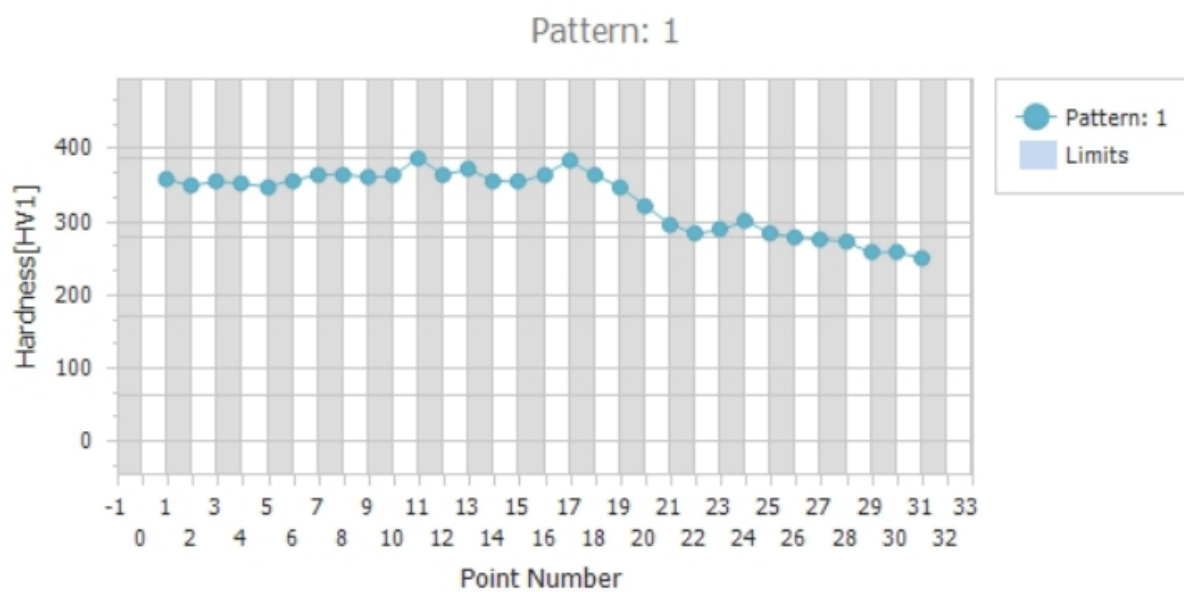
Látható volt, hogy itt már nem csak a határfelületen, hanem a keresztmetszetben is előfordultak. Tapasztalható volt keveredés ennél a mintánál is.



44. ábra Hibák öt réteges felrakásnál a keresztmetszetben



45. ábra Szubsztrát és felrakás keveredése



46. ábra Keménység értékei öt réteges felrakás esetén

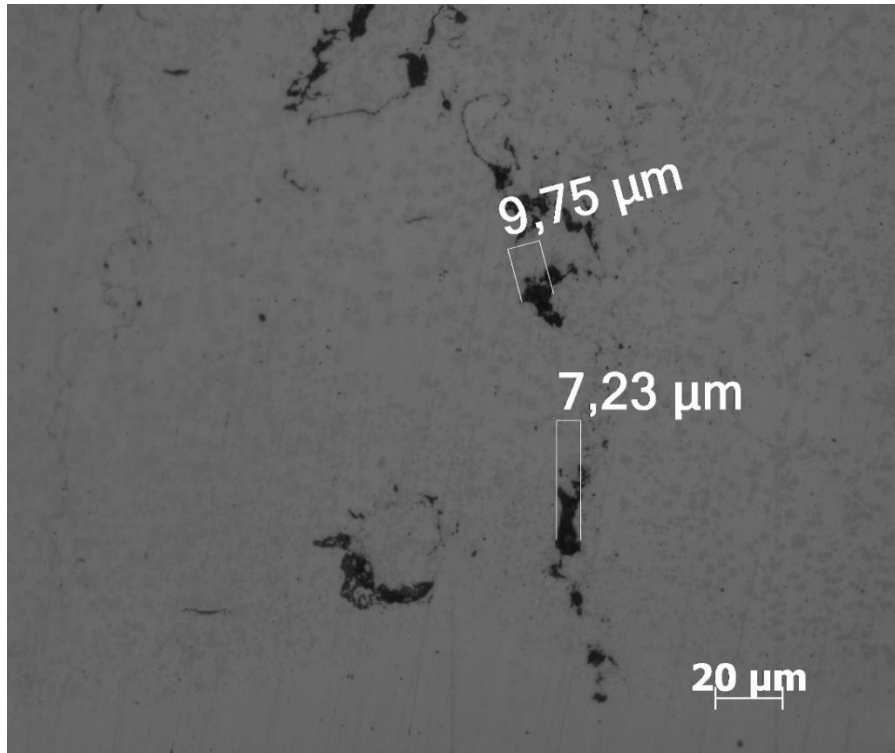
A keménységértékeket látva itt is megfigyelhető, hogy a szubsztráthoz közelítve megnő a keménység. Itt is több vizsgálatot kellett végezni a felrakás vastagsága miatt.

4.3 Harmadik vizsgálat: m4p V15-Fe

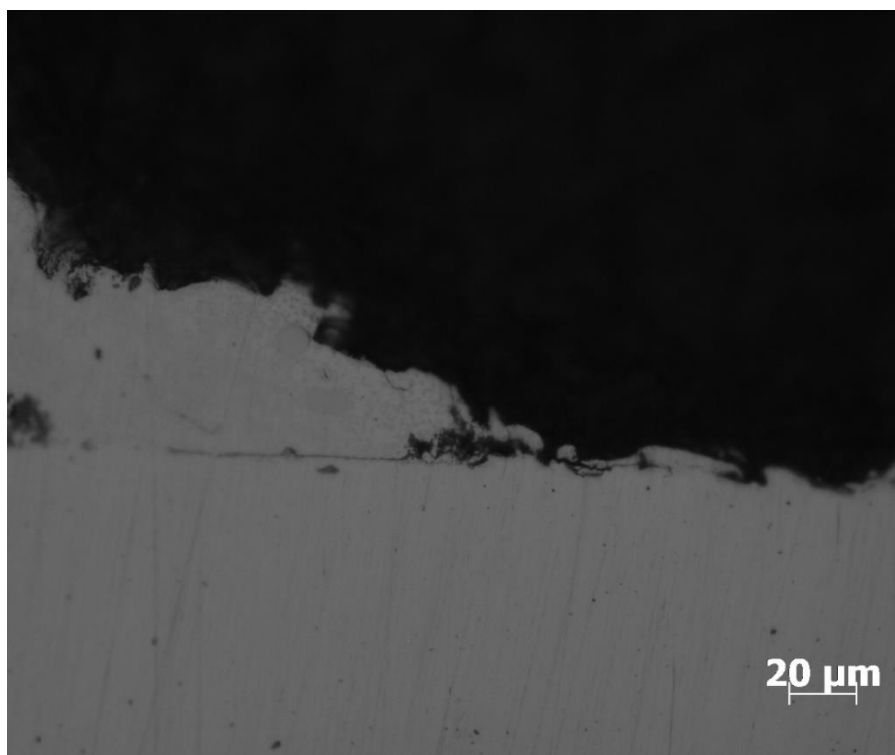
Az összes közül talán ez a felrakás lett a legkevésbé megfelelő. A programba beírt átfedések nem valósultak meg megfelelően, illetve a keresztmetszetek nagyon hibásak.

4.3.1 Egyréteges felrakás

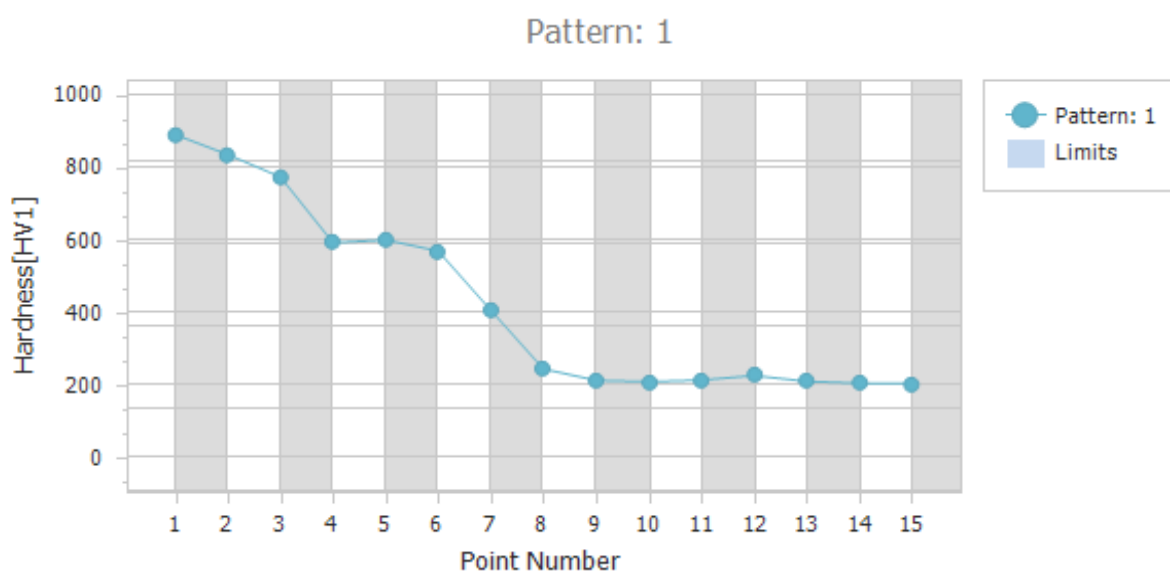
Már az első rétegen is sok repedést lehetett észrevenni, valamint nagyon sok zárványt is. A wolfram-karbidos felrakáshoz hasonló hibák itt is keletkeztek, sokkal nagyobb mértékben, sokkal nagyobb számban.



47. ábra Repedések az első rétegen



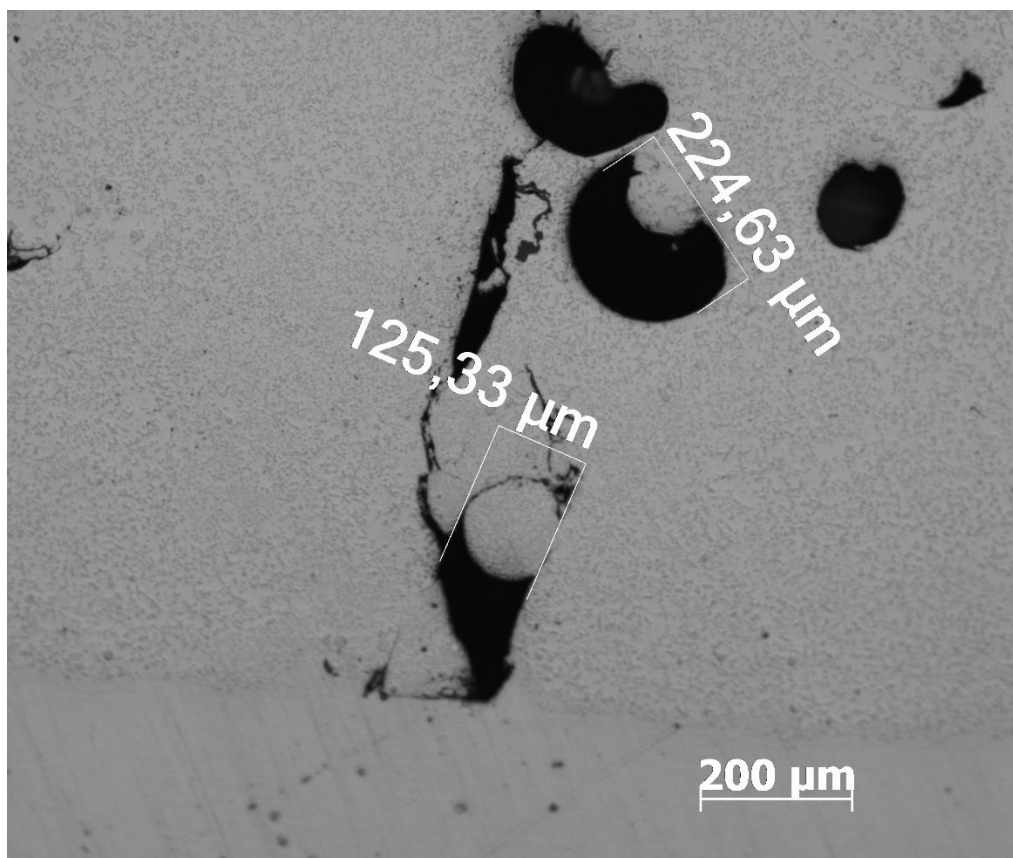
48. ábra Repedés a határfelületen



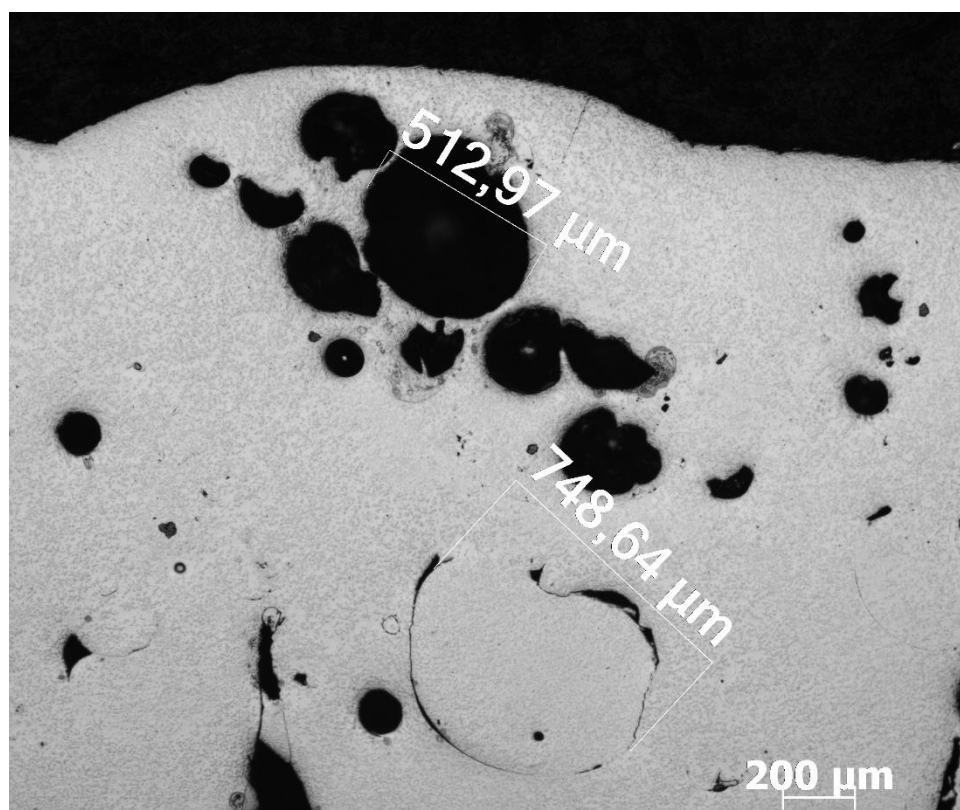
49. ábra Első réteg keménységértékei

4.3.2 Háromréteges felrakás

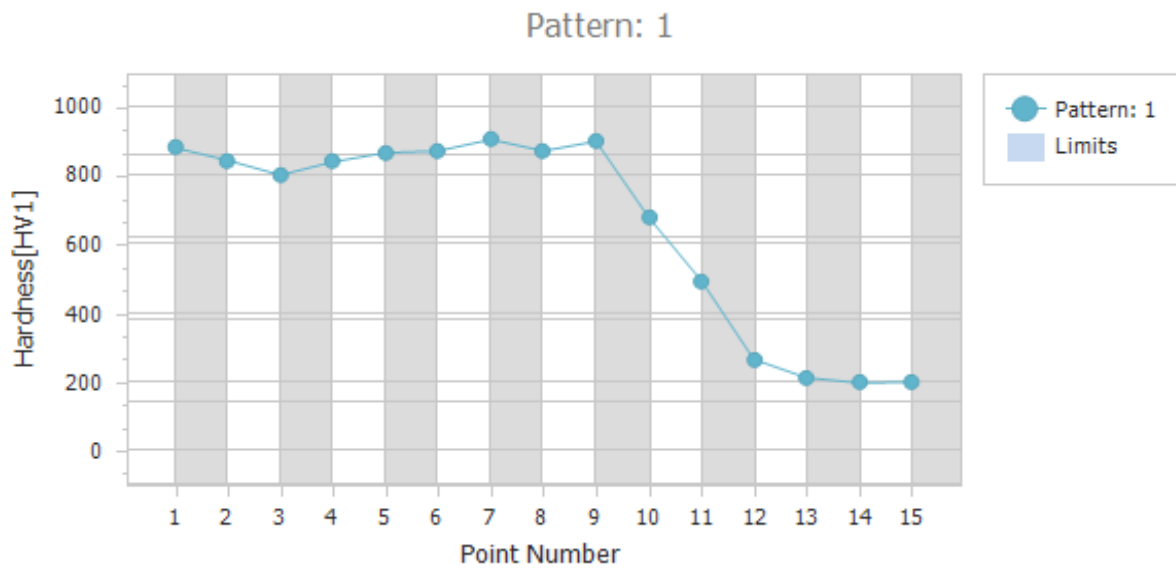
Az első réteghez hasonlóan sok hiba tapasztalható. A keménység ugyanúgy zuhan a szubsztráthoz közelítve, azonban átmeneti zóna itt is látható a keménységekből, van egy rész, ahol a köztes keménységértékek mutatkoznak, itt látható az alapanyag és a felrakott réteg kapcsolata.



50. ábra Több hiba egy helyen a szubsztrát közelében



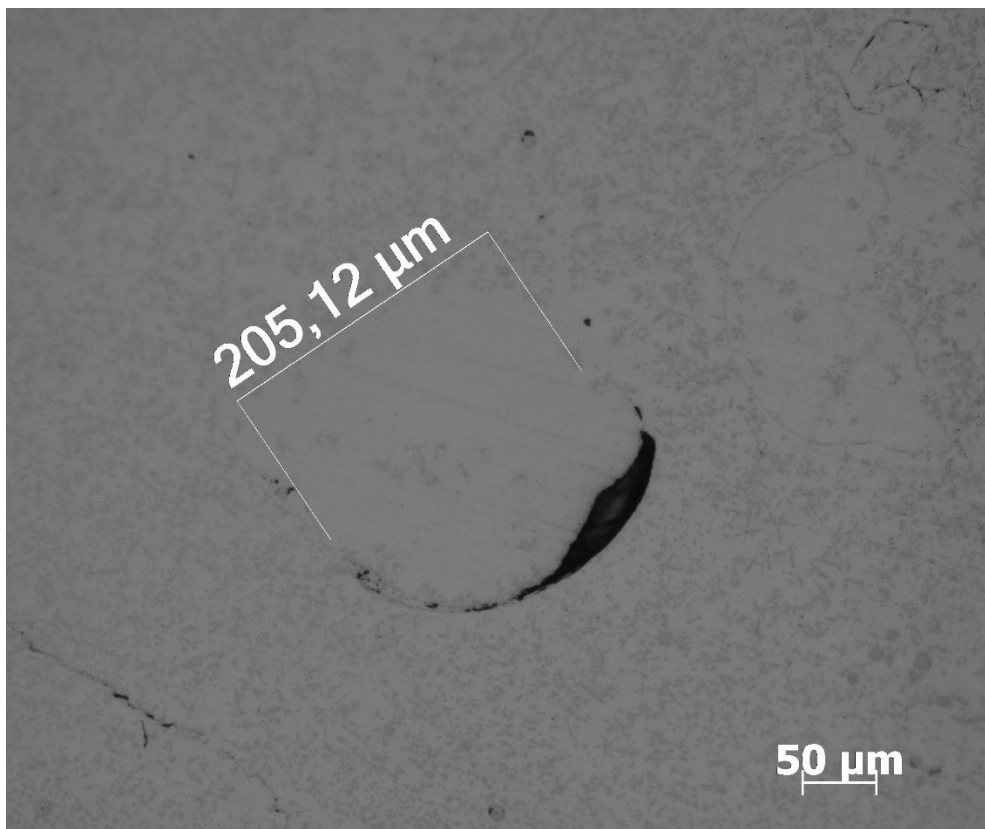
51. ábra A felrakott réteg felső részén keletkezett hibák



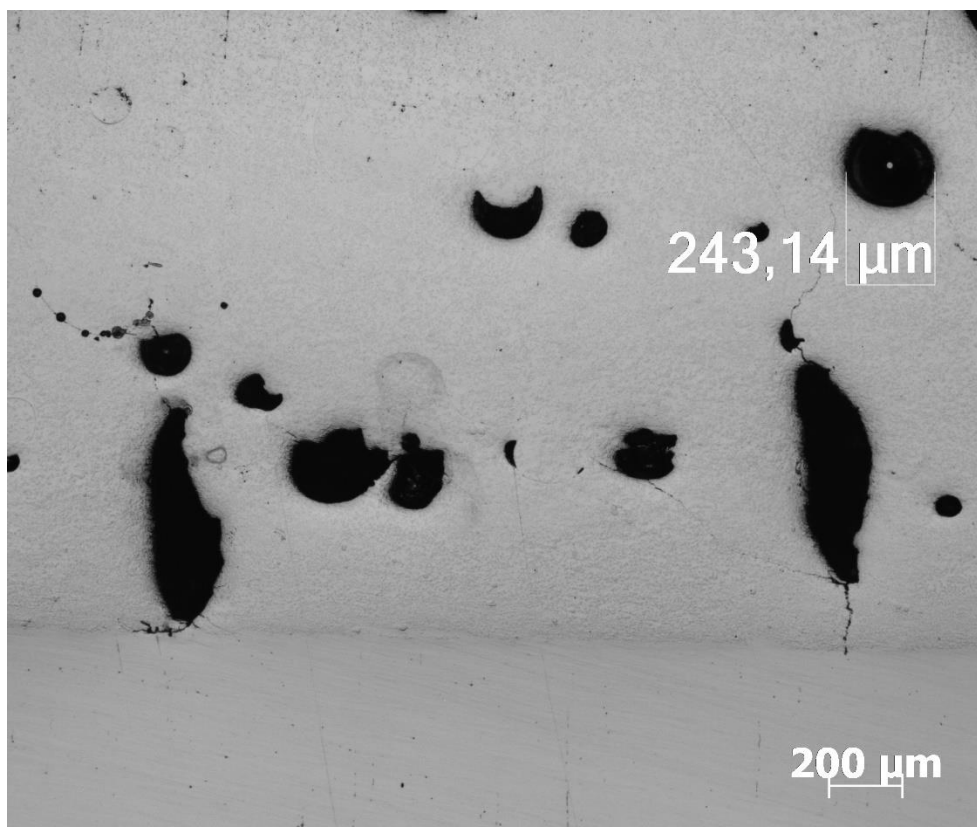
52. ábra Három réteg keménységértékei

4.3.3 Ötréteges felrakás

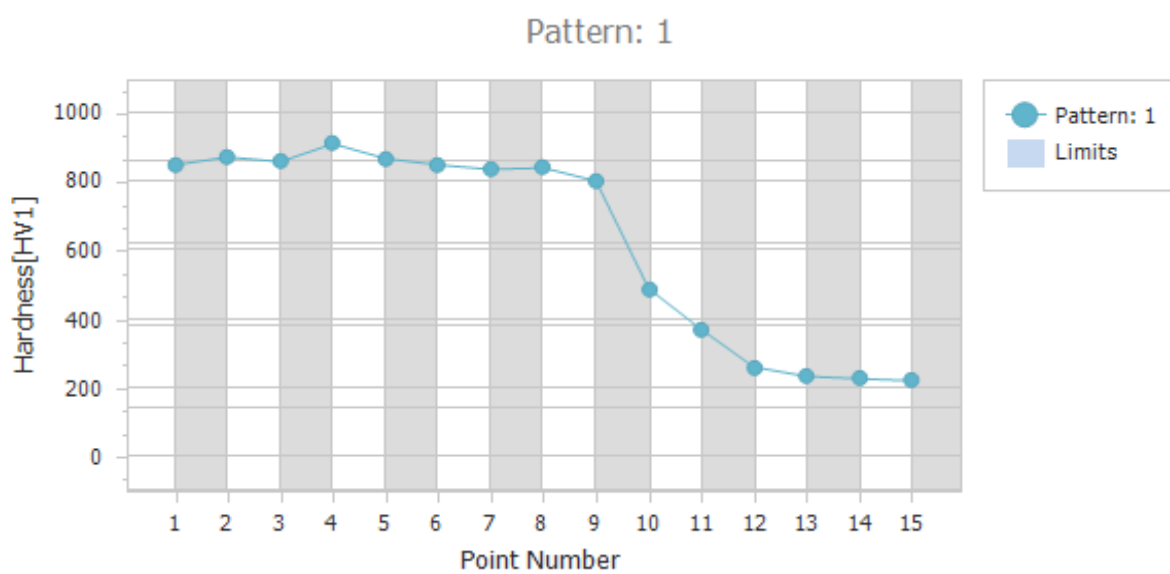
Itt is az előző vizsgálatok tapasztalatai érvényesülnek, a felrakás során értelemszerűen több anyag került az alapanyag felületére, így több hiba is látható.



53. ábra Mikroszerkezet hibával



54. ábra Hibák a keresztmetszeten



55. ábra Öt réteges felrakás keménységértékei

5 Összegzés

Elmondható a vizsgálatokról, hogy keménység szempontjából a Metco 5163 szerepelt a legjobban, valamint a V15-Fe értékei is biztató értéket mutatott. A keresztmetszeti kép azonban ezzel ellentétben, a 45C-NS a leghomogénebb anyag a három közül, felrakás szempontjából ezt a legelőnyösebb alkalmazni a kiválasztott anyagok közül. Keresztmetszeti hibák szempontjából hatalmas porozitások, zárványok és repedések észlelhetők, ezek nagyon nagy intervallumon is mozognak, akár 700 mikron fölé is mehet, sőt szabad szemmel is látható bizonyos esetekben. Tapasztalatok azt mutatták, hogy a gyártás során is akadtak problémák, a Metco 5163 esetén nagyon világítóan égett a felrakott réteg, m4p V15-Fe esetén szikrázás volt tapasztalható, valamint füstképződés, valószínűsíthetően valamelyik komponens égett el gyártás közben. Metco 45C-NS esetében apróbb keresztmetszeti hibák tapasztalhatók, azonban repedések nincsenek, a hibák leginkább a hordozóanyag és a felrakott réteg határán található. Megfigyelhető többretegű felrakásoknál keveredés, ami a keménységet is befolyásolja, növeli azt.

Summary

According to the examinations the Metco 5163 had the best hardness also the V15-Fe's results were promising. The cross sections views showed that the 45C-NS had the most homogenic structure and the laser cladding's quality was the best with this material. The other two materials had large cross section defects like porosities and cracks which can move above 700 mikrons and some are visible with bare eyes. During the manufacturing the Metco 5163 emitted a lot of light, at the m4p V15-Fe sparkling, and gas production could be seen which was maybe the sign of burning a component. Back to the Metco 45C-NS, cross section defects were small, there were no cracks, failures was visible near the joint surface of the substrate and the first layer. Mixing of materials were also visible which changes the hardness in a positive way.

Ábrajegyzék

1. ábra Lézeres felrakás	4
2. ábra Lézertechnológiák alkalmazásai	5
3. ábra Lézeres felrakóhegesztés a gyakorlatban	7
4. ábra LMD javítás	8
5. ábra Közös adagolás és az előre lehelyezett poros eljárás	9
6. ábra A teljes folyamat elvi vázlata	10
7. ábra Intenzitásprofilok és elnevezéseik	10
8. ábra Néhány lézernyalábhoz tartozó intenzitásprofil	11
9. ábra Lézeres polírozás sematikus ábrája	11
10. ábra Teljesítmény és energiasűrűség értékek lézerpolírozás során	12
11. ábra Megmunkálhatóság-fogásmélység diagram	13
12. ábra A köztes rétegek és csatlakozó felületek	13
13. ábra Repedések különböző WC tartalomnál	14
14. ábra Apró wolfram-karbid részecskék az általam vizsgált mintán	15
15. ábra Zárvány és repedés az általam vizsgált mintán	16
16. ábra Vas-alapú ötvözetpor mikromorfológiája	16
17. ábra Hordozóanyag és por kémiai összetétele	17
18. ábra Felrakások a megmunkálás előtt.....	17
19. ábra Felrakás esztergálás után.....	17
20. ábra Repedés keresés a rétegeken.....	18
21. ábra Különböző területek mikrostruktúrája	18
22. ábra Szubsztrát összetétele	19
23. ábra Felrakott por összetétele	19
24. ábra Felrakott réteg keresztmetszetének mikrográfiája	19
25. ábra Egyréteges felrakás keresztmetszete Metco 5163 anyagnál.....	26
26. ábra Keresztmetszeti hiba átmérője	27
27. ábra Egy porozitásból induló repedés legnagyobb szélessége	28
28. ábra Metco 5163 wolfram-karbidos felrakás mikroszerkezetében a wolfram-karbid részecske nagysága.....	28
29. ábra Kobalt részecske mérete a mikroszerkezetben	29
30. ábra Az egyréteges felrakás keménység értékei	29
31. ábra Vickers keménységmérés lenyomata	30
32. ábra Extrém hiba a háromréteges felrakás esetén	30
33. ábra Különböző wolfram-karbid szemcseméreték a mikrostruktúrán	31
34. ábra Metco5163 három réteges felrakása	31
35. ábra Ötréteges felrakás alsó régiója	32
36. ábra Ötréteges felrakás mikroszerkezete az apró wolfram-karbid szemcsékkel	32
37. ábra Ötréteges felrakás keménysége	33
38. ábra Zárvány a szubsztrát és a felrakás között	34
39. ábra Első felrakott réteg keménység értékei.....	35
40. ábra A szubsztrát és a 45C-NS keveredése	35
41. ábra Metco 45C-NS mikrostruktúrája	36
42. ábra Zárvány a határfelületen	36
43. ábra Három réteges felrakás keménységei.....	37
44. ábra Hibák öt réteges felrakásnál a keresztmetszetben	37
45. ábra Szubsztrát és felrakás keveredése	38
46. ábra Keménység értékei öt réteges felrakás esetén	38
47. ábra Repedések az első rétegen.....	39
48. ábra Repedés a határfelületen.....	40
49. ábra Első réteg keménységértékei	40
50. ábra Több hiba egy helyen a szubsztrát közelében	41
51. ábra A felrakott réteg felső részén keletkezett hibák.....	41
52. ábra Három réteg keménységértékei.....	42
53. ábra Mikroszerkezet hibával.....	42
54. ábra Hibák a keresztmetszeten	43
55. ábra Öt réteges felrakás keménységértékei	43

Irodalomjegyzék

- [1.]: https://www.eme.ro/publication-hu/mtk/mtk5/MTK5_097_Uzonyi-Asztalos-Dobranszky-Additiv_gyartas_huzalelektrodas_vedogazos_ivhegesztessel.pdf letöltve: 2024.09.15.
- [2.]: Dong-Gyu Ahn: Directed Energy Deposition (DED) Process: State of the Art
- [3.]: Bitay Enikő: Lézeres felületkezelés és modellezés
- [4.]: Y.Liu et al.: Research and progress of laser cladding on engineering alloys: A review
- [5.]: L.Zhu et al.: Recent research and development status of laser cladding: A review
- [6.]: A.A.Siddiqui: Recent trends in laser cladding and surface alloying
- [7.]: K.Wang: Research and Progress of Laser Cladding: Process, Materials and Applications
- [8.]: S.Sun: Preparing WC-Ni coatings with laser cladding technology: A review
- [9.]: F.Edson: Effect of Laser Polishing Post-Processing Technique on the Roughness and Wear Resistance of Inconel 625 Deposited by Laser Cladding on AISI 304L Stainless Steel
- [10.]: P.Zhang: Machinability investigations on turning of Cr-Ni-based stainless steel cladding formed by laser cladding process
- [11.]: Y.Zhao: Study on chip morphology and milling characteristics of laser cladding layer
- [12.]: Lai, Q.; Abrahams, R.; Yan, W.; Qiu, C.; Mutton, P.; Paradowska, A.; Soodi, M.; Wu, X. Influences of depositing materials, processing parameters and heating conditions on material characteristics of laser-cladded hypereutectoid rails
- [13.]: O. Kendall: Application of a New Alloy and Post Processing Procedures for Laser Cladding Repairs on Hypereutectoid Rail Components
- [14.]: K. Van Acker, D. Vanhoyweghen, R. Persoons, J. Vangrunerbeek, Influence of tungsten carbide particle size and distribution on the wear resistance of laser clad WC/Ni coatings, Wear 258 (2005) 194–202.
- [15.]: M.R. Fernández, A. García, J.M. Cuetos, R. González, A. Noriega, M. Cadenas, Effect of actual WC content on the reciprocating wear of a laser cladding NiCrBSi alloy reinforced with WC, Wear 324-325 (2015) 80–89.
- [16.]: J.Leunda: Laser cladding strategies for producing WC reinforced NiCr coatings inside twin barrel
- [17.]: Q.Bai: Microstructure and Wear Resistance of Laser Cladding of Fe-Based Alloy Coatings in Different Areas of Cladding Layer

- [18.]: C.Cui: Characteristics of cobalt-based alloy coating on tool steel prepared by powder feeding laser cladding
- [19.]: https://www.trumpf.com/filestorage/TRUMPF_US/Corporate/Corporate_Brochures_and_publications/TRUMPF-laser-systems-brochure-EN.pdf letöltve: 2024. 11.10.
- [20.]: Material Product Data Sheet Tungsten Karbide – 10% Cobalt 4% Chromium Powders letöltve: 2024.11.10.
- [21.]: <https://mymetco-europe.oerlikon.com/en-us/product/metco45cns> letöltve: 2024.11.10.

Ábrák forrásai:

1. ábra: Dong-Gyu Ahn: Directed Energy Deposition (DED) Process: State of the Art
2. ábra Bitay Enikő: Lézeres felületkezelés és modellezés
3. ábra: <https://tmcomas.com/en/service/laser-cladding/> letöltve: 2024.09.10.
4. ábra: A.A.Siddiqui: Recent trends in laser cladding and surface alloying
5. ábra: L.Zhu et al.: Recent research and development status of laser cladding: A review
6. ábra: Y.Zhao: Microstructure and properties of laser clad B₄C/TiC/Ni-based composite coating
7. ábra: Bitay Enikő: Lézeres felületkezelés és modellezés
8. ábra: Bitay Enikő: Lézeres felületkezelés és modellezés
9. ábra: F.Edson: Effect of Laser Polishing Post-Processing Technique on the Roughness and Wear Resistance of Inconel 625 Deposited by Laser Cladding on
10. ábra: F.Edson: Effect of Laser Polishing Post-Processing Technique on the Roughness and Wear Resistance of Inconel 625 Deposited by Laser Cladding on
11. ábra: F.Edson: Effect of Laser Polishing Post-Processing Technique on the Roughness and Wear Resistance of Inconel 625 Deposited by Laser Cladding on
12. ábra: F.Edson: Effect of Laser Polishing Post-Processing Technique on the Roughness and Wear Resistance of Inconel 625 Deposited by Laser Cladding on
13. ábra: Y.Zhao: Study on chip morphology and milling characteristics of laser cladding layer
16. ábra: Q.Bai: Microstructure and Wear Resistance of Laser Cladding of Fe-Based Alloy Coatings in Different Areas of Cladding Layer
17. ábra: Q.Bai: Microstructure and Wear Resistance of Laser Cladding of Fe-Based Alloy Coatings in Different Areas of Cladding Layer
18. ábra: Q.Bai: Microstructure and Wear Resistance of Laser Cladding of Fe-Based Alloy Coatings in Different Areas of Cladding Layer

19. ábra: Q.Bai: Microstructure and Wear Resistance of Laser Cladding of Fe-Based Alloy Coatings in Different Areas of Cladding Layer
20. ábra: Q.Bai: Microstructure and Wear Resistance of Laser Cladding of Fe-Based Alloy Coatings in Different Areas of Cladding Layer
21. ábra: Q.Bai: Microstructure and Wear Resistance of Laser Cladding of Fe-Based Alloy Coatings in Different Areas of Cladding Layer
22. ábra: C.Cui: Characteristics of cobalt-based alloy coating on tool steel prepared by powder feeding laser cladding
23. C.Cui: Characteristics of cobalt-based alloy coating on tool steel prepared by powder feeding laser cladding
24. C.Cui: Characteristics of cobalt-based alloy coating on tool steel prepared by powder feeding laser cladding