

Addline gázok 3D fémnyomtatáshoz

Fém additív gyártás eljárásai és gázai



Az alapanyag és berendezés gyártók folyamatos fejlesztéseinek köszönhetően a fém additív gyártás eljárásváltozatai forradalmi fejlődésen mennek keresztül. A legnépszerűbb Porágyolvasztásos (PBF) és Direkt Energia Felrakásos (DED) eljárások mellett az elmúlt években több új eljárásváltozat is megjelent. Számos vállalat és kutatóközpont fektet be a kutatásba és fejlesztésbe azzal a céllal, hogy szabványosítsa a 3D fémnyomtatást a gyártás terén.

A fém additív gyártási eljárásoknál az alkatrész rétegről-rétegre készül és közvetlenül a por vagy huzal formában létező alapanyag olvasztásával állítják elő a darabokat. A műanyagok gyártása terén e módszer alkalmazása igen fejlett, és már jó ideje használják. A fémek 3D nyomtatása egészen más kérdés: összehasonlításképpen az ezzel a módszerrel előállított fém termékek még meglehetősen drágák, de az utóbbi időben az előállítási költségek a fejlesztéseknek köszönhetően folyamatosan csökkennek.

A hagyományos gyártáshoz képest a 3D nyomtatás előnyös a bonyolult alkatrészek gyártása esetében. A rétegek egyesével történő felhordása nagymértékben megkönnyíti azon bonyolult szerkezetek előállítását, amelyeket nehéz vagy lehetetlen legyártani a hagyományos szubsztraktív gyártási módszerekkel. A 3D nyomtatást gyakran használják egyedi termékek vagy kis sorozatú tételek gyártására, mivel ilyen esetekben túl drága lenne egy e célt szolgáló hagyományos gyártóüzem felállítása. Az ily módon előállított termékekre jellemző példák közé tartoznak az orvostudomány terén a csípő- vagy fogprotézisek, valamint a turbinalapátok, illetve a turbófeltöltő egységek.

Addline - Gázok 3D nyomtatáshoz

A 3D nyomtatás a gyártási lánc adott szakaszaiban különböző gázok használatával jár. A gázok láthatatlanok, szerepük mégis lényeges az alapanyagok, minőségi porok gyártásánál, valamint az additív gyártási, illetve hőkezelési környezetben a nedvesség, az oxigén távartásában, továbbá a tulajdonságaik révén hatással vannak a gyors olvasztási és szilárdulási folyamatra. Az oxigén jelenléte nem kívánatos sem az alapanyaggyártásnál, sem az additív gyártási folyamatoknál. Ezért a fémporok gyártásánál és az additív gyártási környezetben a cél a 100 ppm (0,01%) alatti oxigénszint biztosítása. Az eljárás és az alapanyag függvényében különböző tisztaságú gázokat alkalmaznak. A Messer az additív eljárások számára Addline néven forgalmazza termékeit. Ezekre a gázokra a nagy 99,996% (4.6) – 99,999% (5.0) tisztaság, illetve a rendkívül kis szennyezőhányad ($O_2 \leq 2$ ppm és $H_2O \leq 3$ ppm) jellemző.

Gázok fémporok előállításához és tárolásához

Az alapanyag gyártásban jelentős szerepet kapnak a plazma-, a gáz- és a konfigurációs atomizációs technológiáknál használatos nitrogén, argon vagy hélium gázok, amelyek jelentősen befolyásolni tudják a keletkezett por tulajdonságait. A gömb alaktól való eltérés a szilárd oxidok létrejötte miatt alakul ki, amelyek a szemcsék felületén jönnek létre. Az oxidképződés drasztikusan megnöveli a viszkozitást, és ez meggátolja a gömb alakú cseppek létrejöttét. Ezért célszerű az oxigénmennyiséget a lehető legalacsonyabb szinten tartani. Minőségük garantálása érdekében egyes porokat tartósan védőgázos atmoszférában kell tárolni. E célra védőgázzal töltött speciális tartályokat használnak. **A leggyakrabban alkalmazott védőgáz az argon.**

Gázok az additív gyártási környezetben

A PBF-LB (porágyas lézersugaras olvasztás) eljárásoknál alkalmazott védőgázok elsődleges feladata az olvadékfürdő védelme, de emellett legalább olyan fontos, hogy a gázáram eltávolítsa a keletkező fémgőzőket, részecskéket, amelyek a lézersugár energiájának részbeni elnyelésével instabillá tehetik a gyártási folyamatot. A gáz minősége, mennyisége és lamináris áramoltatása meghatározó tényezője a jó gyártási minőségnek. Alapanyagtól függően a leggyakrabban alkalmazott gázok a nitrogén és argon.

A porszórás és a huzaladagolást alkalmazó eljárások (Direct Energy Deposit) általában argont használnak védőgázként, vagy vivőgázként. Egyes gyártók a hélium használatát is javasolják, de az előnyöket össze kell vetni a hélium magas költségével. Számos anyag esetében azonban gázkeverékek is alkalmazhatók.

Védőgázokra szükség van a későbbi utómunkálatok során is. Ezen utómunkálatok vagy az alkatrészek homogén tulajdonságainak elérésére tervezett hőkezelések, vagy egy későbbi szinterkezési folyamat végrehajtását jelentik. A feszültségmentesítő hőkezelés a jellemző hőkezelés, amely védőgáz használatát igényli. A szinterkezés, illetve az izosztatikus nyomáson történő hőkezelés (HIP) a nyomtatott darab végső alakjára, szemcse-szerkezetére, mechanikai tulajdonságaira, a porozitás és mikrorepedések csökkentésére van döntő hatással. A gázoknak itt is fontos szerepe van a semleges atmoszféra biztosításában. A leggyakrabban használt gáz az argon.

Anyag	Alkalmazott védőgázok			
	Argon	Hélium	Nitrogén	Argon-keverék
Titán				
Alumínium				
Auszténites acél, nikkelt				
Ferrites acél				

Műszaki szempontok

A fém-additív gyártás egylépcsős és többlépcsős eljárásokra csoportosítható. A többlépcsős eljárásoknál a védőgázok használata a hőkezelés vagy szinterezés során szükséges. Az egylépcsős eljárásoknál védőgázra a tényleges gyártási folyamat során is szükség van. Ez alól kivételt képeznek az elektronsugaras eljárások. Ezek az eljárásváltozatok az alapanyag adagolás és az energiaforrás szerint kategorizálhatók.

Porágyas eljárások

Napjainkban a leggyakrabban alkalmazott 3D nyomtatási eljárásnak a porágyas olvasztásos eljárások számítanak. Ezeknél az előző megolvasztott rétegre terítik el az új porrétegeket és olvasztják rá az alatta lévőre. A Porágyas eljárásoknál az alapanyag olvasztáshoz lézersugaras és elektronsugaras energiaforrást alkalmaznak. Ma e folyamatok hivatalos megnevezései a következők: Powder Bed Fusion – Laser Beam (porágyas lézersugaras olvasztás, rövidítve PBF-LB) és Powder Bed Fusion – Electron Beam (porágyas elektronsugaras olvasztás PBF-EB).

Porszórás és huzaladagolás

A porszórás és a huzaladagolást alkalmazó eljárások hivatalos megnevezése Direct Energy Deposit (Direkt Energia Felrakás). Ezen eljárásoknál a következő réteget szelektív módon hordják fel az előző rétegre vagy alkatrészekre megolvasztott huzal vagy por formájában. Egy robot vagy egy automatizált többtengelyes rendszer biztosítja a szerszámok szükséges mozgását. A megfelelő energiaforrások közé tartozik a lézer és az elektromos ív, melyek esetében a szabványok meghatározzák hivatalos besorolásukat is. Lézersugaras közvetlen energiabevitel (DED-LB) és ív-alapú közvetlen energiabevitel (DED-Arc). A DED-LB folyamat lézeres fémfelrakás (Laser Metal Deposition LMD) néven is ismert. Az eljárásnak két típusa létezik: a poralapú lézeres fémfelrakás (LMD-P) és a huzal-adagolásos lézeres fémfelrakás (LMD-W). A DED eljárások általában argont használnak védőgázként, esetleg vívőgázként. Egyes gyártók a hélium használatát is javasolják, de az előnyöket össze kell vetni a hélium magas költségével. Számos anyag esetében argon alapú kevés aktív komponenszt tartalmazó gázkeverékek is alkalmazhatók.

Kötőanyagok

A fémporokat kötőanyaggal (gyakran polimerrel) keverik. A kötőanyag a komponensrétegek egyesével történő nyomtatását segíti elő. A nyomtatás után az első lépés a kötőanyag kiégetése. A következő lépés az alkatrész magas hőmérsékleten történő szinterezése. A szinterezés az alkatrész zsugorodását okozza. Ezt a zsugorodást figyelembe kell venni a gyártás során.

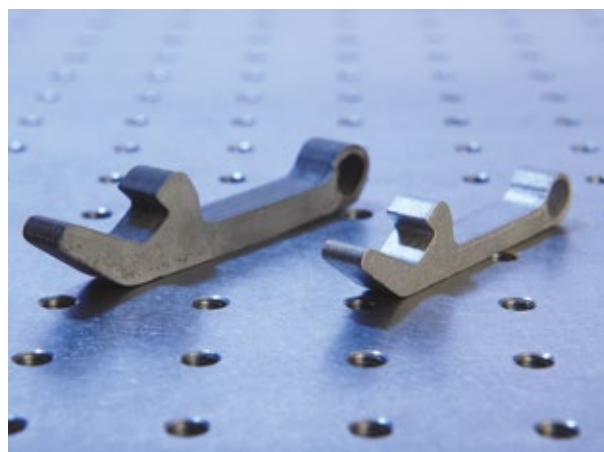
Alapanyag adagolás	Energiaforrás		
	Lézersugár	Elektronsugár	Ív/plazma sugár
Porágyaterítés	x	x	–
Porszórás	x	–	x
Huzaladagolás	x	x	x



A portól a kész alkatrészig



Lézeres fémfelhordás



Kötőanyag szórás (baloldalon: nyers munkadarab, jobboldalon: kész alkatrész)

A legismertebb eljárások

Powder Bed Fusion – Laser Beam

(porágyas lézersugaras olvasztás, PBF-LB)

A PBF-LB a 3D fémnyomtatás egyik legelterjedtebb additív technológiája amely alapanyagától függően keringtetett nitrogén vagy argon védőgázt használ. A védőgáz megvédi a fémolvadékokat az oxigén káros hatásaitól illetve eltávolítja a folyamat során keletkező fémgőzőket, füst és egyéb részecskéket. Az eljárásváltozatok ismert nevei az alábbiak:

- Laser Powder Bed Fusion (lézeres porágyas olvasztás) (L-PBF)
- Laser beam melting (lézersugaras-olvasztás) (LBM)
- Selective laser melting (szelektív lézeres olvasztás) (SLM)
- Direct metal laser sintering (közvetlen fém lézeres szinterezés) (DMLS)
- Laser CUSING®



Az „ifw Jena” által kifejlesztett, CrNi acélból készült hűtött hegesztőfúvóka

Jellemzők és előnyök

A PBF-LB eljárás változataival nagyfokú precizitás érhető el. Az elérhető pontosság nagyobb, mint az egyéb eljárások esetében, mivel lézer segítségével a rétegek felhordása nagy pontossággal és biztonságosan végrehajtható. Ennek a nagy pontosságnak köszönhetően még a nagyon szigorú alkatrész-tűrések is teljesíthetők. Ezen eljárás lassúbb, mint az elektronsugaras porágyas fúzió (PBF-EB), mivel a lézersugár mozgatása lassabb. Ezen hátrány ellensúlyozására és a PBF-LB technológia termelékenységének növelése érdekében a gyártók piacra dobták a 2, 3 vagy több 12, 16 lézersugarat használó berendezésüket.

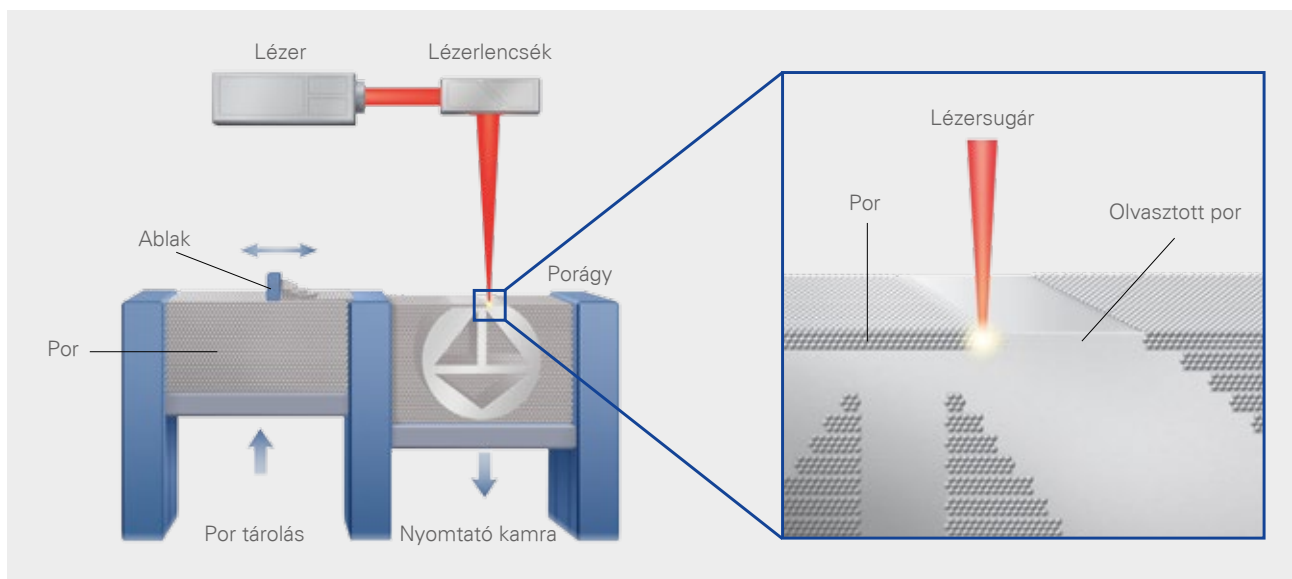
Powder Bed Fusion – Electron Beam

(elektronsugaras porágyas olvasztás) (PBF-EB)

A PBF-EB egy másik porágyas additív eljárás. A PBF-LB-vel ellentétben ezt az eljárást vákuumban hajtják végre, amely optimális védelmet nyújt a negatív atmoszférikus behatásokkal szemben. Azonban ebben az esetben az olvasztási folyamatot nem lehet befolyásolni védőgáz segítségével.

Jellemzők és előnyök

A PBF-EB nem képes olyan magasszintű pontosságot elérni, mint a lézersugaras porágyas olvasztás. Ennek oka az elektronsugarak nagy energiasűrűsége. A nyomtatási folyamat magas hőmérsékleten zajlik, amely következményeként az olvadt területek nagyobbak. A PBF-EB-vel elérhető pontosság azonban nagyobb, mint bármely más egyéb additív eljárás esetében, ez alól kivételt képez az PBF-LB. Ezen eljárás egyik konkrét előnye az, hogy a nyomtatás nagyon gyors, mivel az elektronsugár mozgatása gyorsabb mint a lézersugár mozgatása.



Porágyas lézersugaras olvasztás (PBF-LB)

Direct Energy Deposition - Laser Beam

(lézersugaras direkt energia felrakás porral) (DED-LB)

Alternatív megnevezés: **Laser metal deposition with powder (por-alapú lézeres fémfelhordás) (LMD-P)**

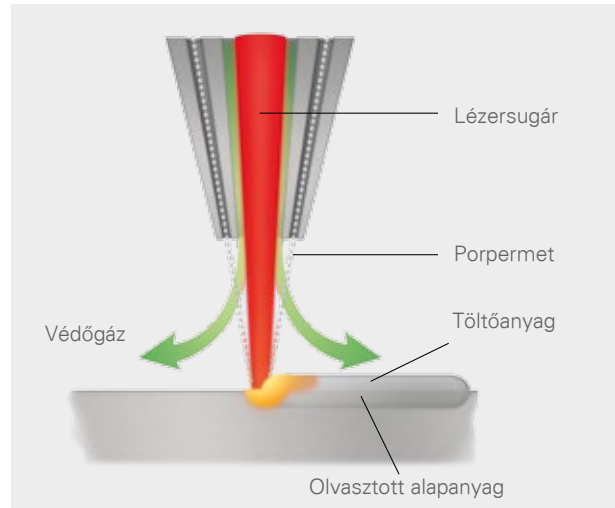
Közvetlen energiabevitel - A por-alapú lézersugaras eljárásnak az a megkülönböztető jellemzője, hogy a port közvetlenül az olvadákszónába, a lézer fókuszoltjába juttatják. A port közvetlenül a megmunkáló fejen keresztül adagolják, majd egy vivőgáz segítségével a feldolgozási zónába (nyomtatási zóna) permetezik egy olyan sugár formájában, amely a lézersugár körül koncentrikus. A vivőgáz mellett védőgázra is szükség van.



DED-LB eljárással nyomtatott szállítócsiga

Jellemzők és előnyök

A por-alapú DED-LB eljárás esetében a lézerfejet általában egy robot irányítja. Ez azt jelenti, hogy a folyamat sebessége sokkal lassúbb, mint a porágyas eljárások esetében. Mivel az eljárás nincs porágyhoz kötve, sokkal nagyobb méretű tárgyak gyártására is alkalmas. Az elérhető pontosság és tűréshatárok nem olyan jók, mint a porágyas eljárásoknál. Sok alkalmazás esetében azonban ez elégséges. Az is előfordulhat, hogy a követelményeket későbbi utómunka révén ki lehet elégíteni. A létező alkatrészekre történő nyomtatás sem okoz semmilyen nehézséget. Erre javítások, illetve kombinált gyártási eljárások (hagyományos gyártás + 3D nyomtatás) esetében lehet szükség.



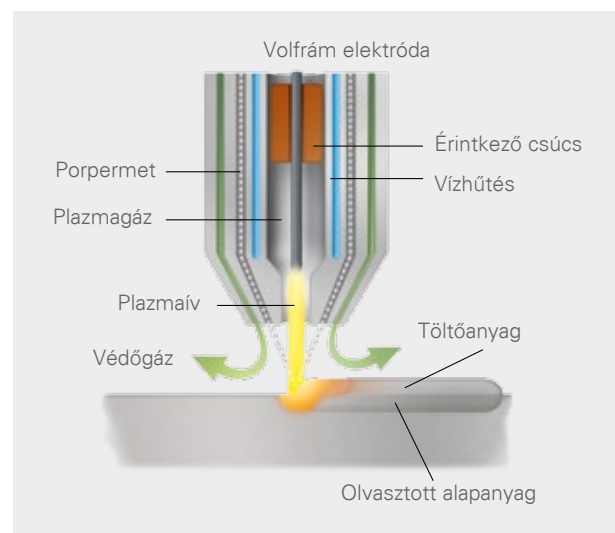
Lézersugaras direkt energia felrakás porral (DED-LB)

Plazmaív felhordással történő hegesztés

A plazmaívhegesztés során fémport permeteznek a nyomtatófejen hegesztőéggön keresztül a plazmasugár körül koncentrikus sugárban. Ehhez a módszerhez plazmagázra, vivőgázra és védőgázra van szükség. E módszer jól felismerhető az alkatrészekon képződő bevonatok alapján. A 3D nyomtatáshoz több réteget kell felhordani.

Jellemzők és előnyök

Plazmaíves hegesztés esetén a nyomtatófejet, illetve az égőt is robot irányítja. Ezen eljárással is kifejezetten nagy alkatrészek is gyárthatók. Ez az eljárás sérült alkatrészek nyomtatással történő javítására is alkalmas.



Plazmaív felhordással történő hegesztés

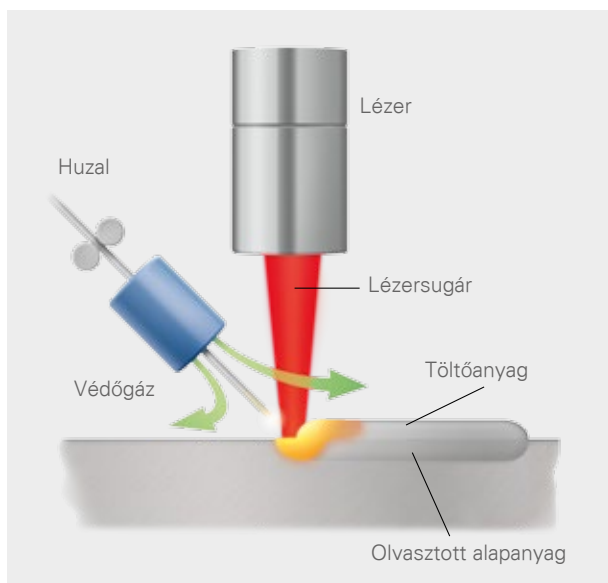
Lézersugaras direkt energia felrakás (DED-LB) huzal adagolással

Alternatív megnevezés: **Lézeres fémfelhordás huzal adagolással (LMD-W)**

A lézersugaras hegesztés széles körben elterjedt kötési eljárás. A huzal-alapú DED-LB az egyik legismertebb eljárás, amit a 3D fémnyomtatás terén alkalmaznak. Ebben az esetben az alapanyaghoz választott összetételű huzal megolvasztásával készül rétegről-rétegre az alkatrész. A védőgáz védi az olvadt fémfürdőt az additív gyártási folyamat során a levegő oxigénjétől és nedvességétől.

Jellemzők és előnyök

A huzal-alapú DED-LB elviekben hasonló a por-alapú DED-LB folyamathoz. Mindkét eljárás lézert és robot által vezérelt megmunkáló fejet használ. Az egyetlen különbség az alkalmazott töltőanyag jellege. A huzalnak előnyei és hátrányai is vannak a porral szemben. A huzalok általában olcsóbbak. Ezenkívül sokkal többféle huzalanyag létezik, mint por alapú anyag, ami azt jelenti, hogy a nyomtatáshoz a huzalos eljárás esetében több különböző anyag közül lehet választani. A huzal-alapú eljárás hátrányai közé tartozik a kisebb precizitás és az iránytól történő függés.



Lézersugaras direkt energia felrakás (DED-LB) huzaladagolással

Koaxiális direkt energia felrakás (DED-LB) huzaladagolással

Alternatív megnevezés: **Huzal-alapú lézersugaras koaxiális fémfelhordás (LMD-W)**

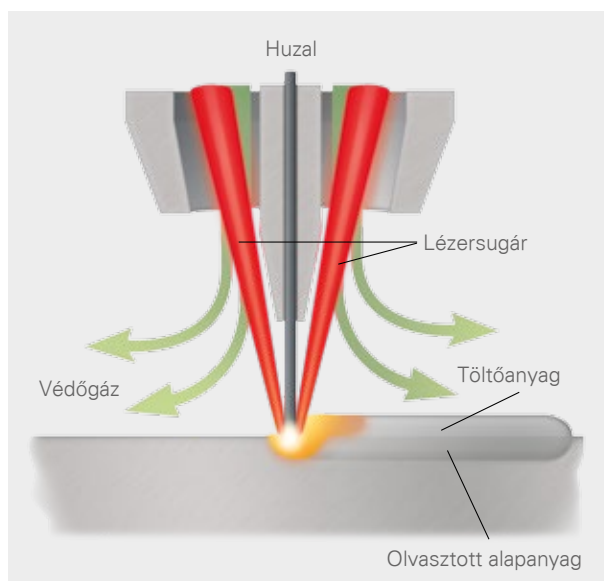
Ezen eljárásváltozat a klasszikus eljárás egyik speciális formája. E módszer a huzalt központilag adagolja a feldolgozási zónába (nyomtatási zóna). A lézersugarat szétválasztják, majd koncentrikusan újra egyesítik az olvasztási zónában. Alternatív megoldásként több diódalézer is elhelyezhető koncentrikusan a huzaladagolás körül.



Koaxiális direkt energia felrakás huzaladagolással

Jellemzők és előnyök

A huzal-alapú koaxiális DED-LB gyakorlatilag a klasszikus eljárás minden előnyét kínálja, és kiküszöböli a por-alapú DED-LB eljárással járó hátrányokat. A központi huzaladagoló ugyanúgy biztosítja az irányított függetlenséget, mint a DED-LB folyamat a por esetében. Ezért gazdaságos alternatíva.



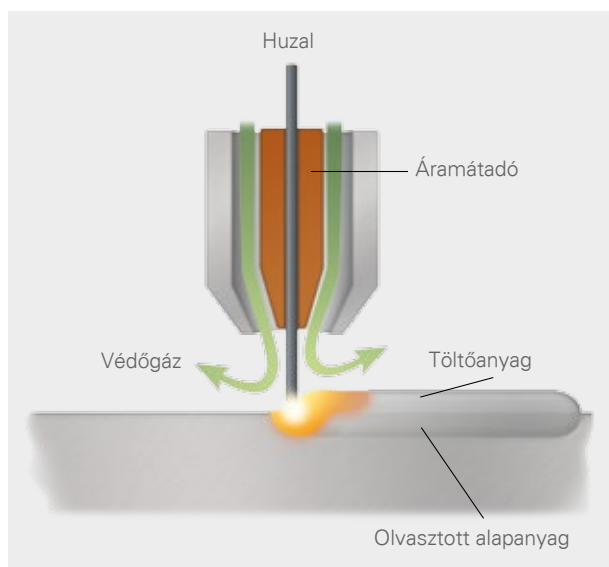
Lézersugaras koaxiális közvetlen energiabevitel (DED-LB) huzal adagolással



A „TU Ilmenau” által gyártott alkatrésztartók

Ív-alapú közvetlen energia felrakás (DED-Arc) Alternatív megnevezés: **Hegesztőhuzalos védőgázos additív gyártási eljárás (WAAM)**

A klasszikus MAG, MIG és TIG ívhegesztési eljárásokat a múltban alakhegesztéshez használták. A 3D fémnyomatás terén elsősorban a MAG hegesztést használják egyre gyakrabban a modern folyamatváltozatoknak és a továbbfejlesztett automatizálási rendszereknek köszönhetően. A 3D technológia területén e módszer WAAM néven ismert. A folyamat során egy elektromos ív ég a huzal és az alkatrész között, ami a huzal megolvadását eredményezi. Egy védőgáz védi a fémolvadékot a légköri behatásoktól. A hegesztés során szerzett tapasztalatok gyakran hasznosak a védőgázok kiválasztásánál. A DED-Arc eljárás az olvadék alacsony hígítását igényli. Ezért e módszer esetében alacsony aktív gáztartalmú védőgázokat használnak, például Inoxline C₂-t (97,5% argon, 2,5% CO₂).



WAAM (hegesztőhuzalos védőgázos additív gyártási eljárás)

Jellemzők és előnyök

Az ívhegesztési eljárás használata a legolcsóbb módja egy fém alkatrész 3D nyomtatásának. Ez az eljárás lehetővé teszi a nagy felhordási sebesség elérését. A hegesztő pisztolyt vagy a nyomtatófejet általában egy robot vezérli, lehetővé téve a nagy alkatrészek nyomtatását. Hátránya a viszonylagos pontatlanság, ami túlmeretezett nyomtatási körvonalat tesz szükségessé. Gyakran további utómunkálatokra van szükség a kívánt pontosság és felületminőség elérése érdekében.



„TU Ilmenau” által gyártott acél csomópont

Tanácsadás, leszállítás, szolgáltatás



Technikumok, innovációs központok

Új hegesztési és vágási technológiák fejlesztésére a Messer műszaki fejlesztő központokat működtet Európában, Ázsiában és Amerikában, melyek kiváló helyszínt biztosítanak innovációs projektekhez, szakmai eseményekhez, képzésekhez.

Átfogó gázellátási program

Átfogó termékválasztékunk az alapgázoktól egészen a többkomponensű gázkeverékekig terjed. A standard gázkeverékeken túl az új alapanyagokhoz, eljárásokhoz kifejlesztjük az egyedi felhasználói igényekhez igazított speciális gázkeverékeket is. A gázok elnevezése utal a felhasználási területre is.

Szaktanácsadás

Közvetlenül az alkalmazás helyén mutatjuk meg Önnek, hogyan lehet az egyes folyamatok optimalizálásával a hatékonyságot és a minőséget növelni. Egyaránt támogatást nyújtunk a problémás pontok, hibatényezők feltárásában, és az eljárás továbbfejlesztésében.

Költségelemzés

Készséggel elvégezzük a meglévő folyamatok elemzését, melyek alapján javaslatokat teszünk az optimalizálási lehetőségekre, részt veszünk a folyamatok átalakításában, majd elvégezzük a kiindulási helyzettel való összehasonlító elemzést.

Képzés, oktatás: a legújabb ismeretek

A gázok hatékony felhasználása és helyes kezelése érdekében képzést tartunk a felhasználó munkatársainak az adott eljárásról, gázalkalmazásról. A képzés keretében megismertetjük a különféle hegesztési védőgázok és vágógázok alkalmazását, és biztonságos kezelésüket. Ide tartozik többek közt a gázok biztonságos tárolása és kisebb mennyiségek szállítása, mozgatása. Az információs és oktatási anyagok szintén a szolgáltatás részét képezik.

MESSER 
Gases for Life

Messer Hungarogáz Kft.
1044 Budapest Váci út 117.
Tel. +36 (1) 435 1100
info@messer.hu
www.messer.hu