

Roiskeiden vähentäminen laserhitsauksessa

Valtteri Lintunen ja Jari Hovikorpi

Vaiheajan lyhentäminen sekä tuottavuuden kasvattaminen ovat yhä isomassa sekä kasvavassa roolissa teollisessa tuotannossa. Etenkin auto-teollisuudessa, jossa yhden auton laserilla hitsattujen saumojen määrä voi olla jopa 60 m, on tärkeää, että tuotantoaika saadaan lyhennettyä hitsausnopeutta kasvattamalla. Kuituvälitteiset laserit, joista säde ohjataan kuidulla työpisteelle, ovat täydellinen perusta tuotannon nopeuttamiselle. Silti modernien laserien käyttö ei ole täysin ongelmaton. Ongelmia suurilla hitsausnopeuksilla ovat esimerkiksi roiskeet, jotka aiheuttavat työkappaleiden ja kiinnittimien likaantumista.

Laserhitsaus

Verrattuna tavalliseen hitsaukseen, laserhitsaus mahdollistaa sulattavan- sekä syvätunkeumahitsauksen. Matalath ja syvät hitsit voidaan tuottaa ilman kontaktia suurilla syöttönopeuksilla. Pieni lämmöntuonti minimoi kappaleeseen lämmöstä johtuvat muodonmuutokset. Hitsin tunkeuma voi olla jopa 10 kertaa suurempi kuin hitsin leveys ja voi olla jopa 25 mm. Silti hitsausnopeudet ovat rajalliset laserhitsauksessa. Yksi tärkeä tekijä on roiskeiden syntyminen ja niiden seurauksena massahäviöt hitsissä. Yleisesti nämä ongelmat kasvavat, kun hitsausnopeutta sekä lasertehoa kasvatetaan. Hitsattaessa rakenneterästä kuituvälitteisellä laserilla massahäviöt hitsissä alkavat, kun syöttönopeus on yli 5m/min. Kuva 1 havainnollistaa roiskeiden syntymistä hitsattaessa rakenneterästä laserilla.



Kuva 1. Voimakasta roiskeiden syntyä hitsattaessa rakenneterästä kuituvälitteisellä laserilla.

Rajoitteet hitsattaessa kuituvälitteisellä laserilla

Lisääntyvät roiskeet suurilla syöttönopeuksilla:

- Massahäviöiden riski suurilla syöttönopeuksilla johtaa reunahaavaan, joka heikentää sauman lujuutta sekä laatua.
- Kiinnittimet likaantuvat ja vaativat puhdistusta, joka johtaa seisokkeihin.
- Optiikan suojalaseja täytyy vaihtaa useammin, joka lisää kuluja.

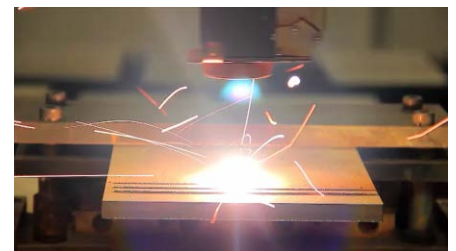
Tähän asti hyväksyttävään roiskeiden määrään on päästy vain alle 5 m/min hitsausnopeuksilla, mikä johtaa alhaiseen tuottavuuteen. Tämä on ristiriidassa teollisuuden tuotantolaitosten vaatimuksiin, joissa tähdään lyhyempiin jaksoaikoihin tuotannossa.

Uudella hitsaustekniikalla *BrightLine Weld*, TRUMPF tarjoaa ensi kertaa ratkaisun näihin ongelmiin.

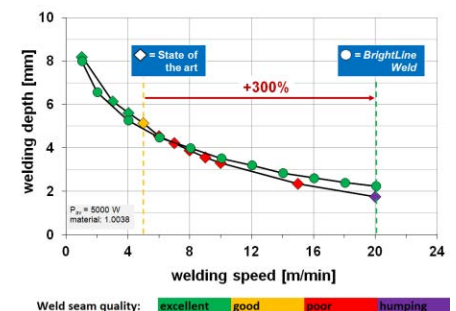
Lähes roiskeeton hitsaus

TRUMPF *BrightLine* -hitsaus on uutta teknologiaa joka mahdollistaa lähes roiskeettoman laserhitsausprosessin suurillakin hitsausnopeuksilla. Kuva 2 havainnollistaa rakenneteräksen hitsauksessa syntyviä roiskeita. Vaikka hitsausparametrit olivat samat kuin kuvassa 1 ($P=5\text{ kW}$, $v=10\text{ m/min}$), niin vain hyvin vähän roiskeita on havaittavissa.

Brightline Weld laserhitsit ovat korkealaatuisia. Pienempi roiskeiden määrä prosessissa johtaa huomattavasti suurempiin nopeuksiin. Kuva 3 esittää hitsin syvyyden riippuvuutta nopeudesta hitsattaessa raken-



Kuva 2. Minimalisoitu roiskeiden muodostuminen hitsattaessa rakenneterästä TRUMPF *BrightLine* hitsausmenetelmällä.



Kuva 3. Tunkeuman riippuvuus hitsausnopeudesta. Tavanomainen laserhitsausmenetelmä verrattuna TRUMPF *BrightLine Weld* -laserhitsaukseen.

neterästä 5 kW laserteholla tavanomaisella sekä *BrightLine Weld* -hitsausmenetelmillä. Datapisteiden väri kertoo saavutetusta hitsin laadusta.

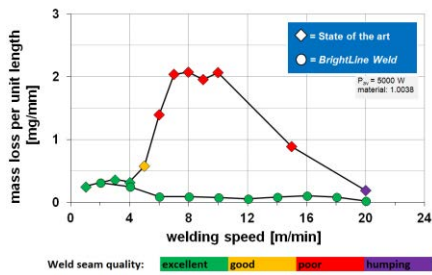
Vihreä: Hitti on korkealaatuinen, joka täyttää nykyiset vaatimukset.

Keltainen: Hitti on keskitasoa, joka ei täytä kaikkia vaatimuksia mutta on riittävä joissakin tapauksissa.

Punainen: Hitti on huonolaatuinen eikä ole hyväksyttävä.

Violetti: Tästä hitsausnopeudesta alkaen esiintyy humpingia. Tästä johtuen hitti on reikäinen, eikä ole hyväksyttävä.

Brightline Weld -laserhitsit ovat korkealaatuisia 20 m/min nopeuteen asti. Tavanomaisessa laserhitsauksessa laatuongelmia esiintyy hitsausnopeuden ylittäessä 5 m/min. TRUMPF *Brightline Weld* -laserhitsauk-



Kuva 4. Hitsin massahäviöt suhteessa hitsausnopeuteen nykyisellä sekä TRUMPF BrightLine Weld laserhitsausmenetelmällä.

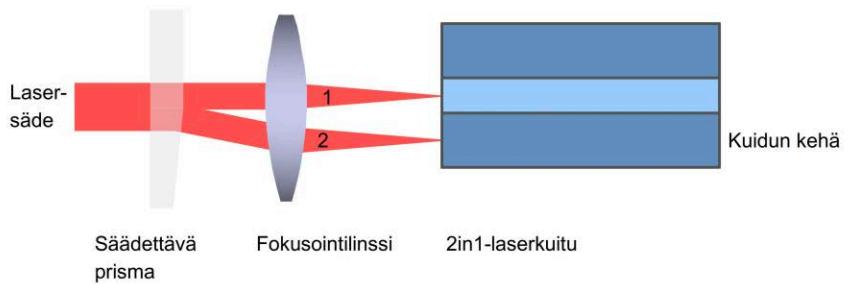
sella rakenneteräksen laserhitsausnopeutta voidaan kasvattaa noin 300 % verrattuna nykyiseen laserhitsausmenetelmään. Suurimman testatun laadukkaan laserhitsausnopeuden ollessa rakenneteräkselle 20 m/min. Ruostumattoman teräksen hitsausnopeutta voidaan kasvattaa 100 % 10 m/min asti. Kuva 4 esittää massahäviöitä ruostumattoman teräksen hitsauksessa.

Laserhitsin massahäviöt suhteessa hitsausnopeuteen ovat esitetty kuvassa 4, jossa on verrattu tavanomaista laserhitsausmenetelmää TRUMPF Brightline Weld -menetelmään. Punaiset datapisteet esittävät taas riittämätöntä laatua testihitsissä. Tavanomaisessa laserhitsausmenetelmässä on havaittavissa kasvavaa massahäviötä 5 m/min hitsausnopeuden ylittyessä. TRUMPF BrightLine Weld -hitsausmenetelmällä hitsit tehtiin lähes roiskeettomasti (<0.4 mg/mm) 20 m/min hitsausnopeuteen asti. Samaan aikaan kaikki BrightLine Weld -menetelmällä tehdyt hitsit olivat korkealaatuisia. Lisäksi humpingia ei esiintynyt lainkaan 20 m/min hitsausnopeuteen mennessä.

Säteen tuottaminen TRUMPF BrightLine Weld -laserhitsauksessa

Nämä laserhitsausprosessin parannukset on saatu aikaan sovelluskohtaisella säteen muokkaustekniikalla, joka esitetään kuvassa 5.

Kuituvälitteisen TRUMPF TruDisk laserin lasersäde kytketään niin kutsuttuun 2in1 kuituun. Tämä tarkoittaa että, lasersäde kytketään kuidun sisempään ytimeen (1) sekä ulompaan koaksiaaliseen uloimpaan ytimeen (2) samaan aikaan. Laserhitsaus sovelluksesta riippuen kuten: hitsattava materiaali, hitsausnopeus, käytettävä laserteho, voidaan laserteho jakaa kuitujen välillä laserhitsaussovellukselle optimaalisella tavalla. Sen jälkeen säde tarkennetaan työkappaleeseen tavallisella hitsausoptiikalla. Tällä uudella säädettävällä säteenmuodostustekniikalla teolliseen materiaalien prosessointiin saa-



Kuva 5. Säteenmuokkaus. (1) Lasersäteen kytkentä kuidun ytimeen. (2) Lasersäteen kytkentä kuidun koaksiaaliseen uloimpaan ytimeen.

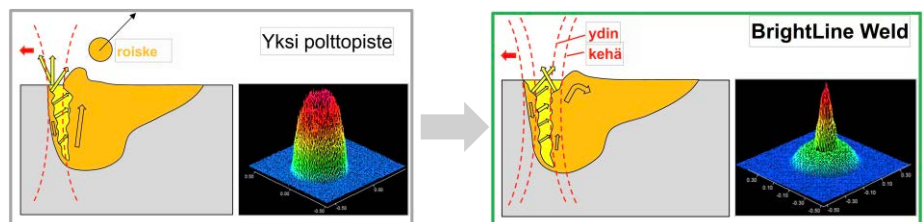
daan uudenlaisia mahdollisuuksia. Laserhitsausmenetelmällä on nähtävissä huomattavia etuja, johtuen hyvin kontrolloidusta hitsisulan virtausdynamikasta.

Brightline Weld laserhitsaus menetelmässä laserkuidun ulommalla kehällä kohdistetulla lasersäteellä on useita vaikutuksia laserhitsausprosessiin. 1. muodostuvan avaimenreian suuaukko on suurempi, mahdollistaen metallihöyryjen vapaamman purkautumisen. Tämä vähentää hitsisulan roiskeita ja värinää. Ulomman kehän laserenergia myös kääntää pintaa kohtisuoraan syntyvän sulavirtauksen pinnan suuntaiseksi, mikä myös vähentää hitsisulan roiskeita. Kuvassa 6 on esitettyä BrightLine weld laserhitsausprosessin hitsisula verrattuna perinteiseen yhden polttopisteen laserhitsaus menetelmään.

Edut BrightLine Weld -laserhitsausmenetelmässä

TRUMPF BrightLine Weld -laserhitsauksesta saavutettavia suurimpia etuja ovat:

- Merkittävästi suurempi hitsausnopeus tasaisella hitsin laadulla kasvattaa tuottavuutta. Rakenneteräksen hitsausnopeutta voidaan kasvattaa ilman ongelmia 300 % sekä ruostumattoman teräksen 100 %.
- Minimaalinen roiskeiden synty sekä vähäisempi kontaminaatio



Kuva 6 BrightLine Weld laserhitsaus prosessin hitsisula on stabiilimpi ja roiskeettomampi verrattaessa perinteiseen yhden polttopisteen laserhitsaus menetelmään.

laskee kustannuksia. Näistä seuraa vähemmän seisokkeja, kappaleiden uudelleen käsittelyä sekä laserhitsausoptiikan suojalasin kulutus pienenee.

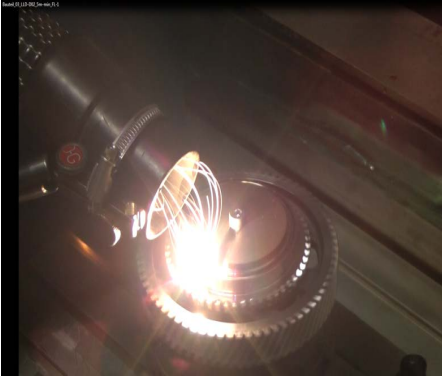
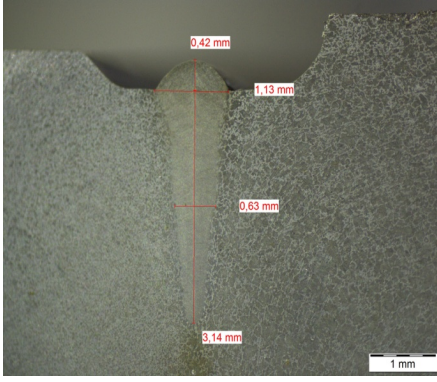
- Saman tunkeuman hitsiin tarvitaan pienempi teho. Korkea tehokkuus mahdollistaa jopa 50 % energiansäästön saman tunkeman ja laadun omaavassa hitsissä.
- Hitsaus tuottaa korkealaatuisia hitsejä. Oikeilla parametreilla hitseissä ei esiinny reunahaavoja eikä lopetusvirhettä. Vähennetyistä energiatuonnista johtuen muodonmuutokset ovat erittäin pieniä. Kuinka tämä laserhitsaus toimii teollisuudessa? Tähän kysymykseen vastataan seuraavassa kohdassa, jossa voimansiirron osia käytetään esimerkkinä.

BrightLine Weld hitsaus voimansiirrossa.

Tyypillinen voimansiirron laserhitsaussovellus on hammaspyörien kokoonpano. Taulukossa 1 esitetään hammaspyörien laserhitsauksen parametrit sekä tulokset käytettäessä tavanomaista laserhitsausta. Tyypistä riippuen hammaspyörät on laserhitattu esimerkiksi 5 m/min hitsausnopeudella sekä 3.4 kW laserteholla. Prosessin hit-

Taulukko 1. Parametrit, prosessi sekä hitsin poikkileikkaus laserhitsattaessa hammaspöyriä nykysteknikalla.

Laserhitsaus nykysteknikalla	
Kuitu	LLK-D 200 µm
Laserteho	P = 3400 W
Syöttönopeus	v = 5 m/min
Prosessi	Hitsin poikkileikkaus

sauroiskeet ja huurut vaativat voimakkaan kohdepoiston (taulukon vasen kuva).

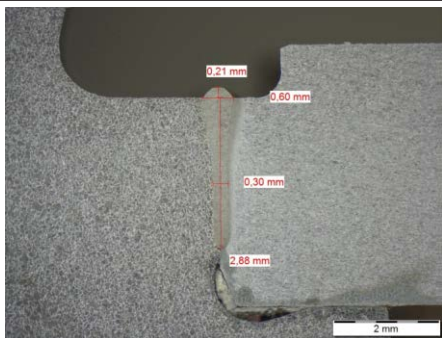

TRUMPF BrightLine Weld -laserhitsaus tarjoaa tähän sovellukseen merkittävää parannusta ja sitä voidaan käyttää joustavasti. Tarvittavaa lasertehoa voidaan pienentää tai koneen tuottavuutta voidaan optimoida. Jos laserhitsausta käytetään energiatehokkuuden optimointiin (taulukon 2 vasen kuva.), sama osa voidaan hitsata samalla hitsausnopeudella mutta 40 % pienemmällä 2 kW laserteholla. Tarkastellessa esitettyä hitsiä, voidaan havaita myös syy. BrightLine Weld -menetelmällä saadaan aikaan hieman kapeampia hitsisauvoja, jolloin tarvitaan vähemmän lasertehoa

saman syvyyden saavuttamiseksi. Samaan aikaan roiskeiden syntymistä on rajoitettu niin, että hitsaushuuruimuria ei tarvita, jolloin kulut pienenevät.

Käyttäjät, jotka keskittyvät tuottavuuden kasvattamiseen, pystyvät nostamaan hitsausnopeutta isommalla laserteholla kuin tavanomaisilla laitteilla. Tämä on esitetty taulukon 2 oikeanpuoleisessa sarakkeessa. TRUMPF BrightLine Weld -laserhitsauksella syöttönopeutta voidaan kasvattaa esimerkiksi jopa 220 % nopeudesta 5 m/min nopeuteen 16 m/min. Samaan aikaan massahäviöt saadaan pidettyä minimaalisena. Tuloksena on korkealaatuinen hitsi halutulla tunkeumalla.

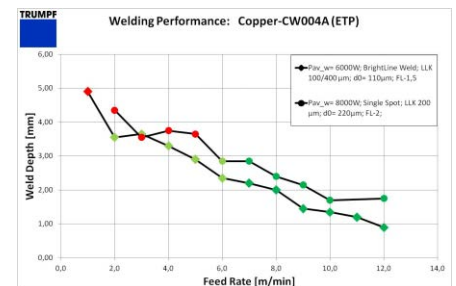
Taulukko 2. Parametrit, prosessi ja hitsin poikkileikkaus laserhitsattaessa TRUMPF BrightLine Weld -menetelmällä hammaspöyriä. Laserhitsausta voidaan käyttää joko energiatehokkuuden tai tuottavuuden parantamiseen.

BrightLine hitsaus	
Optimoitu energiatehokkuus	Optimoitu tuottavuus
Laserteho -40%	Syöttönopeus +220 %
P = 2000 W	P = 5000 W
v = 5m/min	v = 16 m/min

BrightLine Weld -laserhitsaus sähköautojen tuotannossa (kuparin hitsaus)

Uudet hitsausprosessit yleistyvät jatkuvasti sähköautojen tuotannossa. Yksi merkittävä prosessi on kuparin laserhitsaus, jossa pakkaus voi vaihdella millin kymmenesosista useisiin millimetreihin. On yleisesti tiedossa, että prosessista tulee vakaampi korkeammilla hitsausnopeuksilla. Tämä johtuu kuparin korkeasta lämmönjohtavuudesta sekä suuresta virtausdynamikasta, kun laserhitataan kuparia avaimenreikämenetelmällä. Säteenmuodostustavalla ei pelkästään saada aikaan suurempia hitsausnopeuksia ja minimaalisia roiskeita. Kohtalaisilla sekä matalilla hitsausnopeuksilla saadaan aikaan suurempi tunkeuma kuparia hitsattaessa.

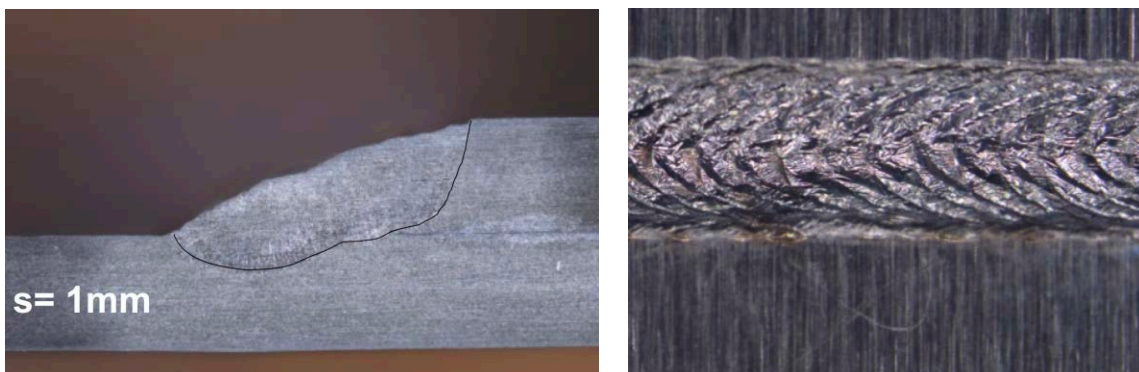


Kuva 7. Suuri säädettävyys hitsausnopeudessa mahdollistaa syvän tunkeuman kuparia hitsattaessa.

BrightLine Weld -laserhitsaus autoteollisuuden kokoonpanossa (alumiinin hitsaus)

Kuva 8 esittää 6082 alumiinin pienaliitosta. Pienaliitos tehdään vaaputtavalla skannerioptiikalla ja BrightLine Weld -laserhitsausmenetelmällä. Tässä osittaisen tunkeuman kokoonpanohitsauksessa tärkeää on tarkasti kontrolloitava tunkeuma. Laserhitsausprosessi on lähes kokonaan roiskeeton, tuloksena erittäin säännöllinen pinnanlaatu ilman reunahaavoja.

Tämä esimerkki osoittaa lisäksi seuraavan edun. Valokuidussa tapahtuvassa säteenmuokkauksessa johtuen, laserhitsaus voidaan yhdistää lähes kaikkiin hitsausoptiikoihin. Menetelmää voidaan käyttää niin kiinteän polttovälän hitsausoptiikoissa kuin skannerioptiikoissa.



Kuva 8. 6082 alumiinin laserhitsaus säteen vaaputuksella. Tuloksena hyvin kontrolloitu tunkeuma sekä tasainen hitsin pinta.

Tulevaisuuden näkymät

Tulevaisuudessa BrightLine-hitsausta ei tulla käyttämään ainoastaan voimansiirron, kuparin tai alumiinin hitsauksessa. Muillakin teollisuuden aloilla kuten putkien tai profiilien valmistuksessa voidaan hyödyntää tätä tekniikkaa. Verrattuna tämän artikkelin esimerkkeihin, nämä hitsit tehdään läpäisevällä hitsauksella. Yleisesti näissä prosesseissa käytetään korkeita hitsausnopeuksia, yli 30 m/min joita ei vielä pystytä saavuttamaan nykypäivän kuituvälitteisillä lasereilla. Näiden tavoitteiden saavuttamiseksi tehdään lisää tutkimus- sekä kehitystyötä.

Yhteenveto

Kuituvälitteisetlasarit ovat nyt johtavaa tekniikkaa teollisuuden laserhitsausjärjestelmissä. Laserkuitu tuo monia etuja laserhit-

sauksen järjestelmärakentamiseen. Silti "roiskeiden hallinta" on odottanut teollista ratkaisua tuottavuuden kasvattamiseksi.

Yleisesti roiskeita saadaan hallittua tietyllä nopeusalueella hitsattaessa. Syvätkuumalaserhitsauksessa kuten voimansiirron hitsauksessa, roiskeita saadaan hallittua 5-6 m/min nopeuksilla. Yli 6 m/min nopeudella roiskeista johtuva materiaalihäviö johtaa reunahaavoihin sekä mahdollisesti lisää hitsin huokoisuutta. Molemmat ongelmat heikentävät kappaleen mekaanisen rasituksen kestäkykyä. Lisäksi jos roiskeina irronneet partikkelit ovat läsnä tai irtoavat kokoonpanon aikana, voi vaihdelaatikossa syntyä käyttövaurioita.

Tässä artikkelissa esitellään viimeisiä tuloksia, jotka käsittelevät näitä ongelmia sekä havainnollistetaan merkittävästi vähentyneitä roiskeita hitsattaessa suurilla nopeuksilla. Aiemmin tämä on ollut aikaisemmin mahdollista vain CO₂-laserhitsauksessa. Tämä uusi menetelmä perustuu TRUMPF

DiskLaserin soveltamiseen uudella säteen muokkaustavalla. Menetelmästä käytetään nimitystä BrightLine Weld ja siinä laserhitsausnopeutta voidaan kasvattaa merkittävästi sekä energiankulutusta voidaan vähentää huomattavasti.

Artikkeli on käänös ICAL EOSSA 2017 olleesta artikkelista Spatter reduced high speed welding with disk lasers.

**Valtteri Lintunen ja
Jari Hovikorpi
teknologiajohtaja
Apricon Oy
jari.hovikorpi@apricon.fi**