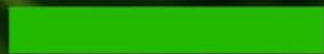




LAND OF THE CURIOUS



E-LIIKKUVUUDEN KEHITTYNEET VALMISTUSMENETELMÄT

KÄSILASERHITSAUS

Kootut tietopaketit



Euroopan unionin
osarahoittama



ETELÄ-
KARJALAN
LIITTO


LAPPEENRANTA



Euroopan unionin
osarahoittama



ETELÄ-
KARJALAN
LIITTO



LAPPEENRANTA

E-liikkuvuuden kehittyneet valmistusmenetelmät

JOHDANTO

- Käsilaserhitsaus on hitsausmenetelmä, jossa käytetään kuitulaseria (fiber laser) ja käsikäyttöistä hitsauspistoolia, jolla hitsaaja ohjaa laserin polttopistettä manuaalisesti.
- Toisin kuin perinteinen robottihitsaus, tämä menetelmä yhdistää lasertekniikan tarkkuuden ja ihmisen liikkumisvapauden.
- Käsien ohjattava hitsauspää vie koherenttia lasersäteilyä liitokseen samaan tapaan kuin kaaripoltinta liikutetaan käsin.
- Prosessi voidaan tehdä ilman lisäainetta tai lisäainelangan kanssa.



Euroopan unionin
osarahoittama



ETELÄ-
KARJALAN
LIITTO

LAPPEENRANTA

» E-liikkuvuuden kehittyneet valmistusmenetelmät

Teknologian kehitys ja nykytila

- Ensimmäisiä käsiohjattuun kuituvälitteiseen laserhitsaukseen liittyviä ratkaisuja patentoitiin jo 1970-luvulla.
- Laajempi teollinen käyttöönotto kiihtyi 2020-luvulla tehölähteiden hinnan laskun ja hitsauspäiden kevenemisen myötä.
- Vuoden 2025 tutkimuskatsaus kuvaa kaupallisia kuitulaserjärjestelmiä jopa noin 4 kW teholuokkaan.



Euroopan unionin
osarahoittama



ETELÄ-
KARJALAN
LIITTO



LAPPEENRANTA

E-liikkuvuuden kehittyneet valmistusmenetelmät

JOHDANTO

» Käsilaserhitsaus sopii erityisesti **ohutlevyille ja korkealaatuisiin liitoksiin:**

- » Ruostumattomat teräkset (AISI 304, 316)
- » Hiiliteräkset ja galvanoidut teräkset
- » Alumiini ja alumiiniseokset
- » Titaani, nikkelseokset (riippuen tehosta ja aallonpituudesta)

» **Tyypilliset käyttökohteet:**

- » Konepajateollisuus
- » Metallikalusteet ja keittiövarusteet
- » Ilmastointikanavat ja putkistot
- » Autojen korikorjaukset
- » Prototyyppivalmistus ja huolto



Euroopan unionin
osarahoittama



ETELÄ-
KARJALAN
LIITTO

LAPPEENRANTA

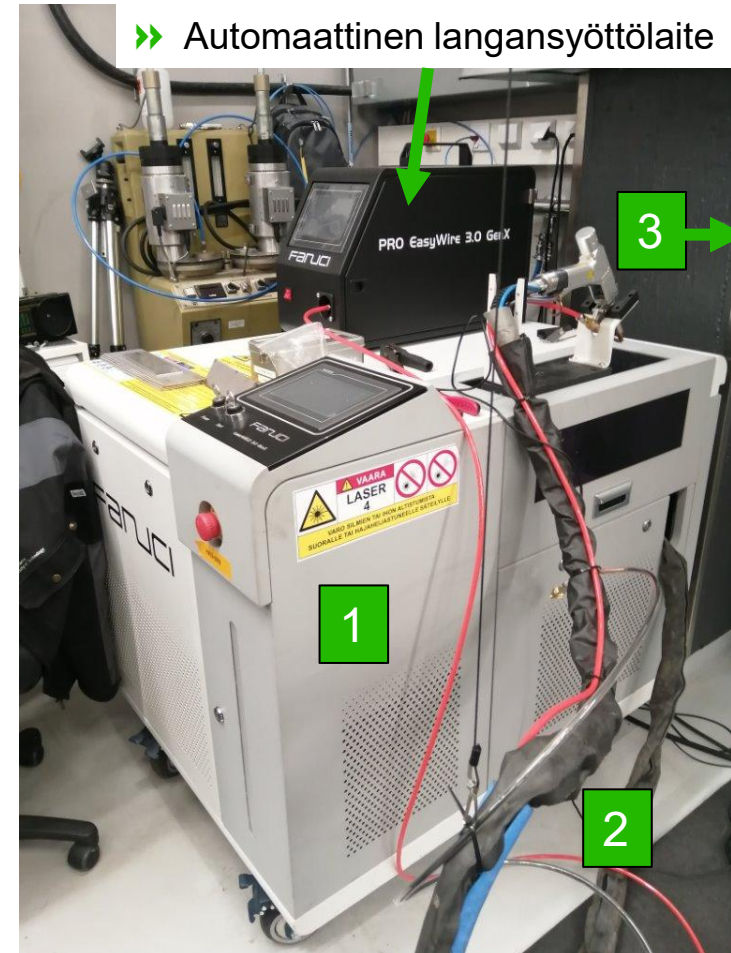
E-liikkuvuuden kehittyneet valmistusmenetelmät

TOIMINTAPERIAATE

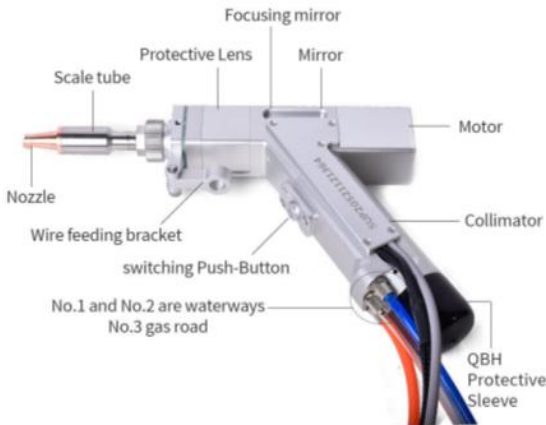
1. **Kuitulaserlähde** (yleensä 500–3000 W) tuottaa hyvin kapean ja energiatehokkaan säteen.
2. **Valokuitukaapeli** siirtää lasersäteen polttimelle.
3. **Poltin (pistooli)** sisältää optiikan, polttopisteen säätimen ja usein suojakaasun suuttimen.

Säteellä sulatetaan liitoskohdan metallipinnat, jotka yhdistyvät sulaessaan.

Suojakaasu (yleisimmin argon tai helium) estää hapettumista ja parantaa sauman laatua.



» Automaattinen langansyöttölaite



» Lisäaineensyöttö



Euroopan unionin
osarahoittama



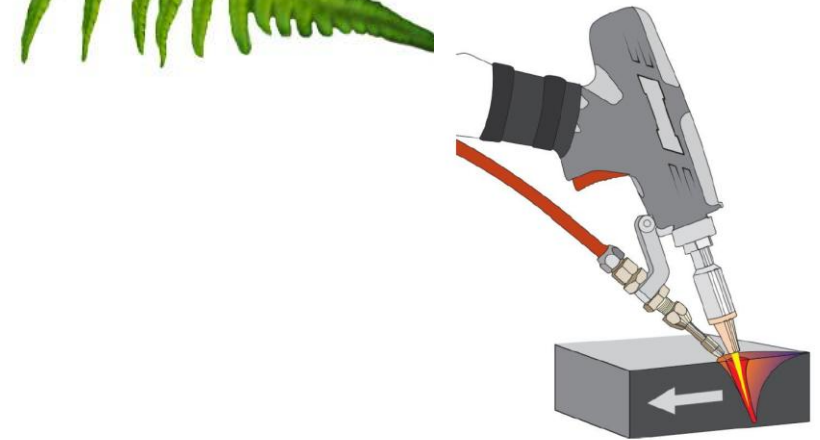
ETELÄ-
KARJALAN
LIITTO

LAPPEENRANTA

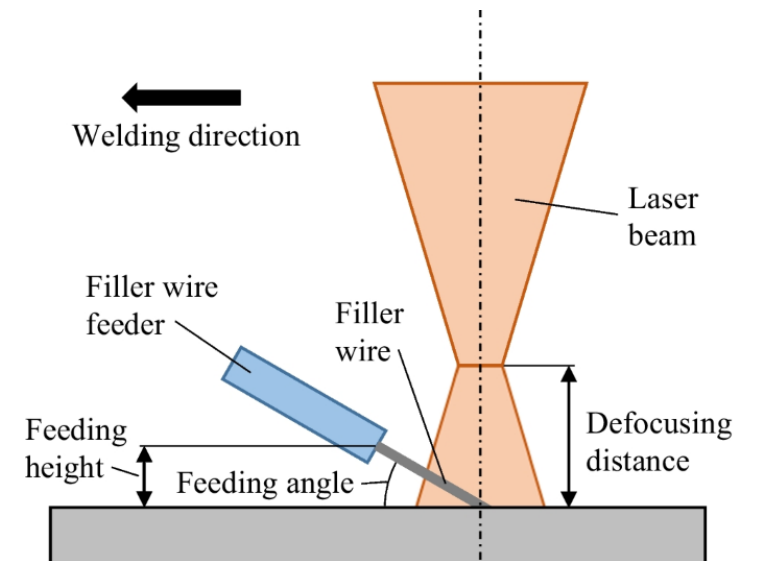
» E-liikkuvuuden kehittyneet valmistusmenetelmät

Laserin ja materiaalin välinen vuorovaikutus

- Pieneen pisteeseen fokusoitu säde synnyttää erittäin suuren tehotiheyden.
- Sulaminen ja höyrystyminen muodostavat avaimenreiän, joka kasvattaa absorptiota ja mahdollistaa syvän, kapean hitsin.
- Nopea energiansiirto ja suuri kuljetusnopeus johtavat jyrkkiin lämpötilagradientteihin ja nopeaan jäähtymiseen.



Kemppi K2



Laserhitsaus lisäaineella (Coviello et al. 2023)



Euroopan unionin
osarahoittama



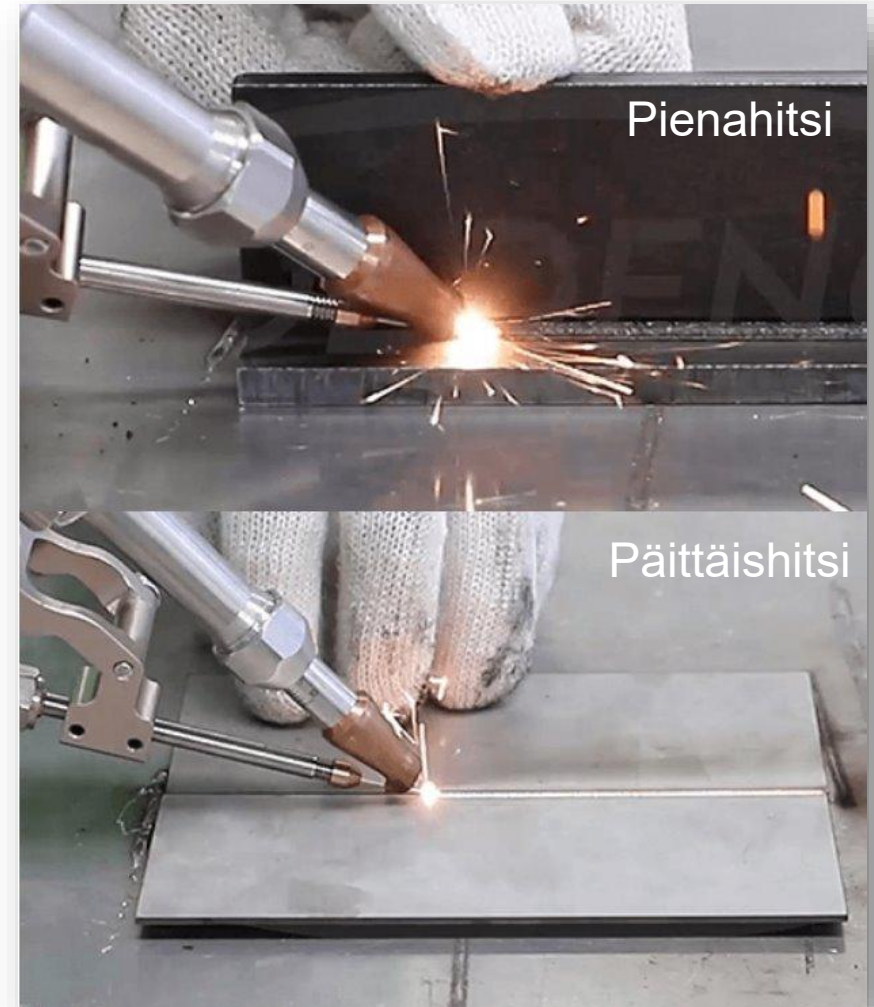
ETELÄ-
KARJALAN
LIITTO

LAPPEENRANTA

E-liikkuvuuden kehittyneet valmistusmenetelmät

TOIMINTAPERIAATE

- » Lasersäde johdetaan polttimeen, jossa se fokusoidaan hitsattavan kappaleen/liitoksen pinnalle
- » Tyypillisesti avaimenreikähitsausta: syvä ja kapea hitsi
- » Polttimessa tyypillisesti autom. lasersäteen vaaputus hitsisulan leventämiseksi (Kapealla hitsillä liian tiukat toleranssit railolle ja säteen paikoitukselle)
- » Pieni lämmöntuonti: Vähentää vetelyitä ja jälkityöstön tarvetta
- » Voidaan toteuttaa lisäaineella tai ilman





Euroopan unionin
osarahoittama



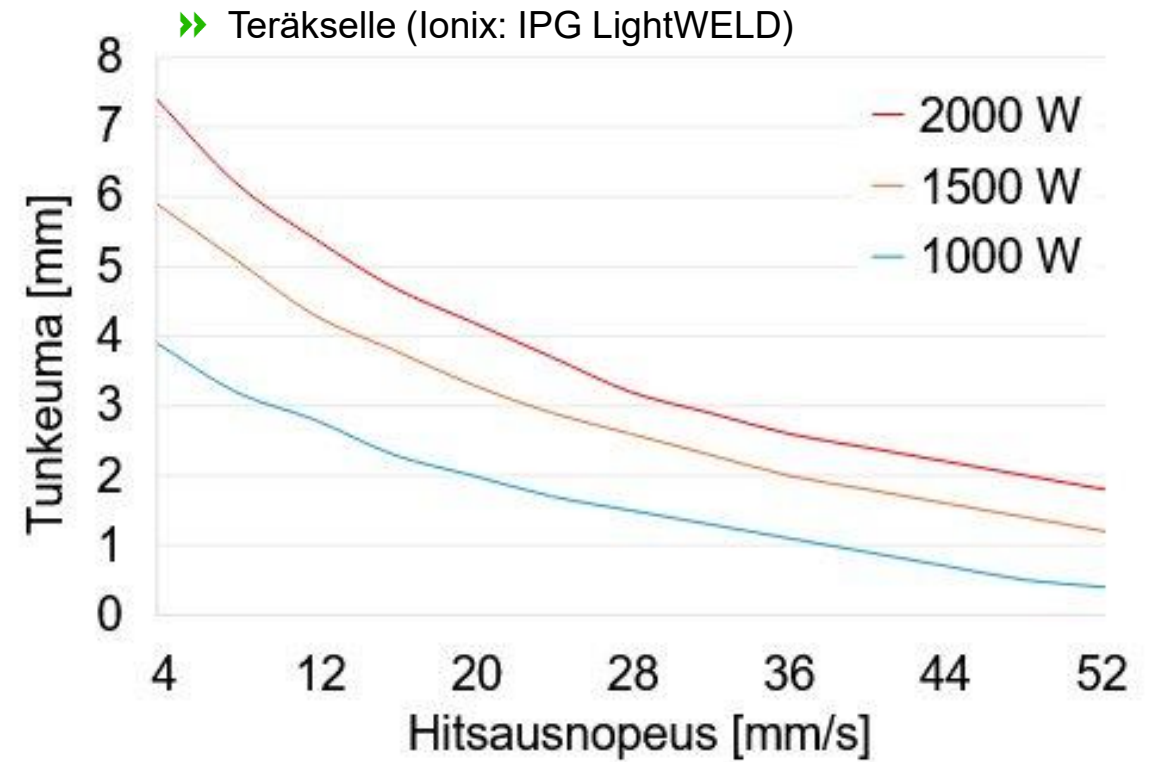
ETELÄ-
KARJALAN
LIITTO

LAPPEENRANTA

E-liikkuvuuden kehittyneet valmistusmenetelmät

TYÖSTÖPARAMETRIT

- » Käytetty laserteho ja hitsausnopeus pääasiassa määrittävät hitsauksen lämmöntuonnin
- » Optimaalisiin prosessiparametreihin vaikuttavat mm. materiaali, materiaalipaksuus/tavoiteltu tunkeuma, langanhalkaisija, liitosmuoto ja mittatarkkuus (ilmaraot yms.).
- » Laitevalmistajat tyypillisesti tarjoavat materiaali- ja paksuuskohtaiset testatut vakio prosessiparametriarvot.





Euroopan unionin
osarahoittama



ETELÄ-
KARJALAN
LIITTO



LAPPEENRANTA

» E-liikkuvuuden kehittyneet valmistusmenetelmät

Johtumishitsaus ja avaimenreikähitsaus

- Johtumistilassa hitsisula on leveämpi ja matalampi.
- Avaimenreikätilassa höyrykanava vie energian syvälle materiaaliin ja kasvattaa hitsin syvyys-leveyssuhdetta.
- Käsilaserhitsauksen tuottavuusetu perustuu suurelta osin avaimenreikäilmiöön ja sitä seuraavaan suureen hitsausnopeuteen.



Euroopan unionin
osarahoittama



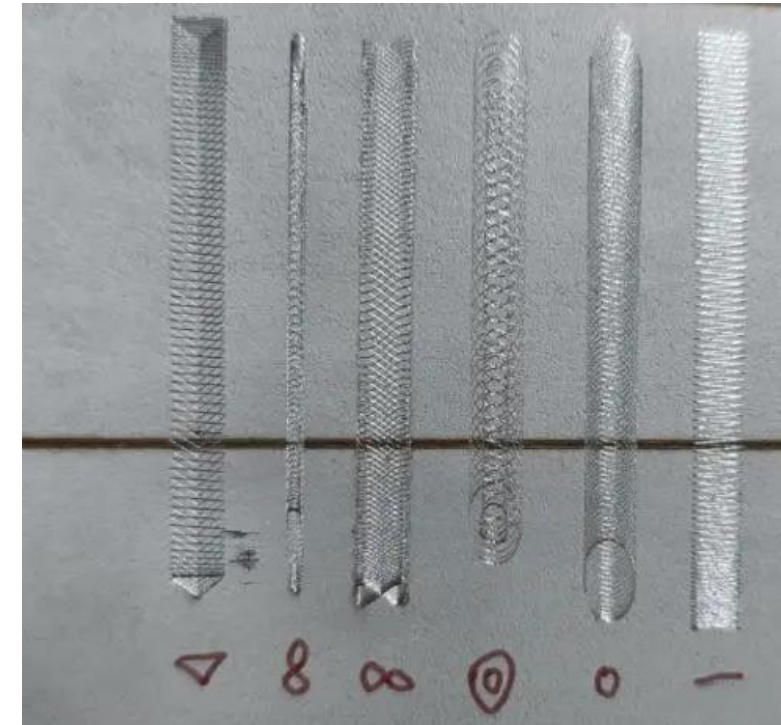
ETELÄ-
KARJALAN
LIITTO

LAPPEENRANTA

» E-liikkuvuuden kehittyneet valmistusmenetelmät

Säteen vaaputus

- Vaaputus leventää kapeaa laserhitisulaa ja helpottaa railonseurantaa.
- Yksiakselinen vaaputus tapahtuu tavallisesti poikittain hitsaussuuntaan; kaksiakseliset järjestelmät mahdollistavat myös monimutkaisempia liikeratoja.
- Vaaputusleveys kasvattaa liitoksen toleranssia, mutta jakaa tehon suuremmalle alueelle ja voi pienentää tunkeumaa.
- Vaaputustaajuus on sovitettava kuljetusnopeuteen, jotta palko pysyy tasaisena.
- Tyypillisiä taajuuksia: noin 10–20 Hz hitailla ja 30–60 Hz suuremmilla hitsausnopeuksilla.
- Eri laitteiden parametreja ei pidä kopioida suoraan, koska fokuksen koko, sädemoodi ja tehonjakauma voivat olla erilaisia.



Vaaputusmuotoja

<https://www.fincmfuture.com/handheld-laser-welder-machine/>



Euroopan unionin
osarahoittama



ETELÄ-
KARJALAN
LIITTO



LAPPEENRANTA



E-liikkuvuuden kehittyneet valmistusmenetelmät

» Vaaputusleveys

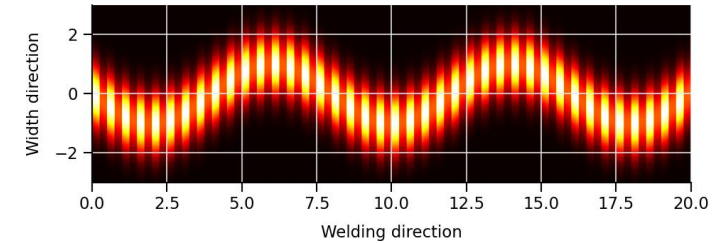
Lasersäteen vaaputuksella voidaan kasvattaa hitsisulan leveyttä usein n. 0-5 mm alueella. Vaaputus tyypillisesti leventää hitsiä, mutta heikentää tunkeumaa.

» Vaaputustaajuus

Vaaputustaajuus asettaa lasersäteen nopeuden edestakaisessa liikkeessä. Matala taajuus tyypillisesti edesauttaa tunkeumaa, mutta tuottaa epävakaamman sulan. Korkealla taajuudella energia jakaantuu tasaisemmin vakauttaen sulaa ja luo tasaisemman hitsin, mutta tunkeuma tyypillisesti heikkenee.

» Tehon pulssitus

Lasertehon pulssituksella voidaan pienentää lämmöntuontia säätämällä pulssin kestoa ja taajuutta, joka edesauttaa hitsausta etenkin hyvin ohuilla materiaaleilla. Pulssituksessa energia syötetään jaksoissa, toisin kuin jatkuvan sulan (Continuous wave – CW) hitsauksessa.



Ominaisuus	Pulssitus	Vaaputus
Vaikutus	ajallinen	spatiaalinen
Päärooli	lämmöntuonti	energian jakautuminen
Tunkeuma	säädettävissä huipputeholla	yleensä pienenee
Leveys	pieni vaikutus	suuri vaikutus



Euroopan unionin
osarahoittama



ETELÄ-
KARJALAN
LIITTO

LAPPEENRANTA

» E-liikkuvuuden kehittyneet valmistusmenetelmät

Lämmöntuonti ja muodonmuutokset

- Korkea hitsausnopeus pienentää kokonaislämmöntuontia ja muodonmuutoksia.
- EWA/IIW/EFW:n mukaan lisäainelangalla tehtävässä jatkuvassa HLBW-hitsauksessa lämmöntuonti voi olla noin 50 J/mm tai pienempi.
- Jahna et al. kuvaavat energiantuonnin olevan selvästi TIG-hitsausta pienempi, mikä vähentää oikaisutyötä.



Laitteisto



» E-liikkuvuuden kehittyneet valmistusmenetelmät

Käsilaserjärjestelmän rakenne

- Kokonaisuus sisältää tyypillisesti kuitulaserlähteen ja ohjauksen, kuitu- ja mediapaketin, käsipolttimen sekä tarvittaessa langansyöttölaitteen.
- Jäähdytys voi olla ilma- tai nestepohjainen; käyttöaste nimellisteholla on olennainen järjestelmäominaisuus.
- Polttimessa ovat fokusointi- ja vaaputusoptiikka, suojaikkuna, suutin sekä turvapiiriin liittyviä antureita.



Käsilaserhitsausvarustus: 1. EN 207:2017 mukainen henkilökohtainen suojavarustus, 2. Langansyöttölaite, 3. Laserlähde ja käyttöliittymä, 4. Valokuitu, suojakaasu- ja lisäainejohtimet, 5. Hitsauspoltin ja pienahitsaus kontrolloidulla laserkäyttöalueella



Euroopan unionin
osarahoittama



ETELÄ-
KARJALAN
LIITTO

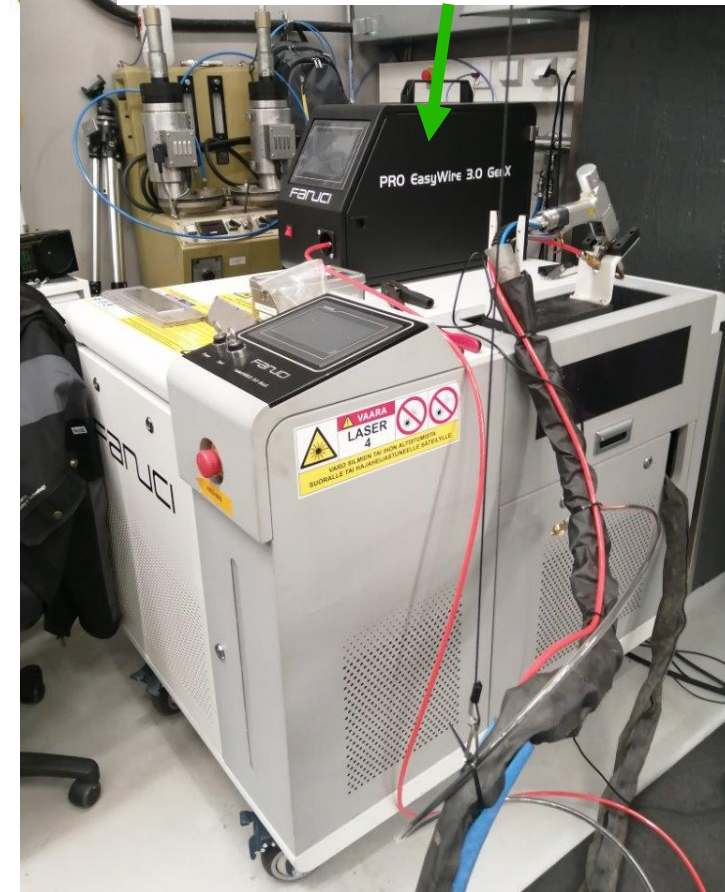
LAPPEENRANTA

» E-liikkuvuuden kehittyneet valmistusmenetelmät

Lisäaineellinen käsilaserhitsaus

- Tavallisia MIG/MAG-umpilankoja voidaan käyttää; Halkaisijat tyypillisesti 0,8–1,6 mm.
- Lisäaine kasvattaa sulan tilavuutta ja parantaa ilmaraon silloituskykyä.
- Langansyöttö voi myös toimia mekaanisena kuljetusnopeuden vakauttajana, mikä muuttaa käsihitsauksen tekniikkaa.

» Automaattinen langansyöttölaite



» Lisäaineensyöttö



Standardit ja turvallisuus



STANDARDIT

Standardi	Aihe
ISO 13919-1	Hitsausliitosten hyväksymisrajat sädehitsauksessa (laser & e-suihku)
ISO 15609-6	Hitsausohje (WPS) laserhitsaukselle
ISO 15614-11	Menetelmäkoestus laserhitsaukselle
ISO 14732	Hitsaajien pätevänti – mekaaniset ja laseroperaattorit
ISO 11553 / EN 60825	Laserturvallisuusvaatimukset

Huom.!

Hitsaajan päteväntistandardia EN ISO 9606-1 on Euroopassa sovellettu käsilaserhitsaukseen vuodesta 2023. Standardiin on tulossa vuoden **2025** aikana päivitys, minkä jälkeen standardia voidaan hyödyntää myös virallisesti käsilaserhitsaajien päteväntiin. Käsilaserhitsaus on lisätty vuonna 2023 hitsausmenetelmäksi yhdysvaltalaiseen painelaitemääräyskokoelmaan ASME BPVC. (lonix.fi)



Euroopan unionin
osarahoittama



ETELÄ-
KARJALAN
LIITTO

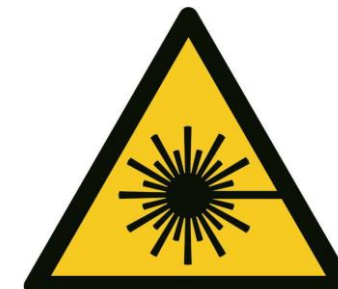
LAPPEENRANTA

E-liikkuvuuden kehittyneet valmistusmenetelmät

TYÖTURVALLISUUS - LASERSÄDE

- » Käsilaserit kuuluvat riskiluokkaan 4
- » Vaatimuksina kontrolloitu laserkäyttöalue (LCA)
- » Hitsaajan ja kaikkien kontrolloidulla laserkäyttöalueella olevien henkilöiden on käytettävä määriteltäviä henkilökohtaisia suojarusteita
- » Dokumentoitu laserturvallisuusohjelma vaaditaan
- » Lasersäde pysyy vaarallisena pitkienkin matkojen päähän
- » Lasersädettä ei voi nähdä paljain silmin, ja se voi aiheuttaa peruuttamattomia silmävammoja, jopa sokeutumisen
- » Jopa epäsuora altistuminen sironneelle laservalolle voi olla vaarallista

4	Välitön vaara iholle ja silmille suoralle tai heijastuneelle säteelle altistumisen seurauksena, voi sisältää riittävästi energiaa sytyttämään materiaaleja ja tuottamaan vaarallisia huujuja	Henkilökohtaiset suojarusteet ovat pakollisia (esim. laserhitsauskone, käsikäyttöinen laser)	ERITTÄIN KORKEA
---	--	--	-----------------





Euroopan unionin
osarahoittama



ETELÄ-
KARJALAN
LIITTO



LAPPEENRANTA

E-liikkuvuuden kehittyneet valmistusmenetelmät

TYÖTURVALLISUUS - LASERSÄDE

- » Lasersäde voi aiheuttaa syvempiä kudosisvaurioita kuin näkyvä valo
- » Kaikissa käsikäyttöisissä laserhitsauslaitteissa on oltava yksi tai useampi turvakytKentäpiiri (interlock-piiri) jotka estävät lasersäteen tahattoman aktivoitumisen
- » Lasersäde voi aktivoitua vain, kun seuraavat ehdot täyttyvät:
 - Polttimen suutin on galvaanisessa kontaktissa työkappaleeseen kontaktinvalvontakaapelin kautta
 - Kaikki muut turvapiiri(e)n ehdot täyttyvät eli turvakytkimien kautta kulkeva turvapiiri on suljettu



Euroopan unionin
osarahoittama



ETELÄ-
KARJALAN
LIITTO

LAPPEENRANTA

E-liikkuvuuden kehittyneet valmistusmenetelmät

TYÖTURVALLISUUS – HENKILÖKOHTAISET SUOJAVARUSTEET

Silmien suojaus

Laser aiheuttaa suurimman vaaran silmille.

Kaikkien työalueella olevien tulee käyttää:

- » CE-hyväksyttyjä laserinsuojalaseja
- » Oikealle aallonpituudelle tarkoitettuja suojalaseja
- » Riittävän optisen tiheyden (OD) omaavia suojalaseja

Tavalliset suojalasit eivät suojaa lasersäteilyltä.

Henkilönsuojaimet

Suosittelavat suojaimet:

- » Palosuojatut työvaatteet
- » Hitsauskäsineet
- » Turvajalkineet
- » Tarvittaessa kasvosuojaimet

Laser voi aiheuttaa:

- » Palovammoja
- » Vaatteiden syttymisen
- » Ihovaurioita





Euroopan unionin
osarahoittama



ETELÄ-
KARJALAN
LIITTO



LAPPEENRANTA

E-liikkuvuuden kehittyneet valmistusmenetelmät

TYÖTURVALLISUUS - LASERKÄYTTÖALUE

Laser Controlled Area (LCA)

Laserhitsausta saa tehdä vain asianmukaisesti rajatulla työalueella.

Laservalvotulla alueella tulee olla:

- » Kulunvalvonta
- » Varoitusmerkinnät
- » Hätäpysäytys
- » Suojaseinät tai laserverhot
- » Turvalliset työohjeet



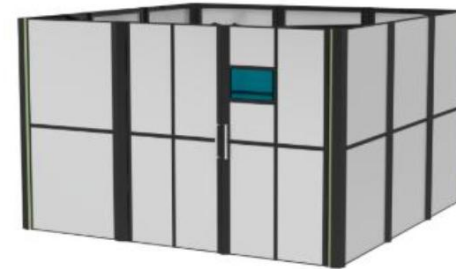
**LASER
CONTROLLED
AREA**



Lasermet-lasersaukopi



Lasermet-lasersulkuverho



Siegmund-laserhitsauskopi



Lasermet-lasersuojasermi



Interlock ovikytin



Hätäpysäytyspainike



Euroopan unionin
osarahoittama



ETELÄ-
KARJALAN
LIITTO



LAPPEENRANTA

E-liikkuvuuden kehittyneet valmistusmenetelmät

TYÖTURVALLISUUS - LASERTURVALLISUUSVASTAAVA

Laser Safety Officer (LSO)

- Työpaikalle tulee nimetä laserturvallisuudesta vastaava henkilö.
- LSO:n tehtäviä:
 - » Riskien arviointi
 - » Turvallisuusohjeiden ylläpito
 - » Henkilöstön koulutus
 - » Suojainten valinta
 - » Turvallisuuden seuranta
 - » Poikkeamien käsittely
- Luokan 4 laserin käyttö edellyttää organisaatiolta määriteltyä laserturvallisuusvastuuta ja paikallisten vaatimusten noudattamista.
- Laserturvallisuusvastaava koordinoi riskinarviointia, hallintatoimia, menettelyjä ja koulutusta.
- Turvallisuus muodostuu teknisistä suojauksista, hallinnollisista käytännöistä ja henkilönsuojaimista.



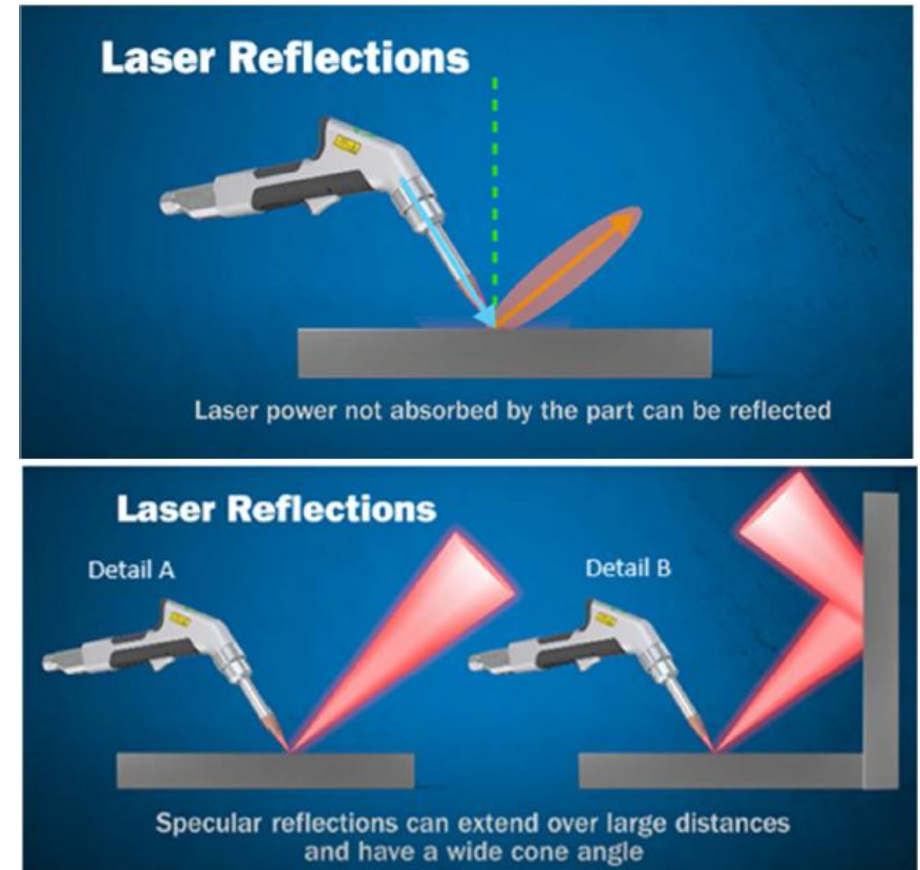
HEIJASTAVAT MATERIAALIT

Heijastusten aiheuttamat riskit

Erityistä huomiota vaativat:

- » Alumiini
- » Kupari
- » Kiillotetut ruostumattomat teräkset

Nämä materiaalit voivat heijastaa lasersäteilyä ja lisätä turvallisuusriskiä.



Heijastusten huomioiminen laserhitsauksessa.
(Miller Electric Mfg LLC, USA)



Euroopan unionin
osarahoittama



ETELÄ-
KARJALAN
LIITTO

LAPPEENRANTA

E-liikkuvuuden kehittyneet valmistusmenetelmät

HITSAUSHUURUT

Hitsaushuurujen hallinta

Laserhitsauksessa muodostuu:

- » Metallihuuruja
- » Kaasuja
- » Ilman epäpuhtauksia

Altistumiseen vaikuttavat:

- » Perusaine
- » Pinnoitteet
- » Lisäaine
- » Prosessiparametrit

Työpisteessä tulee käyttää tehokasta kohdepoistoa.





MATERIAALIT



Euroopan unionin
osarahoittama



ETELÄ-
KARJALAN
LIITTO


LAPPEENRANTA

E-liikkuvuuden kehittyneet valmistusmenetelmät

MATERIAALIEN HITSATTAVUUS

HLBW eri materiaaleille

Laserhitsauksen onnistuminen riippuu materiaalin ominaisuuksista sekä oikeista prosessiparametreista.

» Hiili- ja rakenneteräkset

» Ruostumattomat teräkset

» Nikkeliseokset

» Alumiiniseokset

» Titaani

» Tulenkestävät metallit

» Eripariliitokset

Nopea jäähtyminen vaikuttaa merkittävästi hitsin mikrorakenteeseen ja ominaisuuksiin.



Euroopan unionin
osarahoittama



ETELÄ-
KARJALAN
LIITTO

LAPPEENRANTA

E-liikkuvuuden kehittyneet valmistusmenetelmät

HIILI- JA RAKENNETERÄKSET

Keskeiset huomiot

Mahdollisia metallurgisia ilmiöitä:

- » Martensiitin muodostuminen
- » Kovuuden kasvu
- » Kylmähalkeilun riski

Riskien pienentämiseksi:

- » Kuivat lisäaineet
- » Puhtaat liitospinnat
- » Puhdas suojakaasu
- » Oikeat hitsausparametrit

- Nopea jäähtyminen voi kasvattaa martensiitin osuutta karkenevilla teräksillä.
- Suurlujuusteräksillä vedynhallinta ja kylmähalkeilun arviointi säilyvät olennaisina.
- Pieni lämmöntuonti voi pienentää muutosvyöhykettä, mutta ei poista materiaalikohtaisia metallurgisia riskejä.



Kuva 20. Käsilaserhitsatun hiiliteräksen mikrorakenne: vasemmalla lisäaine, keskellä n. 0,2 mm leveä HAZ, oikealla perusmateriaali (Apollo Machine, Canada).



Euroopan unionin
osarahoittama



ETELÄ-
KARJALAN
LIITTO

LAPPEENRANTA

E-liikkuvuuden kehittyneet valmistusmenetelmät

RUOSTUMATTOMAT TERÄKSET



(a)



(b)

- Austeniittiset ruostumattomat teräkset ovat käsilaserhitsauksen keskeinen sovellusalue.
- Nopea jäähmettyminen, huokoisuus ja suojakaasun vaikutus on silti hallittava menetelmäkokeilla.

Ruostumaton teräs
(Suojakaasun
vaikutus)





Euroopan unionin
osarahoittama



ETELÄ-
KARJALAN
LIITTO

LAPPEENRANTA

E-liikkuvuuden kehittyneet valmistusmenetelmät

NIKKELISEOKSET

Nikkelipohjaiset materiaalit

Soveltuvat hyvin HLBW-prosessiin.

Huomioitavaa:

- » Lämpövaikutusalueen halkeamat
- » Jähmettymishalkeamat
- » Erkautumiseen liittyvät halkeamat

Esimerkki:

- » Inconel 625
- » Korjaushitsaus
- » Liitoshitsaus



Inconel 625 -materiaalin laserhitsaus.

- Nikkeliseokset ovat laserhitsattavia, mutta seoskohtainen kuumahalkeilu ja prosessi-ikkuna on pätevöittävä.



Euroopan unionin
osarahoittama



ETELÄ-
KARJALAN
LIITTO

LAPPEENRANTA

E-liikkuvuuden kehittyneet valmistusmenetelmät

ALUMIINI

Alumiinin laserhitsaus

Haasteita:

- » Suuri lämmönjohtavuus
- » Heikko laserenergian absorptio
- » Huokoisuus
- » Jähmettymishalkeamat

Suosituksia:

- » Sopiva lisäainelanka
- » Huolellinen puhdistus
- » Tarkat prosessiparametrit



- Alumiinin haasteita ovat heijastavuus, suuri lämmönjohtavuus, oksidikerros ja huokoisuuteen liittyvät mekanismit.
- Al- ja Cu-materiaalit voivat vaatia suurempaa tehotiheyttä ja yksimuotoista sädelähdettä.
- Lisäaineen valinta on tärkeä jähmettymishalkeilun hallinnassa useilla lujilla alumiiniseoksilla.



Euroopan unionin
osarahoittama



ETELÄ-
KARJALAN
LIITTO

LAPPEENRANTA

E-liikkuvuuden kehittyneet valmistusmenetelmät

TITAANI JA TULENKESTÄVÄT METALLIT

Erityisvaatimukset

Titaani reagoi helposti:

- » Hapteen
- » Typpeen
- » Vetyyn

Siksi tarvitaan:

- » Erittäin puhdas suojakaasu
- » Riittävä kaasusuoja myös jäähtymisvaiheessa

Tulenkestävillä metalleilla korostuvat:

- » Haurastumisen ehkäisy
- » Halkeilun hallinta

- Titaani vaatii puhtaan inertin kaasusuojauksen.

Kupari

- Kupari on kuitulaserille haastava suuren heijastavuuden ja lämmönjohtavuuden vuoksi.



Euroopan unionin
osarahoittama



ETELÄ-
KARJALAN
LIITTO

LAPPEENRANTA

E-liikkuvuuden kehittyneet valmistusmenetelmät

ERIPARILIITOKSET

Eri materiaalien liittäminen

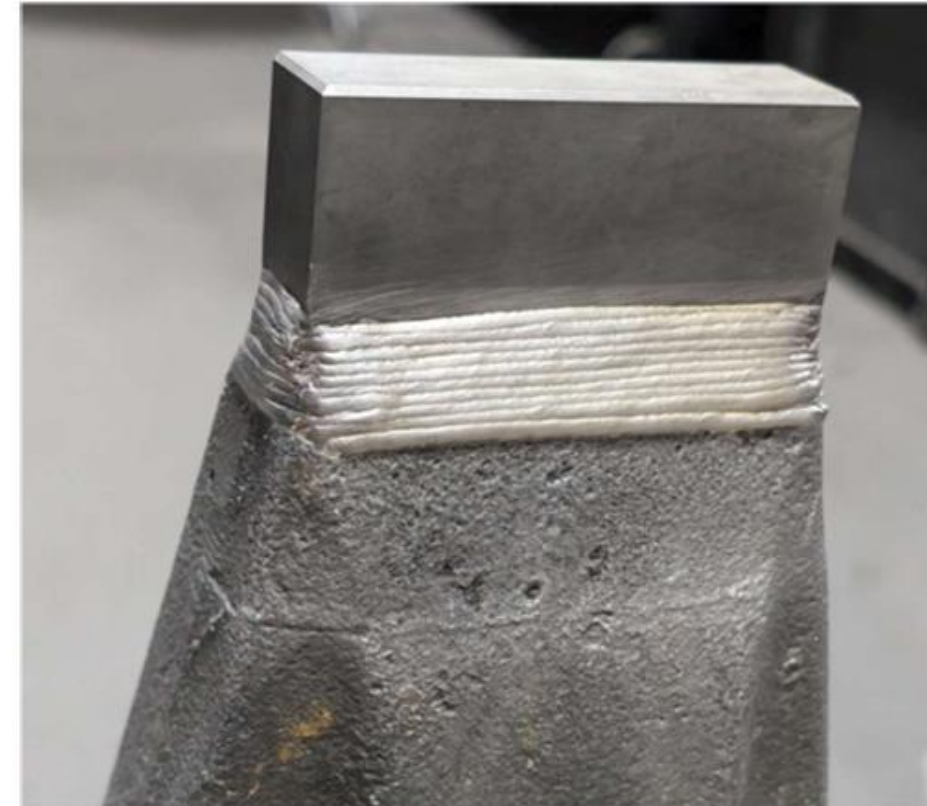
HLBW mahdollistaa myös erilaisten materiaalien yhdistämisen.

Esimerkkejä:

- » Ruostumattomat teräkset
- » Nikkeliseokset
- » Kulutuspinnoitteet

Haasteita:

- » Metallien välisten yhdisteiden muodostuminen
- » Erilaiset lämpölaajenemiskertoimet
- » Prosessiparametrien tarkka hallinta



Eripariliitoksen esimerkkikohde.



SUUNNITTELU JA KOULUTUS



Euroopan unionin
osarahoittama



ETELÄ-
KARJALAN
LIITTO

LAPPEENRANTA

» E-liikkuvuuden kehittyneet valmistusmenetelmät

Liitossuunnittelun periaate

- Suunnittele rakenne hyödyntämään tunkeumaa eikä suurta hitsiainemäärää.
- Suorat railopinnat ja yksipalkkoinen läpihitsaus voivat korvata viisteitä, kun teho ja ainepaksuus sallivat.
- Suuret pienahitsit ja suuren railotilavuuden täyttö heikentävät HLBW:n tuottavuusetua.



Euroopan unionin
osarahoittama



ETELÄ-
KARJALAN
LIITTO



LAPPEENRANTA

E-liikkuvuuden kehittyneet valmistusmenetelmät

LIITOSTEN VALMISTELU

Ennen hitsausta

Huolellinen valmistelu sisältää:

- » Liitospintojen puhdistuksen
- » Oksidien poistamisen
- » Railon tarkastuksen
- » Sovituksen tarkastuksen
- » Tarvittaessa laserpuhdistuksen

Hyvä valmistelu vähentää virheitä ja parantaa hitsin laatua.

- Tarkka sovitus on erityisen tärkeää ilman lisäainetta hitsattaessa.
- Oksidit, pinnoitteet ja lika voivat heikentää prosessin vakautta ja lisätä huokosia tai savuja.
- Prosessin huomiointi korostuu jo suunnittelu- ja reunavalmisteluvaiheessa.



Euroopan unionin
osarahoittama



ETELÄ-
KARJALAN
LIITTO



LAPPEENRANTA

E-liikkuvuuden kehittyneet valmistusmenetelmät

LISÄAINEET JA SUOJAKAASUT

Lisäaineet

- » Kuivat lisäainelangat
- » Oikea lisäainelaatu
- » Asianmukainen varastointi

Suojakaasut

- » Puhdas kaasu
- » Riittävä virtaus
- » Oikea suutin
- » Tarvittaessa jälkisuojaus
- » Suojakaasun laatu vaikuttaa suoraan hitsin laatuun.



Euroopan unionin
osarahoittama



ETELÄ-
KARJALAN
LIITTO

LAPPEENRANTA

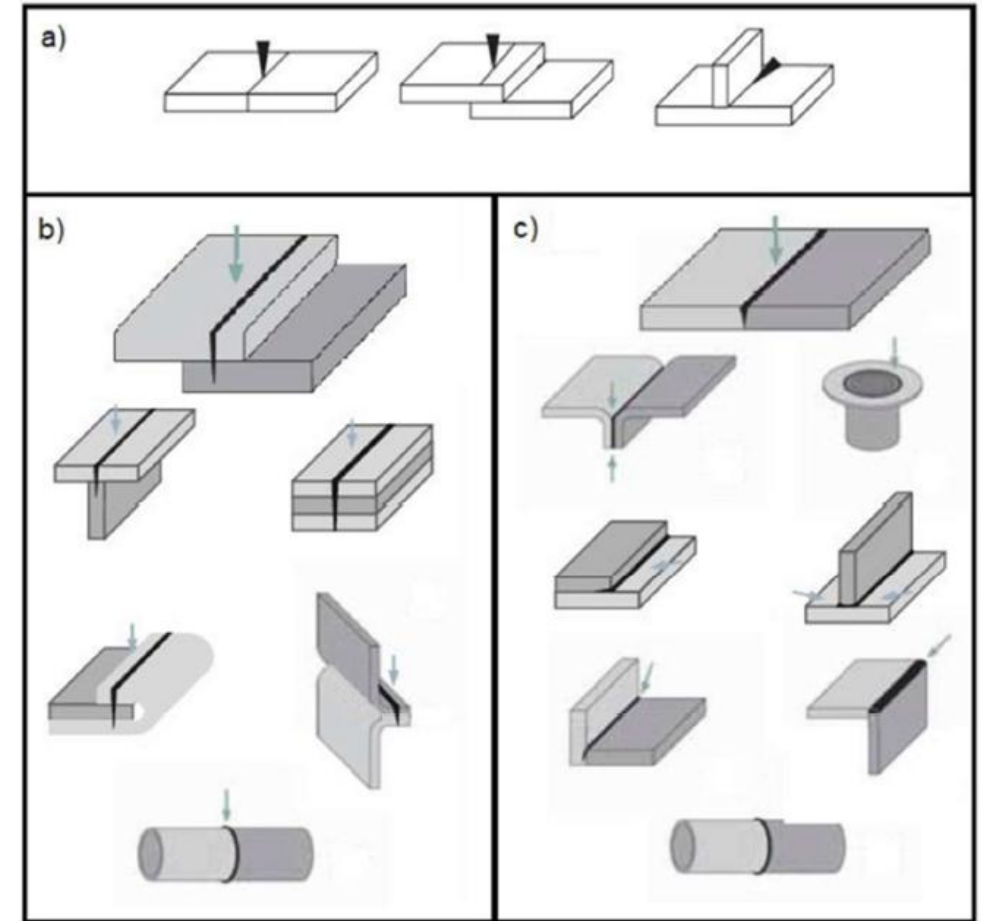
E-liikkuvuuden kehittyneet valmistusmenetelmät

YLEISIMMÄT LIITOSTYYPIT

HLBW:llä toteutettavat liitokset

Tyypillisiä liitoksia:

- » Päittäisliitos
- » Kulmaliitos
- » T-liitos
- » Limiliitos



a) Yleiset käsikäyttöisellä lasersädehitsauksella toteutettavia liitostyyppejä, b) limiliitoksia ja c) Yksityiskohtia



Euroopan unionin
osarahoittama



ETELÄ-
KARJALAN
LIITTO

LAPPEENRANTA

» E-liikkuvuuden kehittyneet valmistusmenetelmät

Päittäisliitokset

- Riittäväällä tunkeumalla viisteetön I-railo on mahdollinen.
- Ilman lisäainetta sovitusvaatimus on tiukka; lisäaine kasvattaa ilmarakotoleranssia.
- Nyrkkisääntönä lisäaineellisessa hitsauksessa ilmarako, joka on enintään noin 80 % langan halkaisijasta ilman erikoistekniikoita (Ionix).

Limi-, nurkka- ja reunaliitokset

- Limiliitos soveltuu hyvin ohutlevyille, kun levyt puristetaan yhteen.
- Nurkkaliitoksella voidaan saavuttaa siisti ulkopinta vähäisellä jälkityöllä.
- Reunaliitoksessa ohuet reunat voidaan sulattaa kokonaan, paksummissa levyissä hitsi kohdistetaan levyjen rajapintaan.



Euroopan unionin
osarahoittama



ETELÄ-
KARJALAN
LIITTO

LAPPEENRANTA

» E-liikkuvuuden kehittyneet valmistusmenetelmät

T-liitos ja syvän tunkeuman hyödyntäminen

- T-liitoksessa poltin ja lanka on helppo tukea sisänurkkaan, mutta yli 3 mm:n rakennepaksuuksilla tunkeuman suuntaus korostuu.
- Yksipuolinen täydellinen T-liitos on mahdollinen sopivalla polttimen lähestymiskulmalla.
- Suunnittelun tavoite on korvata tarpeeton suuri a-mitta hallitulla läpítunkeumalla.



Euroopan unionin
osarahoittama



ETELÄ-
KARJALAN
LIITTO

LAPPEENRANTA

» E-liikkuvuuden kehittyneet valmistusmenetelmät

Asentohitsaus ja ergonomia

- Pieni ja nopeasti jähmettyvä sula mahdollistaa useita hitsausasentoja, myös lakiasennon.
- Käsipolttimen massa on pienentynyt merkittävästi; jopa noin 500 g.
- Suuret hetkelliset kuljetusnopeudet voivat kuitenkin olla vaikeita ylläpitää pitkään käsin.



Euroopan unionin
osarahoittama



ETELÄ-
KARJALAN
LIITTO

LAPPEENRANTA

» E-liikkuvuuden kehittyneet valmistusmenetelmät

Paksun materiaalin ja ilmaraon strategia

- Suuri ilmarako ei ole käsilaserhitsauksen luontainen vahvuus, koska hitsiainetuotto on rajallinen.
- On todettu kokeneiden käyttäjien voivan täyttää jopa noin 5 mm rakoja, tyypillisesti monipalkoperaatteella.
- Käytännössä liitoksen uudelleensuunnittelu tai hybridinen prosessiketju voi olla tehokkaampi kuin suuren täytön tuottaminen laserilla.



Euroopan unionin
osarahoittama



ETELÄ-
KARJALAN
LIITTO

LAPPEENRANTA

» E-liikkuvuuden kehittyneet valmistusmenetelmät

Tyypilliset hitsausvirheet

- Huokoisuus liittyy avaimenreiän epävakauteen, kaasun jäämiseen sulaan ja epäpuhtauksiin.
- Kohdistusvirhe, liiallinen nopeus tai liian pieni tehotiheys voivat aiheuttaa liitos- tai tunkeumavirheen.
- Myös reunahaava, läpipalaminen ja materiaalisidonnainen halkeilu ovat mahdollisia.
- Ulkoisesti siisti HLBW-hitsi ei yksin todista sisäistä virheettömyyttä.
- Röntgentarkastusta voidaan suositella erityisesti parametrien kehitysvaiheessa, koska sisäiset huokokset eivät välttämättä näy pinnalta.
- Mm. 316L:n huokoisuus riippuu usein myös avaimenreiän vakaudesta ja suojakaasusta.



Euroopan unionin
osarahoittama



ETELÄ-
KARJALAN
LIITTO



LAPPEENRANTA

E-liikkuvuuden kehittyneet valmistusmenetelmät

TURVALLISUUSKOULUTUS

Käyttäjän osaaminen

Ennen laitteen käyttöä käyttäjän tulee saada koulutus, joka sisältää:

- » Laserturvallisuuden perusteet
- » Laitteiston käyttö
- » Päivittäiset tarkastukset
- » Hätätilanteissa toimiminen
- » Henkilönsuojainten käyttö
- » Työalueen turvallisuus

Perinteisen kaarihitsauksen osaaminen ei yksin riitä HLBW-laitteiston turvalliseen käyttöön.

HLBW:n turvallisuus perustuu useiden tekijöiden yhdistelmään: oikein suunniteltuun työympäristöön, koulutettuun henkilöstöön, asianmukaisiin suojaimeihin ja selkeisiin työohjeisiin. Yksittäinen suojatoimenpide ei yksin riitä ehkäisemään luokan 4 laserin aiheuttamia riskejä.

E-liikkuvuuden kehittyneet valmistusmenetelmät

HITSAAJEN KOULUTUS

HLBW-hitsaajan osaamisvaatimukset

Käsi­käyt­to­inen la­ser­sä­de­hitsaus edel­lyt­tää sekä käytännön hitsaus­taitoa että la­ser­pro­ses­sin erityis­piir­teiden hallintaa.

Koulutuksen tulee kattaa:

- » Laserturvallisuus
- » Laitteiston käyttö
- » Prosessiparametrien vaikutus
- » Lisäainelangan käyttö
- » Suojakaasut
- » Liitoksen valmistelu
- » Laadunvarmistus
- » Tyypillisimmät hitsausvirheet

Kaarihitsauksen kokemus antaa hyvän perustan, mutta ei yksin riitä HLBW-prosessin hallintaan.



Euroopan unionin
osarahoittama



ETELÄ-
KARJALAN
LIITTO


LAPPEENRANTA

E-liikkuvuuden kehittyneet valmistusmenetelmät

HITSAAJIEN PÄTEVÖINTI

Pätevyyskokeet

Hitsaajien pätevyys osoitetaan voimassa olevien standardien ja tilaajavaatimusten mukaisesti.

Pätevyyskokeissa arvioidaan esimerkiksi:

- » Tunkeuma
- » Hitsin geometria
- » Pintalaatu
- » Sisäiset virheet
- » Mekaaniset ominaisuudet

HLBW on kehittyvä menetelmä, joten pätevöintikäytännöt täydentyvät menetelmän yleistyessä.



Euroopan unionin
osarahoittama



ETELÄ-
KARJALAN
LIITTO



LAPPEENRANTA

E-liikkuvuuden kehittyneet valmistusmenetelmät

HITSAUSOHJE (WPS)

Welding Procedure Specification

Jokaiselle tuotantohitsaukselle laaditaan kirjallinen hitsausohje.

WPS sisältää tyypillisesti:

- » Perusaine
- » Polttoväli
- » Materiaalipaksuus
- » Säteen värähtely
- » Liitostyyppi
- » Lisäainelanka
- » Railomuoto
- » Suojakaasu
- » Laserteho
- » Kaasun virtaus
- » Hitsausnopeus



Euroopan unionin
osarahoittama



ETELÄ-
KARJALAN
LIITTO

LAPPEENRANTA

E-liikkuvuuden kehittyneet valmistusmenetelmät

LAADUNVARMISTUS

Laadukas HLBW-hitsaus

Laatu muodostuu koko valmistusprosessista.

Keskeiset tekijät:

- » Oikea materiaalivalinta
- » Railon valmistelu
- » Puhdistus
- » Oikeat hitsausparametrit
- » Hitsaajan osaaminen
- » Tarkastus

Jokainen työvaihe vaikuttaa lopputulokseen.



Euroopan unionin
osarahoittama



ETELÄ-
KARJALAN
LIITTO

LAPPEENRANTA

» E-liikkuvuuden kehittyneet valmistusmenetelmät

Laadunvarmistusstrategia

- Johda WPS tuotteen vaatimuksista eikä laitteen tehdasasetuksista.
- Dokumentoi perus- ja lisäaine, railo, laite ja sädemoodi, fokus, teho, nopeus, vaaputus, suojakaasu ja langansyöttö.
- Osoita toistettavuus edustavilla koehitseillä ja hyväksymiskriteereihin soveltuvilla tarkastuksilla.



Euroopan unionin
osarahoittama



ETELÄ-
KARJALAN
LIITTO



LAPPEENRANTA

E-liikkuvuuden kehittyneet valmistusmenetelmät

KÄSILASERHITSAUS CASE-ESIMERKKEJÄ



Euroopan unionin
osarahoittama



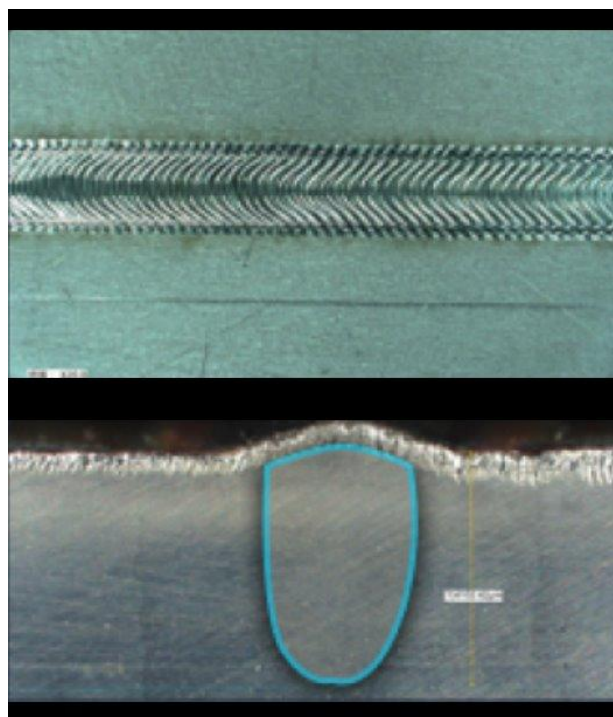
ETELÄ-
KARJALAN
LIITTO



LAPPEENRANTA

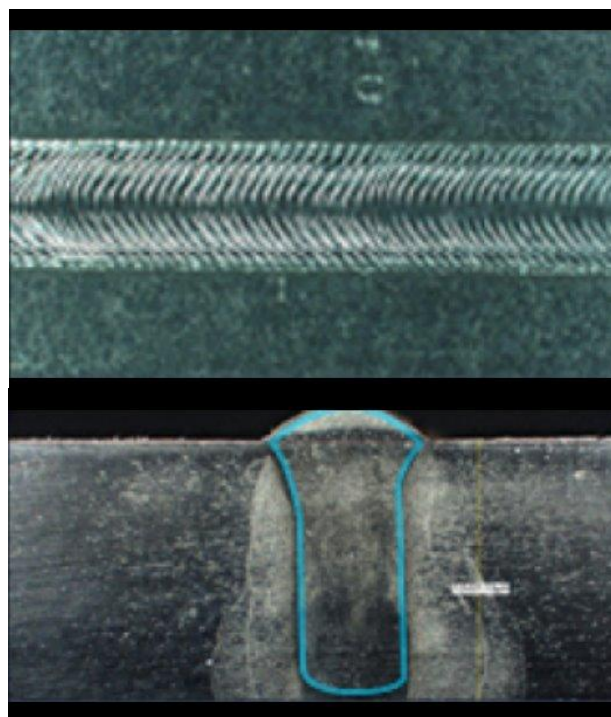
E-liikkuvuuden kehittyneet valmistusmenetelmät

WPQR (FANUCI)



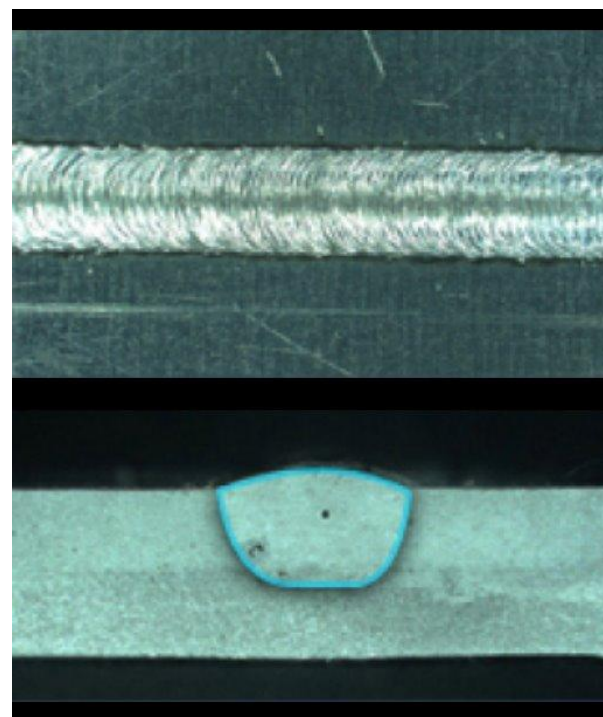
» Ruostumaton teräs

(4.5 mm)



» Hiiliteräs

(4.5 mm)



» Alumiini

(4.0 mm)

» Laserteho: 1.5kW



Euroopan unionin
osarahoittama

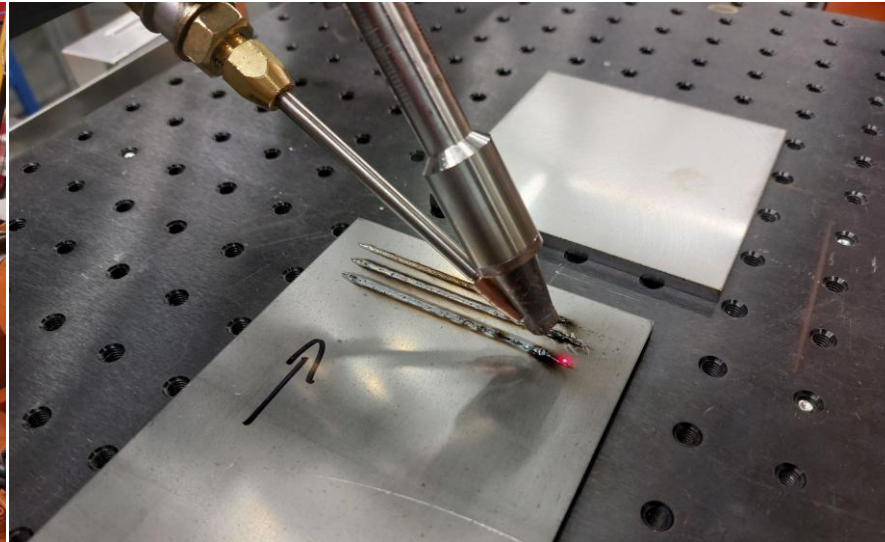
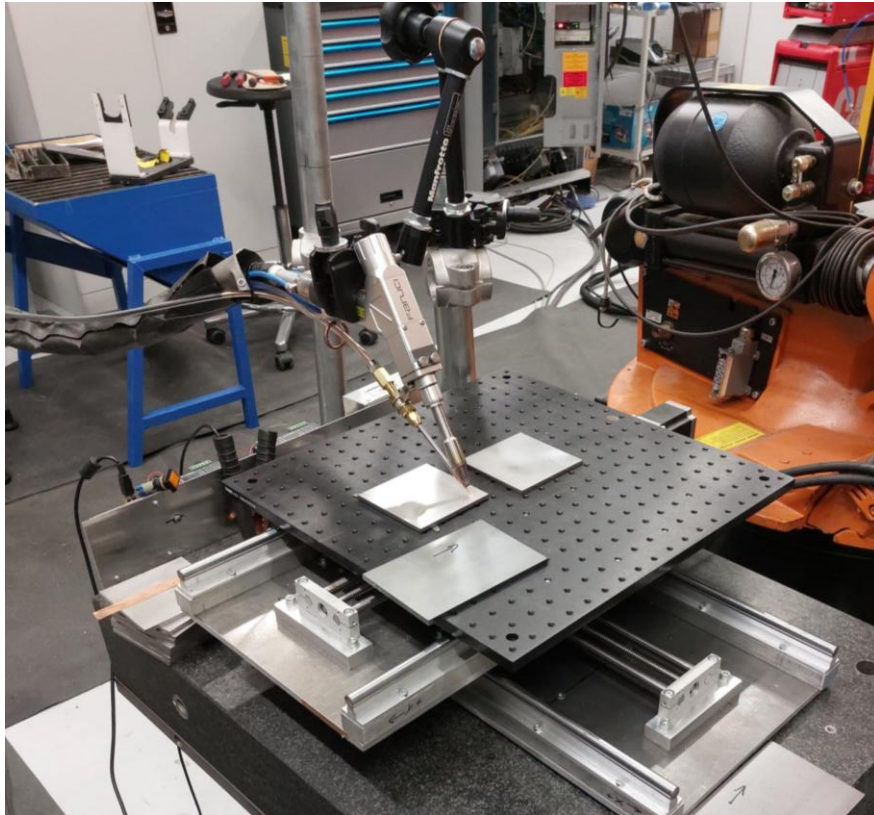


ETELÄ-
KARJALAN
LIITTO

LAPPEENRANTA

E-liikkuvuuden kehittyneet valmistusmenetelmät

OHUTLEVYJEN HITSAUS



- » Käsilaserhitsauksen parametrien vaikutukset palkomuotoon
- » Poltinkulma, nopeus & teho
- » Johdantoa tutkimukseen



Euroopan unionin
osarahoittama



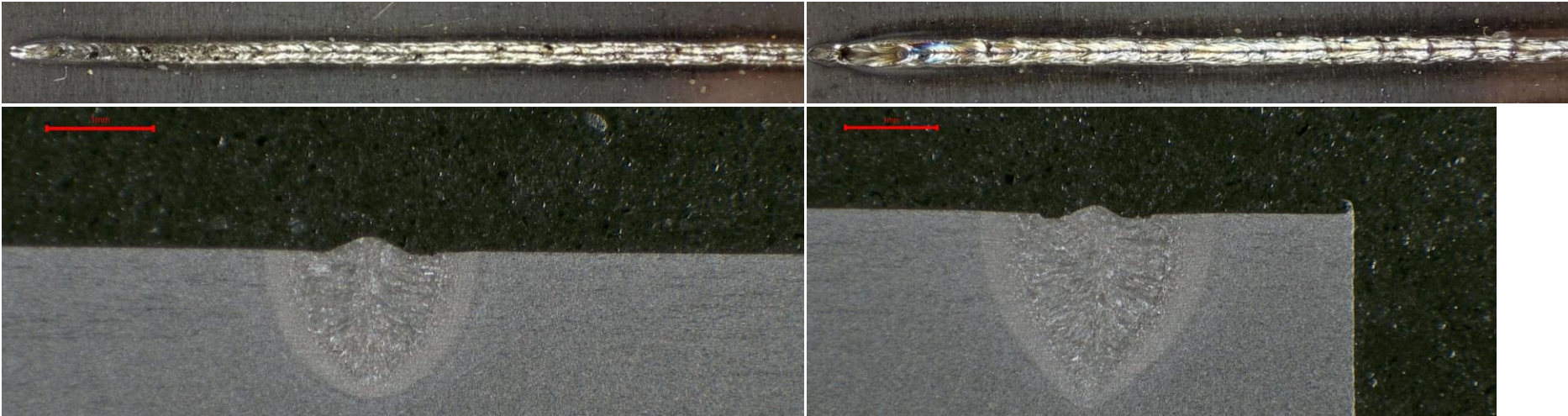
ETELÄ-
KARJALAN
LIITTO



LAPPEENRANTA

E-liikkuvuuden kehittyneet valmistusmenetelmät

OHUTLEVYJEN HITSAUS (S355)



- » Kuljetuskulma: 57°
- » Defocus: 0
- » Hitsaus nopeus: 1000 mm/min
- » Laserteho: 1 kW

- » Kuljetuskulma: 57°
- » Defocus: 0
- » Hitsaus nopeus: 1000 mm/min
- » Laserteho: 1.5 kW



Euroopan unionin
osarahoittama

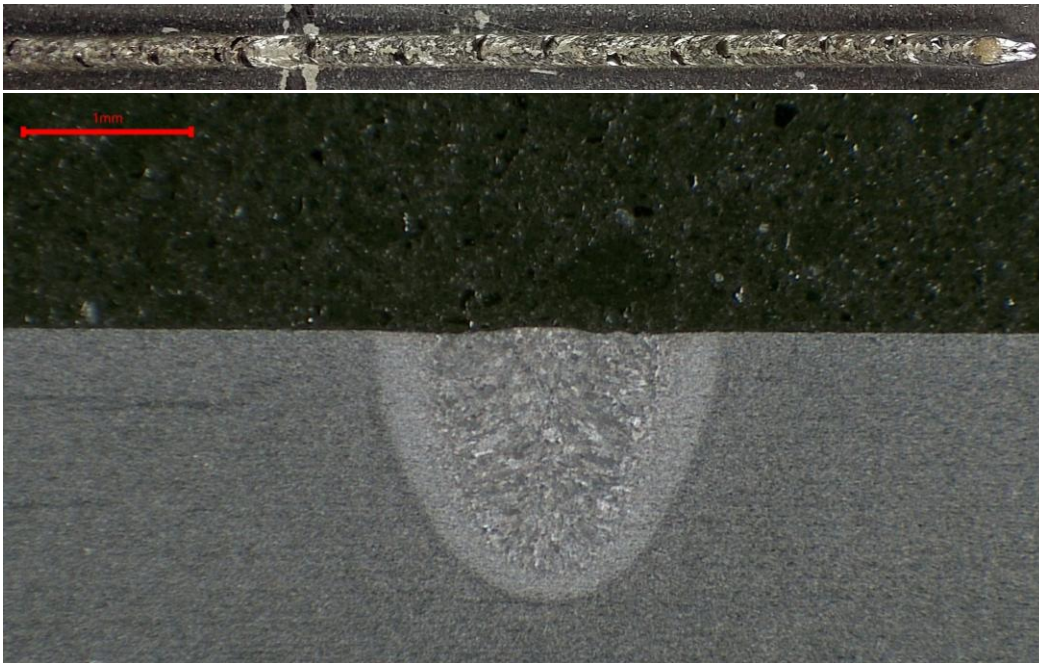
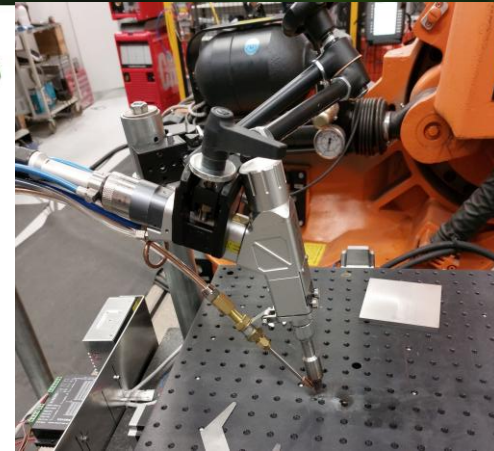


ETELÄ-
KARJALAN
LIITTO

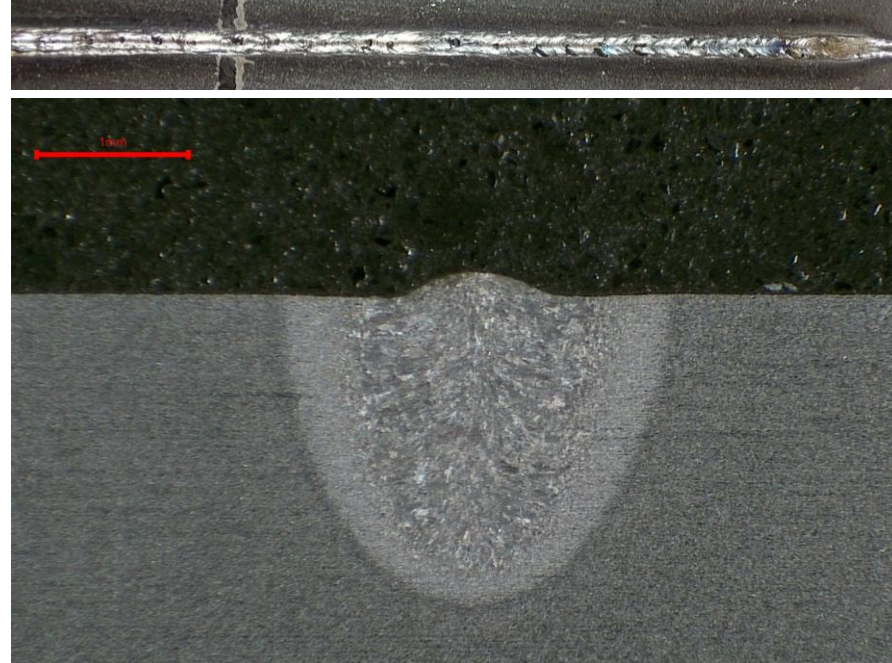
LAPPEENRANTA

E-liikkuvuuden kehittyneet valmistusmenetelmät

OHUTLEVYJEN HITSAUS (S355)



- » Poltinkulma: 80° (säde)
- » Defocus: 0
- » Hitsaus nopeus: 750 mm/min
- » Laserteho: 1 kW



- » Poltinkulma: 80° (säde)
- » Defocus: 0
- » Hitsaus nopeus: 750 mm/min
- » Laserteho: 1.5 kW



Euroopan unionin
osarahoittama

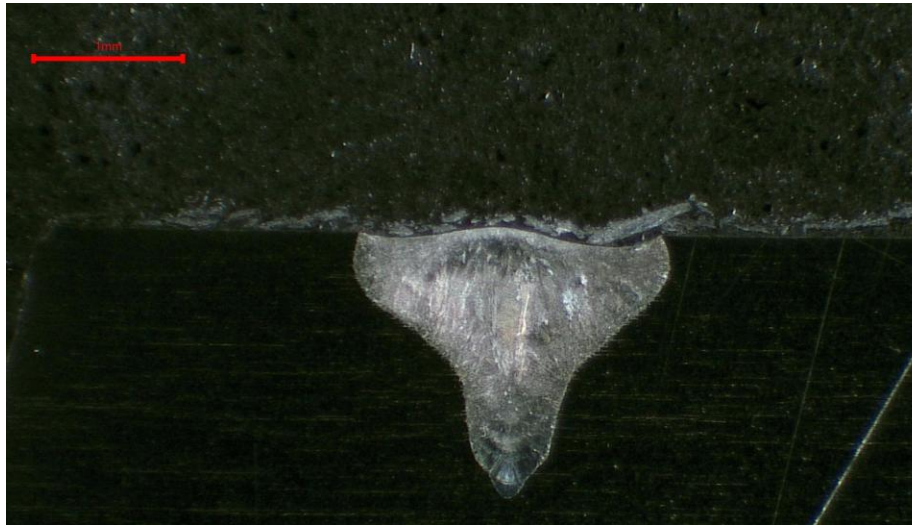


ETELÄ-
KARJALAN
LIITTO

LAPPEENRANTA

E-liikkuvuuden kehittyneet valmistusmenetelmät

OHUTLEVYJEN HITSAUS (316L)



- » Kuljetuskulma: 57°
- » Defocus: 0
- » Hitsaus nopeus: 750 mm/min
- » Laserteho: 1 kW

- » Kuljetuskulma: 57°
- » Defocus: 0
- » Hitsaus nopeus: 750 mm/min
- » Laserteho: 1.5 kW



Euroopan unionin
osarahoittama



ETELÄ-
KARJALAN
LIITTO



LAPPEENRANTA

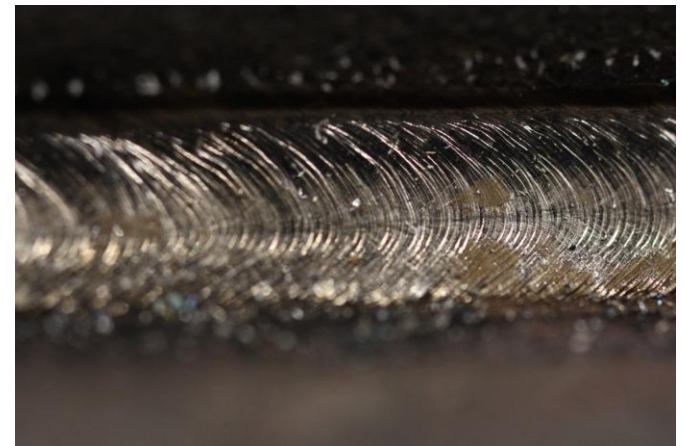
E-liikkuvuuden kehittyneet valmistusmenetelmät

OHUTLEVYJEN HITSAUS ESIMERKKEJÄ

- » Teho: 1000 W
- » Pulssi: 1000 Hz
- » Hitsausnopeus: 9 mm/s
- » Vaaputuskoko ja –
taajuus: 2 mm, 80 Hz



- » Teho: 1200 W
- » Pulssi: 1000 Hz
- » Hitsausnopeus:
14 mm/s





Euroopan unionin
osarahoittama

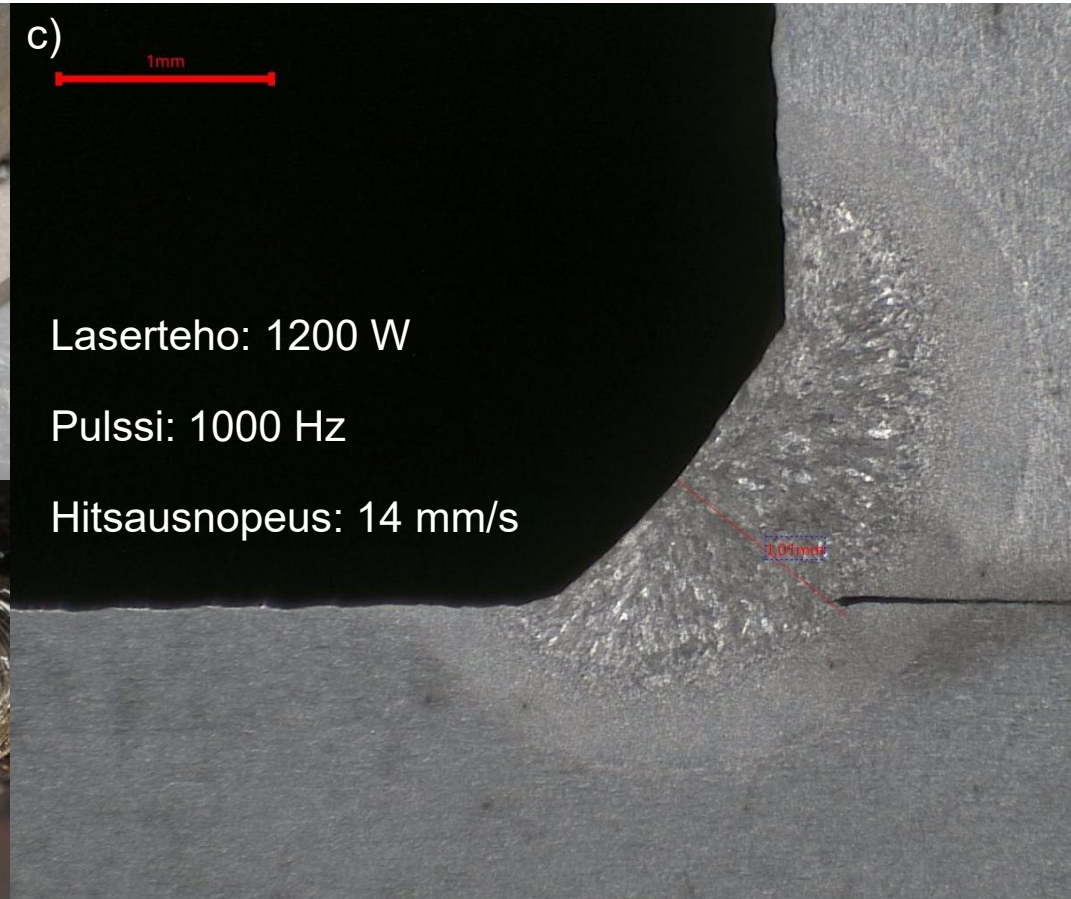
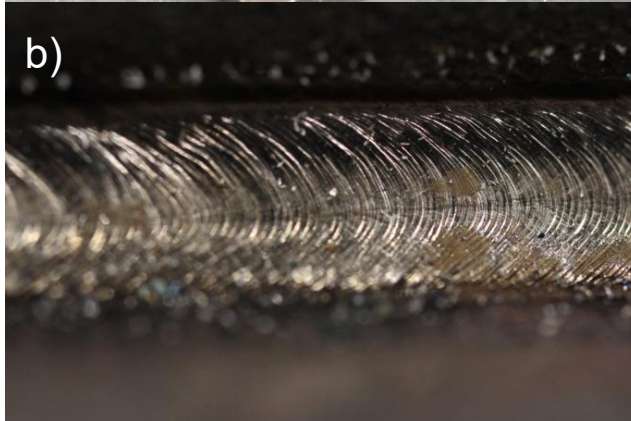


ETELÄ-
KARJALAN
LIITTO

LAPPEENRANTA

E-liikkuvuuden kehittyneet valmistusmenetelmät

OHUTLEVYJEN HITSAUS ESIMERKKKEJÄ





Euroopan unionin
osarahoittama



ETELÄ-
KARJALAN
LIITTO



LAPPEENRANTA

E-liikkuvuuden kehittyneet valmistusmenetelmät

SILLOITUSHITSAUS ESIMERKKEJÄ



» Pienaliitos: Materiaalin paksuus 3 mm, laserteho 1.5kW



» Putkiliitos:
Materiaalin
paksuus 1.5 mm,
laserteho 800W





Euroopan unionin
osarahoittama



ETELÄ-
KARJALAN
LIITTO

LAPPEENRANTA

E-liikkuvuuden kehittyneet valmistusmenetelmät

PIENALIITOKSET (KEMPPI K2)

» Materiaali: 316LSi

» $t=3\text{mm}$

» Alapiena



Käsilaser 316LSi

$P=600\text{W}$

$t=3\text{mm}$

$V/V_w: 800\text{ mm/min}$

Pienaliitos

$H\sim 36\text{ J/mm}$

TIG 316LSi

$P=1335\text{W}$

$t=3\text{mm}$

$V=171\text{ mm/min}$

Pienaliitos

Ilman lisäainetta

$H\sim 327\text{ J/mm}$



Euroopan unionin
osarahoittama



ETELÄ-
KARJALAN
LIITTO

LAPPEENRANTA

E-liikkuvuuden kehittyneet valmistusmenetelmät

AVOIMEN JUUREN HITSAUS

Käytännön esimerkki

- » Materiaali: 12 mm teräs
- » Juurirako: 5 mm
- » Lisäainelanka käytössä
- » Tulos täytti ASME IX -vaatimukset

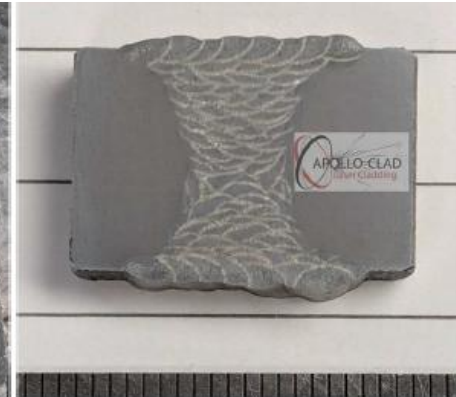
Tapaus osoittaa HLBW:n soveltuvuuden myös vaativiin liitoksiin.



(a)



(b)



(c)

Avoimen juuren hitsaus käsikäyttöisellä lasersädehitsauksella: a) ennen hitsausta, b) jälkeen, c) poikkileikkaus (Apollo Machine, Canada)



Euroopan unionin
osarahoittama



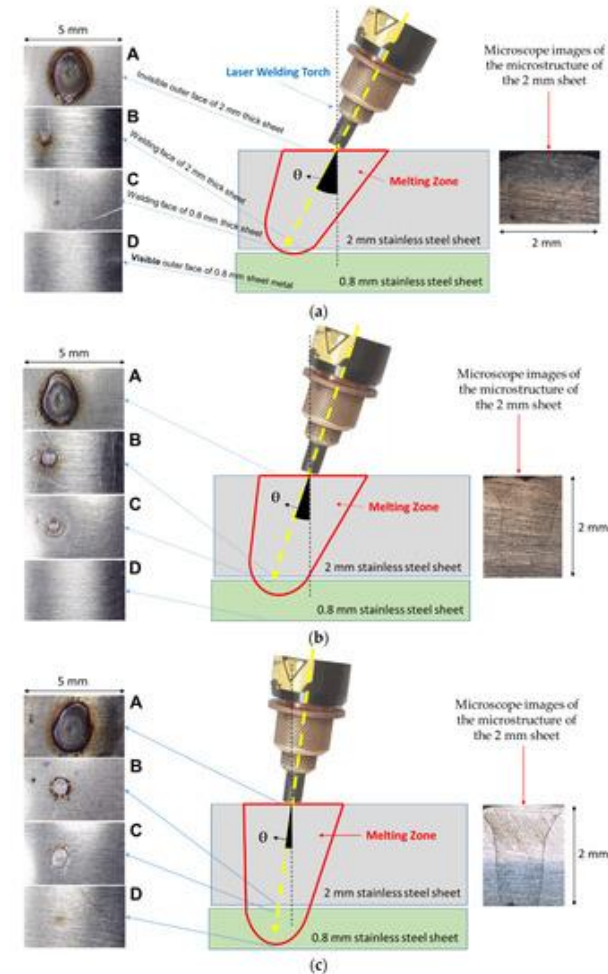
ETELÄ-
KARJALAN
LIITTO

LAPPEENRANTA

E-liikkuvuuden kehittyneet valmistusmenetelmät

PISTEHITSAUS

» Edut perinteiseen vastuspistehitsaukseen
(RSW): Hitsaus voidaan suorittaa **yksipuolisesti**
ilman tarvetta puristaa kappaletta kahden elektrodin
väliin, mikä mahdollistaa monimutkaisten ja
suljettujen geometrioitten liittämisen.



Käsilaserpistehitsauskulmia (70.43 J). (a) $\theta = 30^\circ$ (extremely tilted holding angle). (b) $\theta = 15^\circ$ (appropriate holding angle). (c) $\theta = 5^\circ$ (extremely steep holding angle) (Reis et. al 2022)



Euroopan unionin
osarahoittama



ETELÄ-
KARJALAN
LIITTO

LAPPEENRANTA

» E-liikkuvuuden kehittyneet valmistusmenetelmät

Tuottavuus verrattuna kaarihitsaukseen

- Jahna ym. raportoivat hitsausnopeuden olevan liitoksesta riippuen vähintään kaksinkertainen ja tyypillisesti noin 3–5-kertainen kaariprosesseihin verrattuna.
- Ionix toteaa parhaiden tapausten voivan lähestyä kymmenkertaista nopeutta TIG-hitsaukseen verrattuna.
- Todellinen tuotantohyöty syntyy hitsausajan lisäksi pienemmästä hionnasta, puhdistuksesta, oikaisusta ja käsittelystä.



Euroopan unionin
osarahoittama



ETELÄ-
KARJALAN
LIITTO

LAPPEENRANTA

» E-liikkuvuuden kehittyneet valmistusmenetelmät

Teolliset tuottavuusesimerkit

- Jahna ym. raportoivat 2 mm EN 1.4301 -ruostumattomalle teräkselle jopa noin 140 cm/min hitsausnopeuden.
- Käsilaserhitsausta käyttävät yritykset raportoivat artikkelissa noin 30–50 % suurempaa läpimenoa ohutlevyisen Cr-Ni-teräksen tuotannossa.
- Tuottavuushyöty korostuu pitkillä, noin 20 cm ylittävillä saumoilla ja vähäisen oikaisutarpeen tuotteissa.



Euroopan unionin
osarahoittama



ETELÄ-
KARJALAN
LIITTO

LAPPEENRANTA

E-liikkuvuuden kehittyneet valmistusmenetelmät

MENETELMÄN EDUT

Miksi käyttää käsilaseria?

Keskeiset edut:

- » suuri hitsausnopeus
- » pieni lämmöntuonti
- » vähäiset muodonmuutokset
- » kapea lämpövaikutusalue
- » pieni jälkityöstön tarve
- » hyvä tunkeuma
- » siisti hitsin ulkonäkö
- » soveltuu useille materiaaleille
- » mahdollisuus käyttää lisäainelankaa tai hitsata ilman lisäainetta

Käsilaser ei korvaa kaikkia perinteisiä hitsausmenetelmiä, mutta tarjoaa merkittäviä etuja erityisesti ohutlevyjen, ruostumattomien terästen ja korjaushitsausten kaltaisissa kohteissa, joissa pieni lämmöntuonti ja vähäiset muodonmuutokset ovat tärkeitä.



Euroopan unionin
osarahoittama



ETELÄ-
KARJALAN
LIITTO


LAPPEENRANTA

E-liikkuvuuden kehittyneet valmistusmenetelmät

MENETELMÄN RAJOITUKSET

HLBW:n rajoitukset

Vaikka HLBW tarjoaa merkittäviä etuja, sen käyttöön liittyy myös rajoituksia.

Keskeisiä huomioitavia tekijöitä ovat:

- » Railon valmistelun tarkkuus
- » Liitoksen sovitus
- » Oikeiden hitsausparametrien valinta
- » Materiaalikohtaiset ominaisuudet
- » Hitsaajan osaaminen

HLBW vaatii tarkempaa prosessin hallintaa kuin monet perinteiset kaarihitsausmenetelmät.



Euroopan unionin
osarahoitama



ETELÄ-
KARJALAN
LIITTO

LAPPEENRANTA

E-liikkuvuuden kehittyneet valmistusmenetelmät

LÄHTEITÄ

- » Recommendations for Safety, Quality and Materials Aspects of Handheld Laser Beam Welding (HLBW)
- » European Welding Association (EWA)
- » European Federation for Welding, Joining and Cutting (EWF)
- » International Institute of Welding (IIW)
- » EWA–IIW–EWF, Considerations about Handheld Laser Beam Welding, 2025
- » Ionix Oy, Käsilaserhitsaus
- » Reis, M.; Şerifağaoğlu, E. A Smart Handheld Welding Torch Device for Manual Spot Laser Welding. *Appl. Sci.* **2022**, 12, 11137. <https://doi.org/10.3390/app122111137>
- » <https://www.fincmfuture.com/handheld-laser-welder-machine/>
- » ifw Jena, Germany
- » Miller Electric Mfg LLC, USA
- » Fosterlaser.com
- » Kemppi.fi
- » Coviello, Donato & Heydt, Jana & Rullo, Lorenzo & Keßler, Michael & Vito, Mariarosaria & D'angola, Antonio & Sorgente, Donato. (2023). Laser welding of tailored blanks made of Al-Si-coated 22MnB5 steel using a filler wire and a variable energy distribution laser optics. The International Journal of Advanced Manufacturing Technology. 125. 1-14. 10.1007/s00170-023-10921-4.
- » Recommendations for Safety, Quality and Materials Aspects of Handheld Laser Beam Welding (HLBW)
- » Jahna et al., Potential of handheld laser beam welding, Advanced Manufacturing Research 3(2), 2025, <https://www.extrica.com/article/24840>
- » <https://www.ipk.fraunhofer.de/en/expertise-and-technologies/production-processes-and-facilities/joining-and-coating/energy-sector-welding/handguided-laser-welding.html>
- » <https://fanuci-falcon.com/en/knowledge-base/>
- » <https://www.mcwlaser.net/products/sup20s-fiber-laser-handheld-sup-laser-welding-head-welding-gun>
- » <https://fy.gefasstsuplaser.com/handheld-laer-welding-gun>

