
LUT
University
LAND
OF THE
CURIOUS

E-LIIKKUVUUDEN KEHITTYNEET VALMISTUSMENETELMÄT

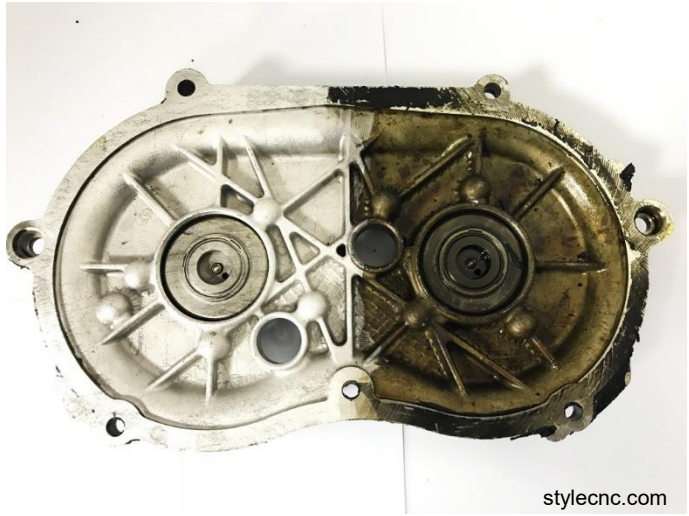
LASERPUHDISTUS TEOLLISUUDESSA

Kootut tietopaketit

Euroopan unionin osarahoittama

LASERPUHDISTUS

- **Mitä poistetaan**
  - Ruoste, oksidit, maalit, pinnoitteet, öljyt ja prosessijäämät.
- **Miksi kiinnostaa**
  - Tarkka ja kontaktiton käsittely, hyvä automatisoitavuus ja vähäinen kulutusmateriaalien tarve.
- **Parhaat kohteet**
  - Rajattu puhdistusalue, toistuva tuotanto, korkea laatuvaatimus ja arvoa tuottava jatkoprosessi.
- **Keskeiset ehdot**
  - Prosessi-ikkuna, puhtauden todentaminen, kotelointi, huurujen poisto ja elinkaaritalous.



stylecnc.com



Projectlaser.com.au



foodengineeringmag.com



stylecnc.com

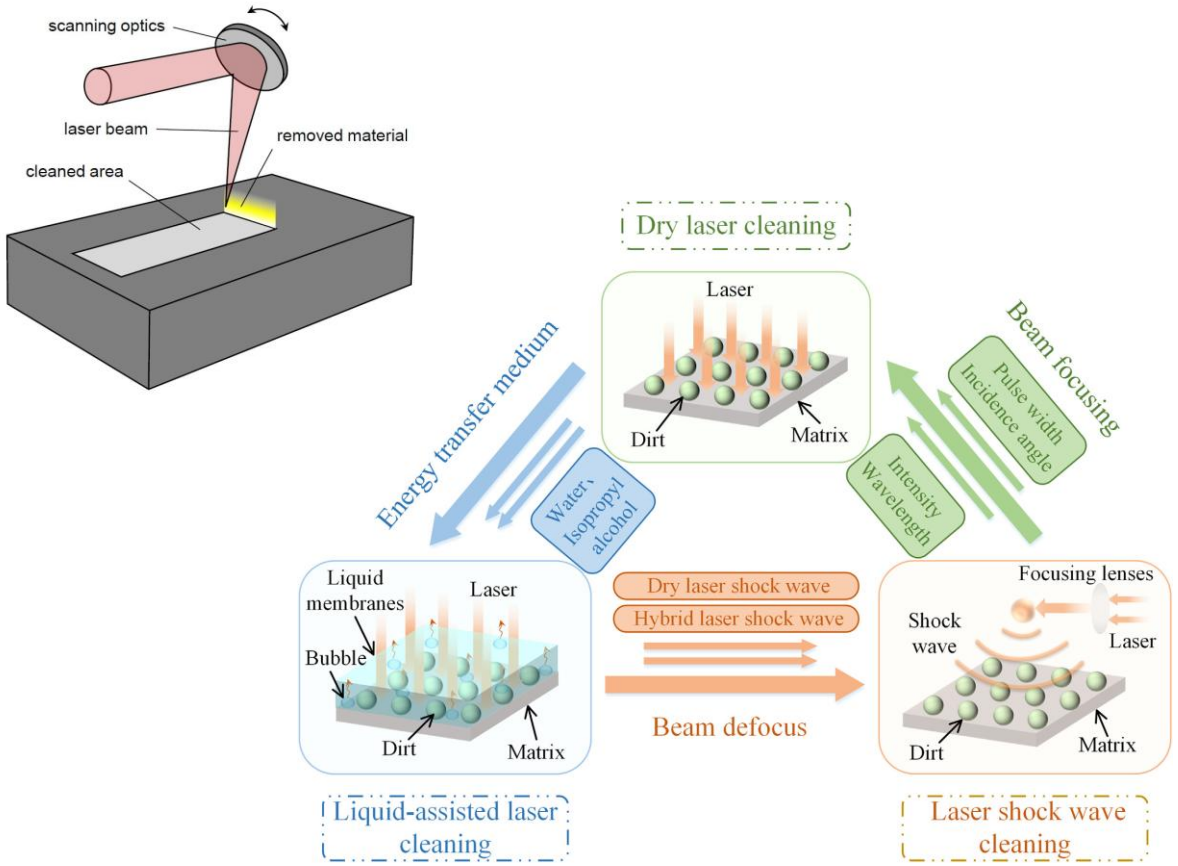
Euroopan unionin osarahoittama

ETELÄ-KARJALAN LIITTO

LAPPEENRANTA

LASERPUHDISTUS POISTAA VALITUN PINTAKERROKSEN

- Laserenergia absorboituu poistettavaan kerrokseen ja käynnistää lämpö-, paine- tai ablaatiomekanismeja.
- Prosessi suunnitellaan siten, että epäpuhtauden poistokynnys alittuu ennen perusmateriaalin vauriokynnystä.
- Kosketukseton käsittely vähentää mekaanista kulumista, mutta ei poista lämpö- tai päästöriskejä.
- Pulssilaserpuhdistuksen keskeisiä mekanismeja tutkimuskirjallisuudessa.



Kuva: Zhu et al. (2022), Optics and Lasers in Engineering 157, 107130.

Euroopan unionin osarahoittama
ETELÄ-KARJALAN LIITTO
LAPPEENRANTA

MISSÄ LASERPUHDISTUSTA KÄYTETÄÄN

- **Hitsaus ja liittäminen**
  - Oksidien, öljyn ja muiden liitosvirheitä aiheuttavien jäämien poisto.
- **Korroosion poisto**
  - Ruosteen hallittu poisto kunnossapidossa ja valmistuksessa.
- **Maalit ja pinnoitteet**
  - Paikallinen tai kerroksittainen materiaalinpoisto.
- **Muotit ja työkalut**
  - Prosessijäämien poisto ilman voimakasta mekaanista kulutusta.
- **Akku- ja elektroniikkateollisuus**
  - Kupari- ja alumiinipintojen valmistelu sähköisiä ja hitsattuja liitoksia varten.
- **Automatisoidut linjat**
  - Puhdistus, tarkastus ja jatkoprosessi samassa tuotantosolussa.

Euroopan unionin osarahoittama
ETELÄ-KARJALAN LIITTO
LAPPEENRANTA

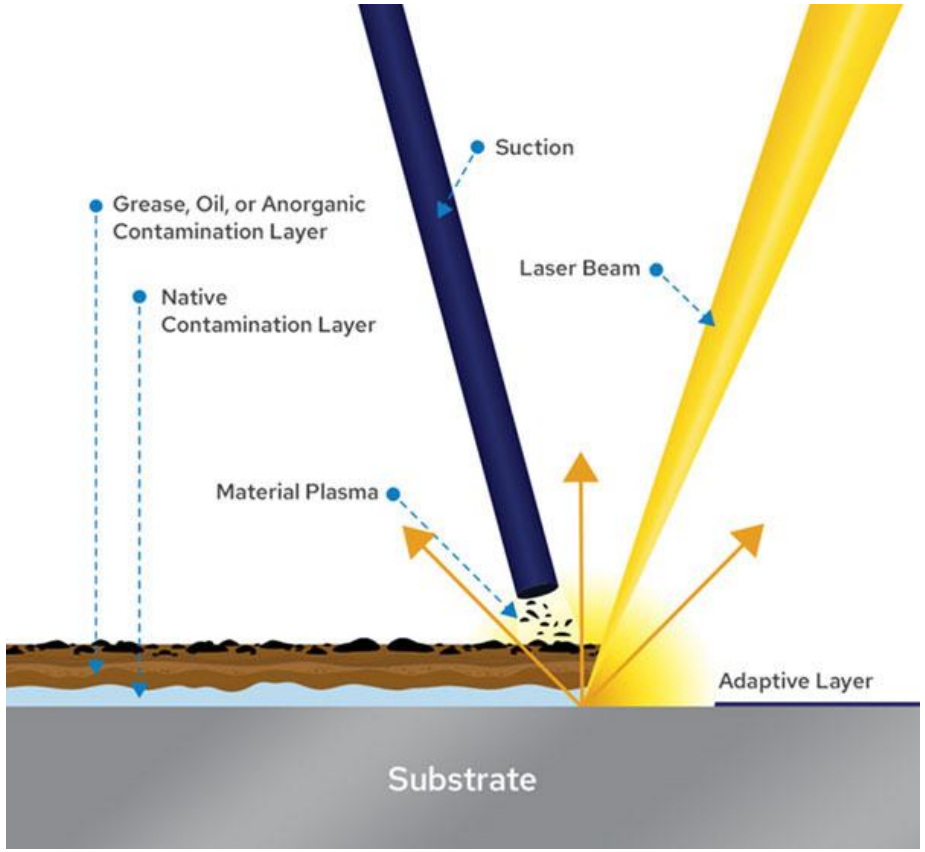
TOIMINTAPERIAATE

Miten laserenergia irrottaa pintakerroksen ja missä kulkee puhdistuksen sekä vaurion raja?

Euroopan unionin osarahoittama
ETELÄ-KARJALAN LIITTO
LAPPEENRANTA

LASERIN JA MATERIAALIN VUOROVAIKUTUS

- Pintaan saapuva säteily jakautuu absorptioon, heijastukseen, sirontaan ja mahdolliseen läpäisyyn.
- Absorptio riippuu aallonpituudesta, materiaalista, pinnankarheudesta, lämpötilasta ja epäpuhtauskerroksesta.
- Metallien ja oksidien erilainen absorptio voi mahdollistaa selektiivisen puhdistuksen.
- Sama laiteasetus ei siksi tuota samaa tulosta eri materiaali–epäpuhtaus-yhdistelmillä.

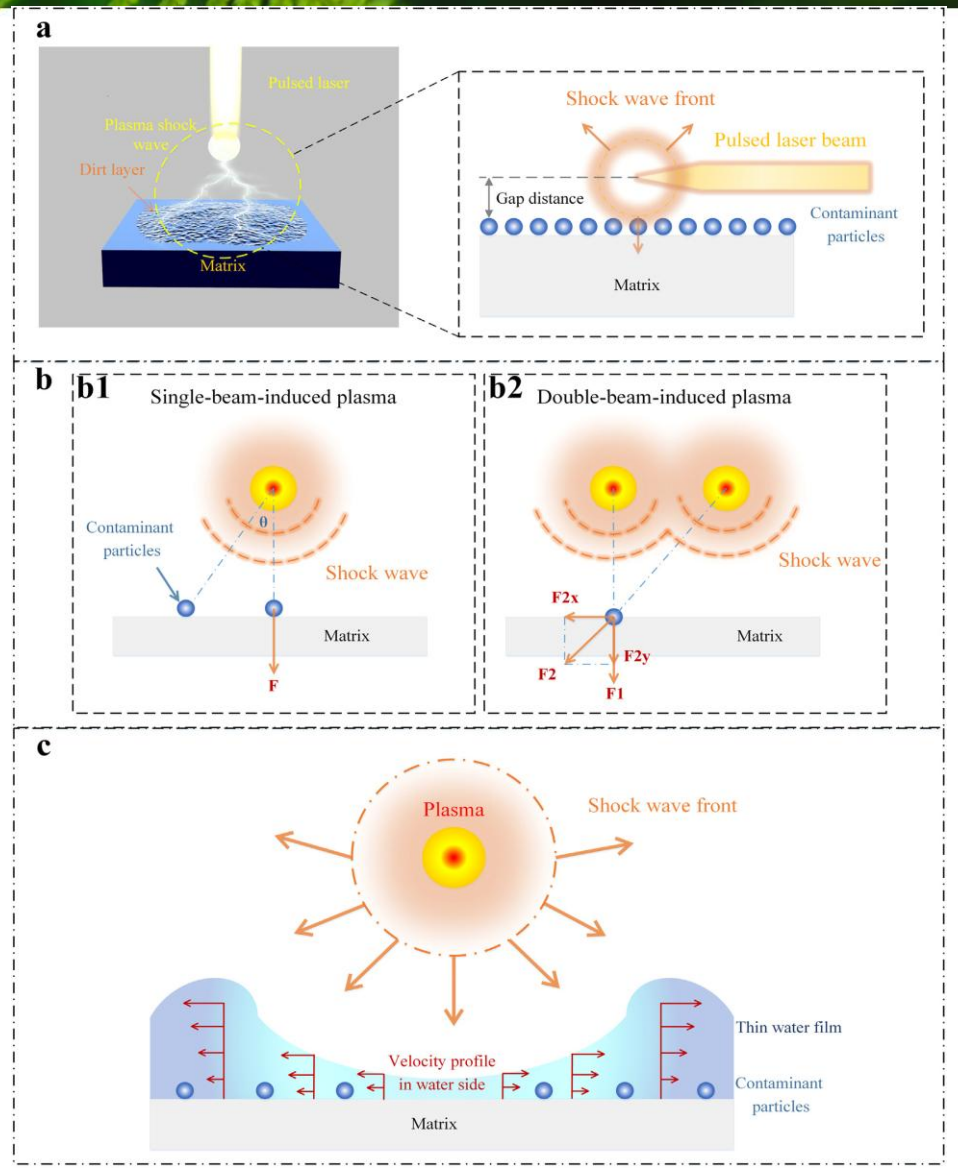


adapt-laser.com

Euroopan unionin osarahoittama
ETELÄ-KARJALAN LIITTO
LAPPEENRANTA

PUHDISTUS PERUSTUU USEAN MEKANISMIN YHTEISVAIKUTUKSEEN

- Fototermisessä puhdistuksessa absorboitunut energia nostaa lämpötilaa ja johtaa sulamiseen, höyrystymiseen tai sublimoitumiseen.
- Fotomekaanisessa puhdistuksessa nopea lämpölaajeneminen ja paineaalto irrottavat haurasta kerrosta.
- Plasma- ja shokkiaaltovaikutukset voivat osallistua hiukkasten irtoamiseen erityisesti lyhyillä pulsseilla.
- Mekanismien painotus riippuu materiaalista, pulssista ja energiatiheydestä.



Kuva: Zhu et al. (2022), Optics and Lasers in Engineering 157, 107130.

Euroopan unionin osarahoittama
ETELÄ-KARJALAN LIITTO
LAPPEENRANTA

ABLAATIOKYNNYS EROTTAA POISTUMISEN LÄMMITYKSESTÄ

- Kynnyksen alapuolella kerros lämpenee, mutta materiaalin poisto on vähäistä tai sitä ei tapahdu ollenkaan
- Kun epäpuhtauden ablaatiokynnys ylittyy, materiaalinpoisto käynnistyy ja puhdistusteho kasvaa.
- Perusmateriaalin vauriokynnyksen ylitys voi aiheuttaa sulamista, karhentumista tai mikrorakenteen muutoksia.
- Laserpuhdistuksen optimaalinen toiminta-alue sijaitsee epäpuhtauden ablaatiokynnyksen ja perusmateriaalin vauriokynnyksen välissä.

Euroopan unionin osarahoittama
ETELÄ-KARJALAN LIITTO
LAPPEENRANTA

PERUSMATERIAALIN SÄILYMINEN ON HYVÄKSYMISKRITEERI

- Puhdas pinta ei yksin osoita onnistunutta prosessia.
- Arvioi myös pinnankarheus, geometriamuutos, mikrorakenne, kovuus ja mahdollinen uudelleenhapettuminen.
- Alumiini, kupari, ohutlevyt ja tarkkuuskoneistetut pinnat vaativat erityisen hallitun lämpökuorman.
- Hyvä prosessi tuottaa riittävän puhtauden pienimmällä tarkoituksenmukaisella materiaalivaikutuksella.

Euroopan unionin osarahoittama
ETELÄ-KARJALAN LIITTO
LAPPEENRANTA

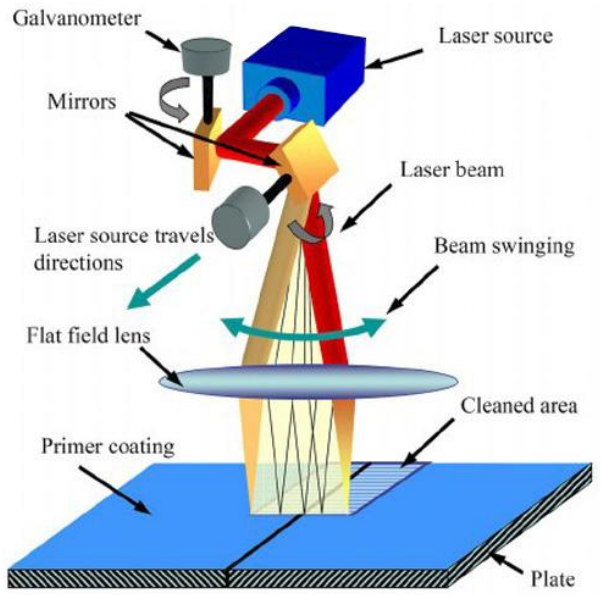
LAITTEISTO JA PARAMETRIT

Laitteisto muodostaa kokonaisuuden: laserlähde, optiikka, liike, ohjaus, suojaus ja päästöjen hallinta.

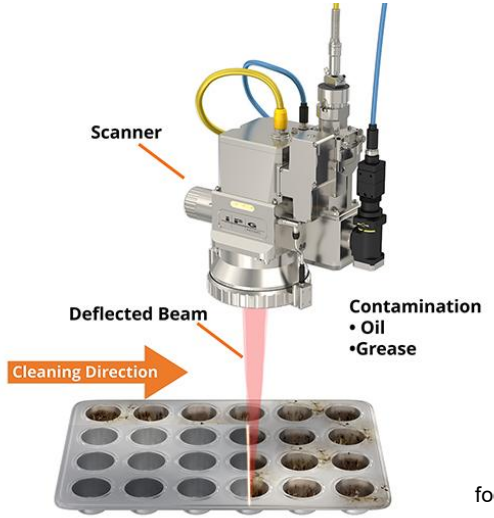
Euroopan unionin osarahoittama
ETELÄ-KARJALAN LIITTO
LAPPEENRANTA

LASERPUHDISTUSJÄRJESTELMÄN RAKENNE

- Laserlähde tuottaa prosessiin tarvittavan säteilyn ja valokuitu siirtää sen työstöpäähän.
- Skanneri ja optiikka määrittävät spot-koon, työalueen ja skannauskuvion.
- Ohjausjärjestelmä hallitsee liikeradat, turvalukitukset ja prosessidatan.
- Savunpoisto, suodatus, kotelointi ja jäähdytys ovat osa prosessia, eivät lisävarusteita.



stylecnc.com



foodengineeringmag.com

Euroopan unionin osarahoittama
ETELÄ-KARJALAN LIITTO
LAPPEENRANTA

KÄSIKÄYTTÖINEN LASERPUHDISTUSLAITE

- Käsikäyttöinen laserpuhdistusjärjestelmä muodostuu tyypillisesti laserlähteestä, jäähdytyksestä, ohjausyksiköstä, valokuidusta, käsikäyttöisestä skanneripäästä ja prosessissa syntyvien päästöjen kohdepoistosta.
- Laserlähde tuottaa jatkuvaa tai pulssitettua lasersäteilyä, joka johdetaan valokuitua pitkin puhdistuspäähän. Puhdistuspään sisäinen skannerijärjestelmä liikuttaa fokusoitua lasersädettä nopeasti määritellyn käsittelyalueen yli.
- Puhdistuspää ei tavallisesti käsittele koko työaluetta yhtenä laajana lasersäteenä, vaan pieni fokusoitu piste liikkuu pinnalla nopeasti ja muodostaa viivan, suorakulmion tai muun ohjelmoidun skannauskuvion.



- Laserlähde tuottaa puhdistukseen tarvittavan säteilyn.
- Jäähdytysjärjestelmä ylläpitää laserlähteen ja optiikan käyttölämpötilaa.
- Ohjausyksikkö määrittää tehon, pulssiparametrit ja skannauskuvion.
- Valokuitu siirtää säteilyn laserlähteeltä puhdistuspäähän.
- Skanneripää liikuttaa ja fokusoi säteen puhdistettavalle pinnalle.
- Kohdepoisto kerää prosessissa vapautuvan materiaalin.
- Turvajärjestelmä valvoo laitteen käyttöehtoja ja mahdollistaa säteilyn pysäyttämisen



Euroopan unionin osarahoittama
ETELÄ-KARJALAN LIITTO
LAPPEENRANTA

PARAMETRIEN VÄLISET PERUSYHTÄLÖT

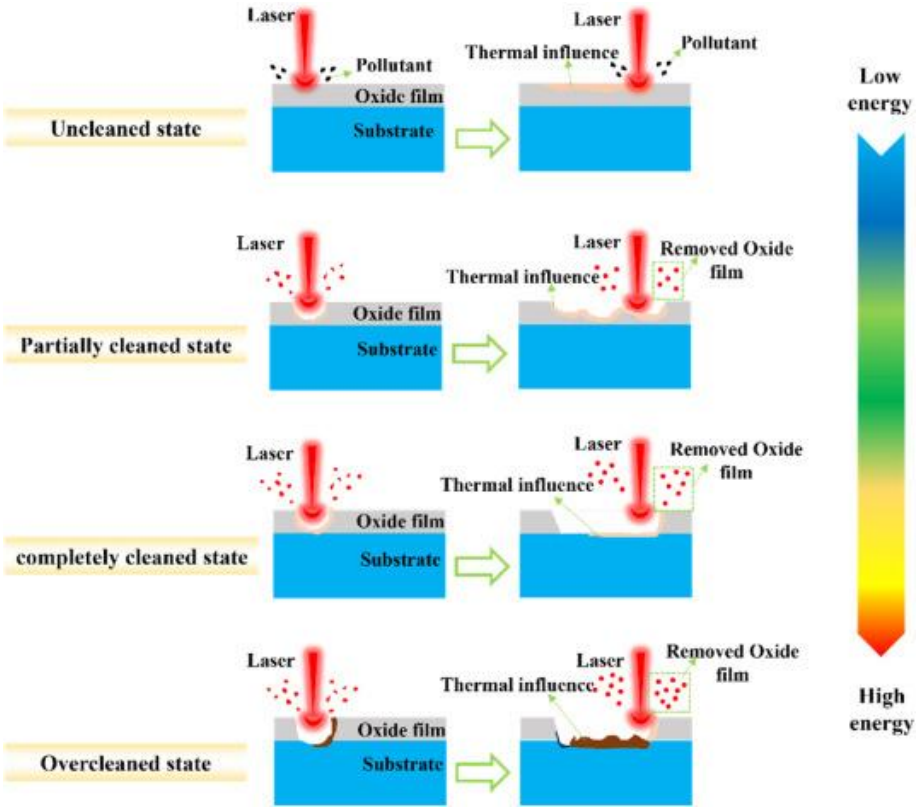
- Pulssienergia: $E_p = P_{av}g / f$.
- Fluenssi: $F = E_p / A$.
- Huipputeho: $P_{peak} \approx E_p / \tau$.
- Pulssiväli skannaussuunnassa: $d = v / f$.
- Päällekkäisyys: $O = 1 - d / D$.

Yhden asetuksen muuttaminen vaikuttaa usein useaan prosessisuureeseen samanaikaisesti.

Euroopan unionin osarahoittama
ETELÄ-KARJALAN LIITTO
LAPPEENRANTA

SPOT-KOKO JA FLUENSSI MÄÄRÄÄVÄT PAIKALLISEN ENERGIAN

- Pienempi spot-koko kasvattaa fluenssia samalla pulssienergialla, mutta pienentää kerralla käsiteltävää aluetta.
- Fokuksen sijainti, linssi, työetäisyys ja pinnan geometria muuttavat spot-kokoa.
- Fluenssin (J/cm^2) tulee ylittää epäpuhtauden poistokynnys, mutta jäätävä perusmateriaalin vauriokynnyksen alapuolelle.
- Spotin todellinen muoto ja energiajakauma kannattaa mitata tai dokumentoida.

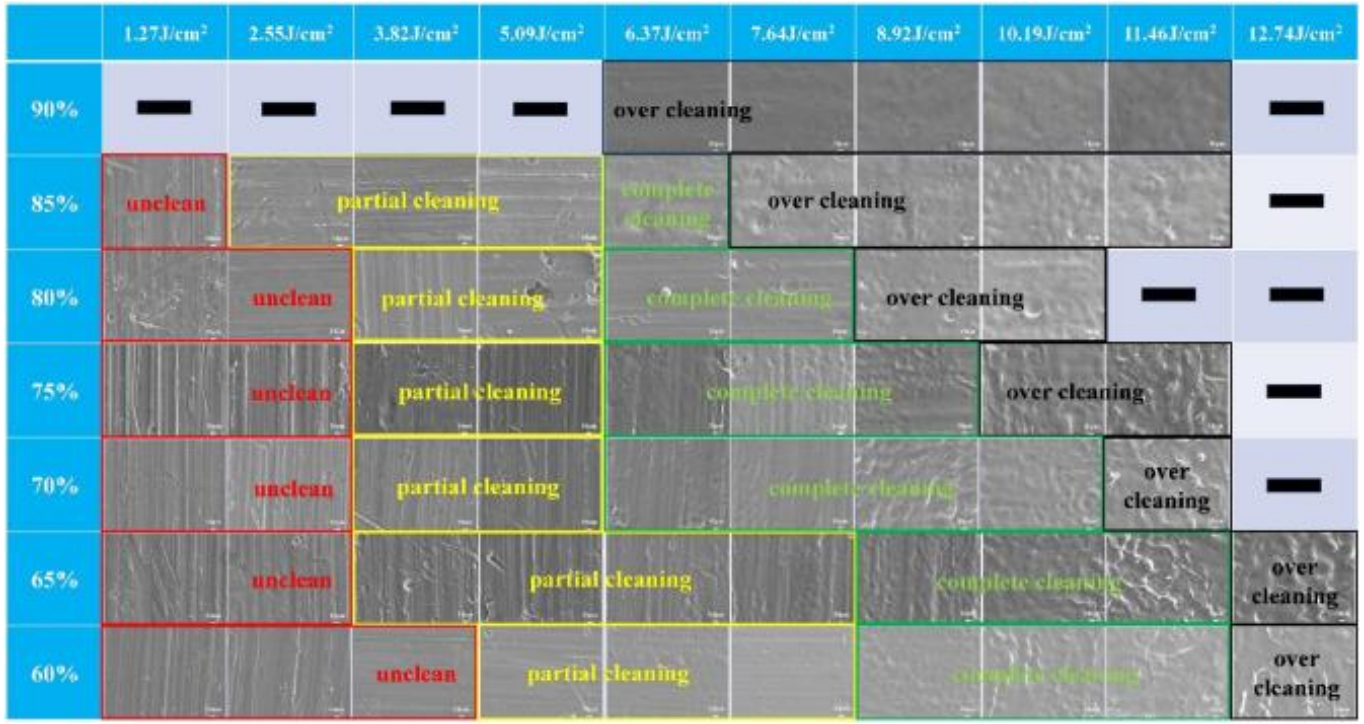


Fluenssin vaikutus esimerkki alumiinin laserpuhdistuksessa (Hu et. Al. 2026, Journal of Material Research and Technology)

Euroopan unionin osarahoittama
ETELÄ-KARJALAN LIITTO
LAPPEENRANTA

SKANNAUSNOPEUS JA PÄÄLLEKKÄISYYS OHJAAVAT LÄMPÖKERTYMÄÄ

- Hitaampi skannaus lisää pinnalle kohdistettua energiatiheyttä, mikä voi tehostaa materiaalin poistoa, mutta lisää myös lämpövaikutuksia.
- Suurimpi nopeus parantaa kapasiteettia, mutta voi jättää epäpuhtauksia pintaan.
- Pulssien ja skannausviivojen päällekkäisyys vaikuttaa puhdistuksen tasaisuuteen.
- Reunat, kulmat ja pysähdyskohdat tarvitsevat usein optimoidun liike- tai tehostrategian.



Päällekkäisyyden ja fluenssin vaikutus laserpuhdistuksessa (Hu et. Al. 2026, Journal of Material Research and Technology)

Euroopan unionin osarahoittama
ETELÄ-KARJALAN LIITTO
LAPPEENRANTA

MATERIAALIT JA SOVELLUKSET

Sama laite ei ratkaise kaikkia kohteita. Materiaali–epäpuhtaus-yhdistelmä määrittää prosessin.

Euroopan unionin osarahoittama
ETELÄ-KARJALAN LIITTO
LAPPEENRANTA

MATERIAALI-EPÄPUHTAUS

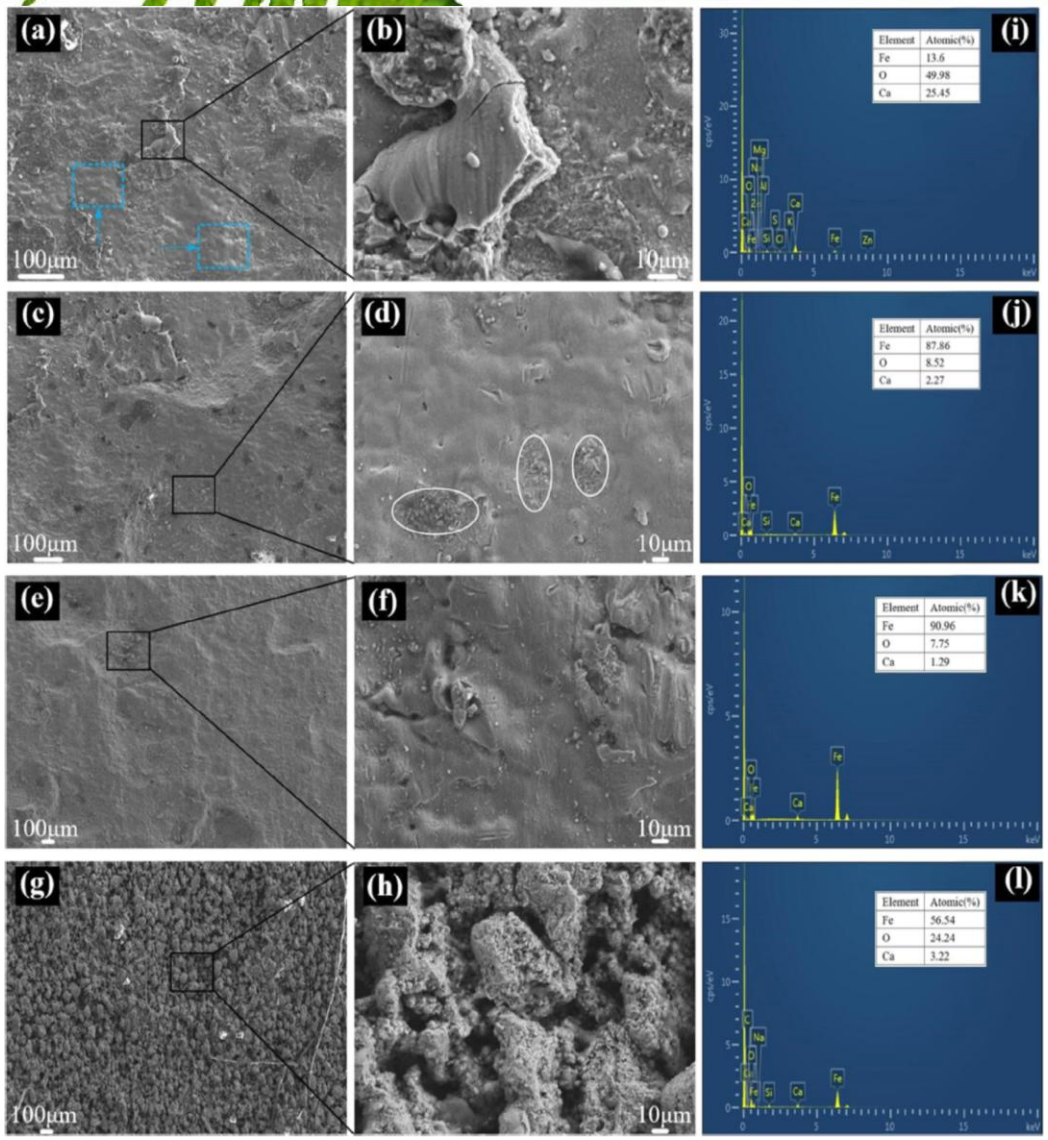
- **Rakenneteräs + ruoste**
  - Suuri poistettava määrä; kapasiteetti ja lämpökuorma korostuvat.
- **Ruostumaton teräs + oksidi**
  - Pinnan väri, karheus ja korroosio-ominaisuudet tarkistettava.
- **Alumiini + oksidi**
  - Heijastavuus ja nopea uudelleenhapettuminen vaativat hallittua prosessiketjua.
- **Kupari + oksidi**
  - Suuri heijastavuus 1 µm alueella ja sähköisen kontaktin vaatimukset huomioitava.
- **Teräs + maali**
  - Monikerroksisuus ja haitalliset hajoamistuotteet määräävät poiston ja suodatuksen.
- **Muotti + prosessijäämä**
  - Geometrian, pinnankarheuden ja käyttöiän säilyminen on keskeistä.

Euroopan unionin osarahoittama
ETELÄ-KARJALAN LIITTO
LAPPEENRANTA

RUOSTEEN POISTO

- Ruoste absorboi usein laserenergiaa tehokkaammin kuin alla oleva metallipinta.
- Paksu ja epätasainen korroosiokerros vaatii riittävän poistonopeuden sekä useita skannauskertoja.
- Arvioi jäännösoksidi, pinnankarheus ja mahdollinen sulaminen.
- Kunnossapitokohteissa saavutettavuus ja kotelointi voivat ratkaista menetelmävalinnan.

Ruosteenpoiston SEM- ja EDS-tuloksia eri fluensseilla.



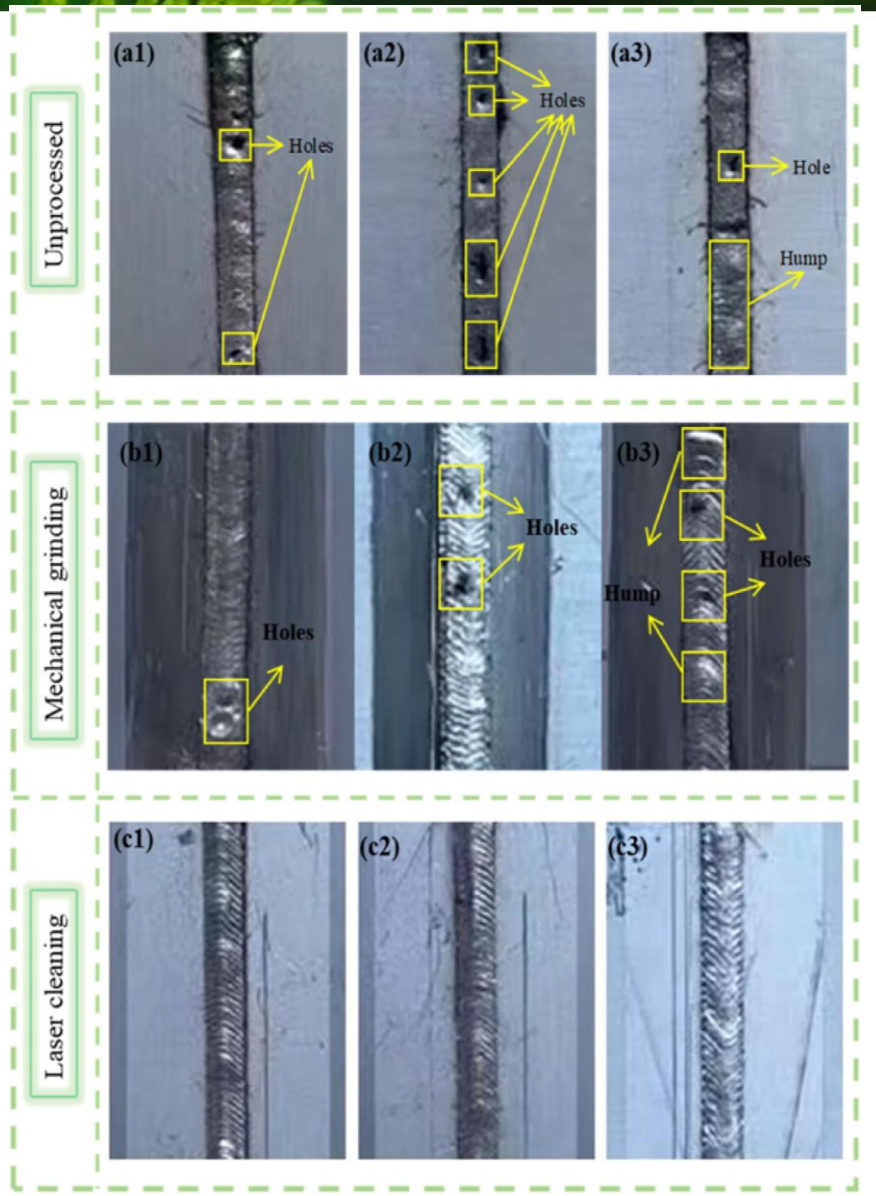
Ruosteenpoisto eri fluenssilla: a,b,i) Puhdistamaton, c,d,j) 1.19 J/cm2, e,f,k) 3.17 J/cm2, g,h,l) 4.43 J/cm2. Fang et al. (2025), Optik 331, 172354.

Euroopan unionin osarahoittama
ETELÄ-KARJALAN LIITTO
LAPPEENRANTA

OKSIDIKERROSTEN POISTO

- Oksidit voivat häiritä hitsausta, juottamista, liimausta ja pinnoitusta.
- Selektiivinen laserpulssiprosessi voi poistaa oksidia pienellä alustan lämpövaikutuksella.
- Hyväksymiskriteeri perustuu jatkoprosessin suorituskykyyn, ei pelkkään kiiltävään ulkonäköön.
- Puhdistuksen ja hitsauksen välinen aika tulee hallita uudelleenhapettumisen vuoksi.

Anodisen oksidikerroksen poiston vaikutuksia alumiini-hitsiin.



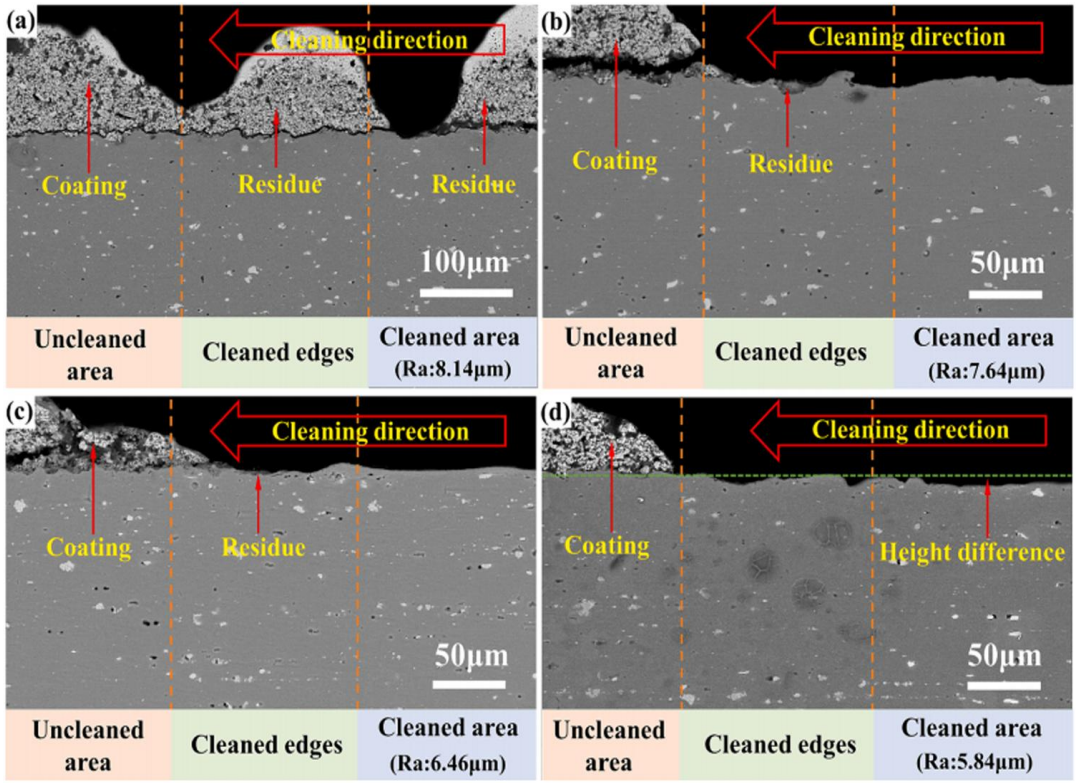
Kuva: Fang et al. (2025), Optik 331, 172354.

Euroopan unionin osarahoittama
ETELÄ-KARJALAN LIITTO
LAPPEENRANTA

MAALIN JA PINNOITTEIDEN POISTO

- Maalin väri, koostumus, paksuus ja monikerroksisuus vaikuttavat absorptioon ja poistomekanismiin.
- Liian pieni fluenssi jättää pinnoitetta, liian suuri voi vaurioittaa alustaa.
- Hajoamistuotteet voivat olla haitallisia ja määrittävät kohdepoiston sekä suodatuksen.
- Paikallinen poisto on erityisen hyödyllinen liitos-, maadoitus- ja tarkastusalueilla

Maalinpoiston tulos eri fluenssitasoilla.



Kuva: Fang et al. (2025), Optik 331, 172354.

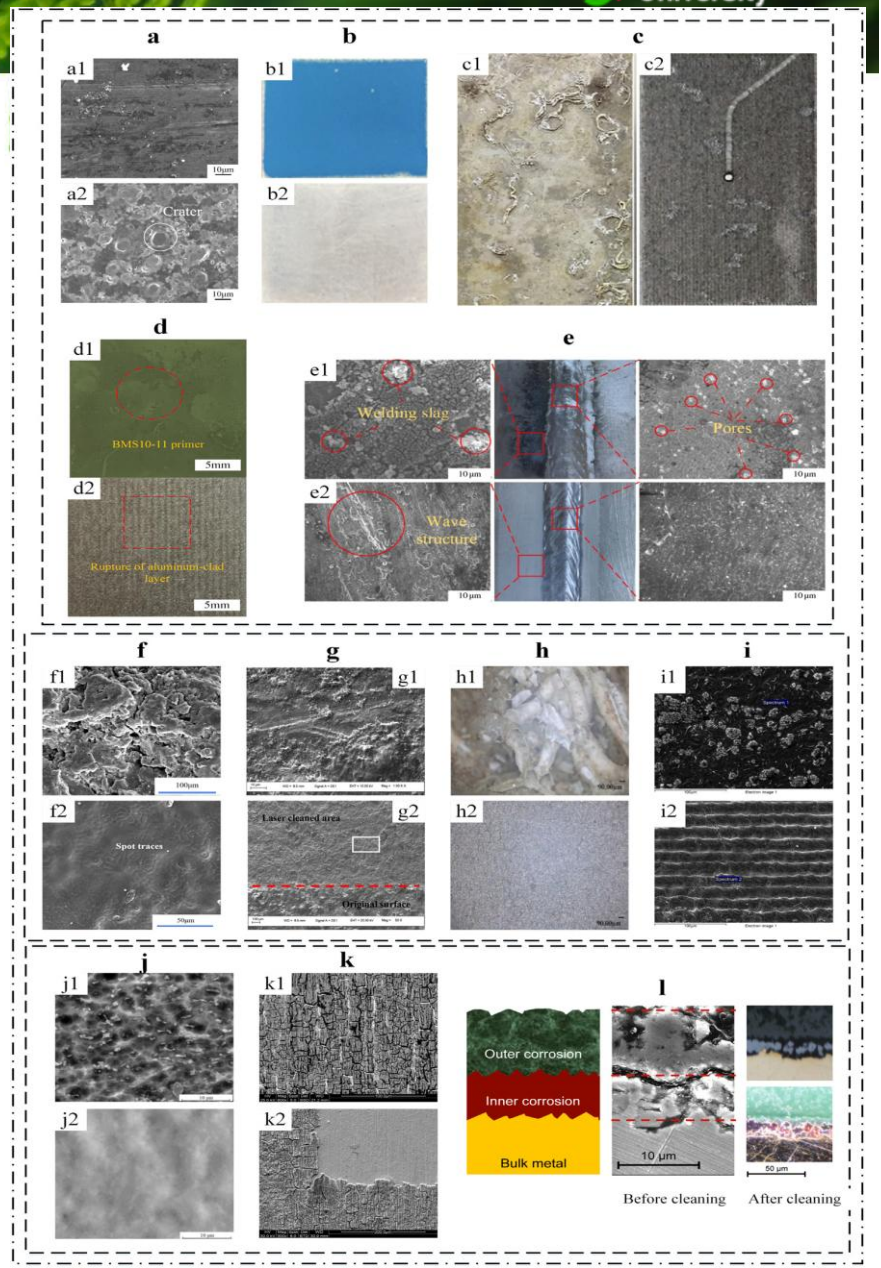
Euroopan unionin osarahoittama
ETELÄ-KARJALAN LIITTO
LAPPEENRANTA

HITSAUSPINTOJEN ESIKÄSITTELY VÄHENTÄÄ PROSESSIVAIHTELUA

- Oksidit ja orgaaniset jäämät voivat muodostaa kaasuja, huokosia ja roiskeita hitsauksen aikana.
- Puhdistus voidaan kohdistaa vain liitosalueelle ja integroida välittömästi osaksi tuotantoa ennen hitsausta.
- Vaikutus tulee todentaa hitsin huokoisuudella, tunkeumalla, mekaanisilla kokeilla ja prosessin vaihtelulla.
- Suurin taloudellinen arvo voi syntyä hylkyjen ja korjaushitsausten vähentymisestä.

Esimerkkejä laserpuhdistuksen metallisovelluksista.

***Kuva**:* (a) Alumiiniseoksen pinnan oksidikalvo: (a1) mikromorfologia ennen puhdistusta, (a2) mikromorfologia puhdistuksen jälkeen; (b) Sininen maali suurnopeusjunan akselin pinnalla: (b1) ennen puhdistusta, (b2) puhdistuksen jälkeen; (c) Alumiiniseoksen pinnan merellinen biofilmi: (c1) ennen puhdistusta, (c2) puhdistuksen jälkeen; (d) Lentokoneen verhoilun (alumiiniseos) pohjamaali: (d1) ennen puhdistusta, (d2) puhdistuksen jälkeen; (e) Alumiiniseoksen pinnan hitsauskuona: (e1) ennen puhdistusta, (e2) puhdistuksen jälkeen; (f) Matalahiilisen teräksen pinnan korroosio: (f1) ennen puhdistusta, (f2) puhdistuksen jälkeen; (g) Karsta dieselmoottorin teräsmännässä: (g1) ennen puhdistusta, (g2) puhdistuksen jälkeen; (h) Merelliset mikro-organismit AH36-teräsalustan pinnalla: (h1) ennen puhdistusta, (h2) puhdistuksen jälkeen; (i) Sulfidi kompressorin teräksisen siipipyörän lavan pinnalla: (i1) ennen puhdistusta, (i2) puhdistuksen jälkeen; (j) TA15-titaaniseoksesta valmistetun imuaukon pinnan oksidi: (j1) ennen puhdistusta, (j2) puhdistuksen jälkeen; (k) Volframilangan pinnan oksidi: (k1) ennen puhdistusta, (k2) puhdistuksen jälkeen; (l) Kuparipohjaisen seoksen pinnan oksidi.



Kuva: Zhu et al. (2022), Optics and Lasers in Engineering 157, 107130.

Euroopan unionin osarahoittama

ETELÄ-KARJALAN LIITTO

LAPPEENRANTA

PINNAN EHEYS PUHDISTUKSEN JÄLKEEN

- Visuaalisesti puhdas pinta voi silti sisältää toiminnallisesti merkittäviä lämpö- tai materiaalimuutoksia.

Pintakemia

Jäännösoksidi, hiili, uudelleenhapettuminen

Topografia

Ra/Sa, sulamisjäljet, geometria

Mikrorakenne

Raekoko, faasit, lämpövaikutus

Mekaniikka

Kovuus, jäännösjännitys, kuluminen

Toiminta

Väsymiskestävyys, korroosio, liitettävyys

Hyväksyntä perustuu sovelluksen kriittisimpään ominaisuuteen, ei vain puhdistustuloksen ulkonäköön.

Lähde: Ren et al. (2022), Coatings 12, 273; Zeng et al. (2025), Coatings 15, 916.

Euroopan unionin osarahoittama
ETELÄ-KARJALAN LIITTO
LAPPEENRANTA

PUHDISTUKSESTA PINNAN FUNKTIONALISOINTIIN

- Laser voi poistaa epäpuhtauksia ja samalla muodostaa liimausta, pinnoitusta tai kitkaa palvelevan pintarakenteen

1. Puhdistus

Poistetaan öljy, oksidi, irtohiukkaset ja prosessijäämät, jotka estävät kastumista tai muodostavat liitosvirheitä.

2. Teksturointi

Mikro- ja nanorakenne kasvattaa todellista pinta-alaa ja voi lisätä mekaanista lukittumista.

3. Toiminnallinen pinta

Pintakemia, vapaa pintaenergia, kastuvuus ja topografia optimoidaan käytettävälle liimalle tai pinnoitteelle.

Optimaalinen pinta ei aina ole mahdollisimman sileä. Hyväksymiskriteeri on jatkoprosessin suorituskyky ja toistettavuus.

Euroopan unionin osarahoittama
ETELÄ-KARJALAN LIITTO
LAPPEENRANTA

Lähde: Stribick & Alhadad (2025), International Journal of Advanced Manufacturing Technology; Laserax technical guide.

MITEN PUHTAUS MÄÄRITELLÄÄN?

- **Visuaalinen arvio**
  - Väri, yhtenäisyys, jäämät ja käsittelemättömät alueet.
- **Pinnan topografia**
  - Ra, Sa, profiili, sulamisjäljet ja geometriamuutos.
- **Koostumus**
  - Jäännösoksidi, pinnoite, hiili tai muut alkuaineet.
- **Kupari + oksidi**
  - Suuri heijastavuus 1 µm alueella ja sähköisen kontaktin vaatimukset huomioitava.
- **Teräs + maali**
  - Monikerroksisuus ja haitalliset hajoamistuotteet määräävät poiston ja suodatuksen.
- **Muotti + prosessijäämä**
  - Geometrian, pinnankarheuden ja käyttöiän säilyminen on keskeistä.

Euroopan unionin osarahoittama
ETELÄ-KARJALAN LIITTO
LAPPEENRANTA

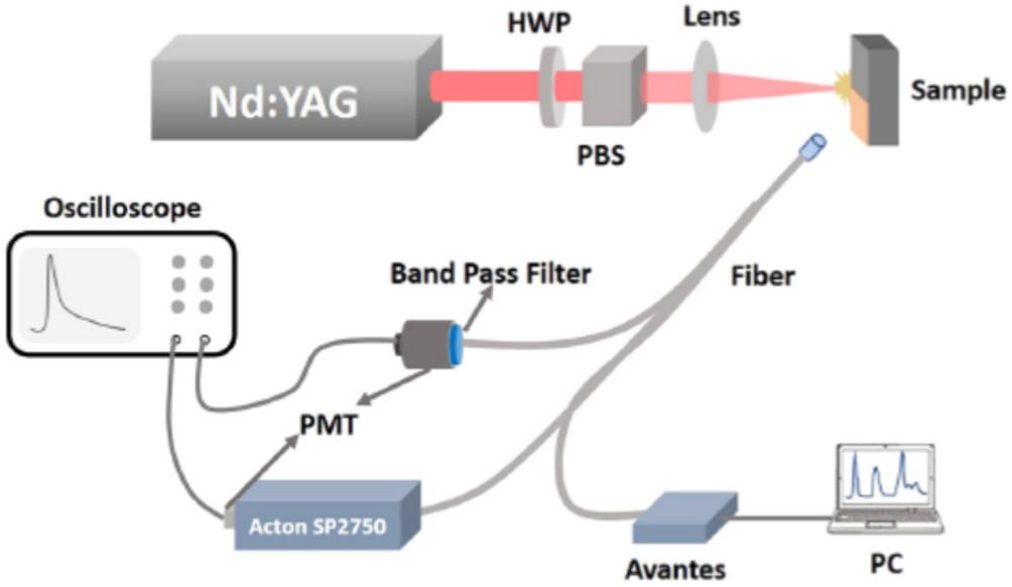
MITTAUSMENETELMÄ VALITAAN HYVÄKSYMISKRITEERIN MUKAAN

- Optinen kuvantaminen soveltuu alueiden kattavuuden ja näkyvien jäämien arviointiin.
- Profilometria ja konfokaalimittaus kuvaavat pinnankarheutta sekä paikallisia vaurioita.
- EDS, XRF, XPS tai LIBS voi osoittaa koostumuksen muutoksia eri tarkkuustasoilla.
- Kontaktikulma ja märkätestit tukevat liimauksen tai pinnoituksen pinnan arviointia.
- Lopullinen toiminnallinen koe varmistaa vaikutuksen seuraavaan prosessiin.

Euroopan unionin osarahoittama
ETELÄ-KARJALAN LIITTO
LAPPEENRANTA

LIBS (LASER-INDUCED BREAKDOWN SPECTROSCOPY) VOI TUNNISTAA PUHDISTUSTILAN REAALIAJASSA

- Laserin muodostaman plasman spektri kertoo abloituvan aineen alkuainekoostumuksesta.
- Substraatin spektrisignaalin muutos voi osoittaa, milloin oksidikerros on poistunut.
- Menetelmä mahdollistaa puutteellisen puhdistuksen ja alustan käsittelyn erottamisen toisistaan.
- Teollinen käyttö vaatii luotettavan kalibroinnin, optiikan suojauksen ja selkeät päätösrajat.



Tutkimusesimerkki LIBS-pohjaisesta puhdistustilan seurannasta.

Kuva: Li & Guan (2021), Metals 11, 790.

Euroopan unionin osarahoittama
ETELÄ-KARJALAN LIITTO
LAPPEENRANTA

SELKEÄT HYVÄKSYMYSKRITEERIT MAHDOLLISTAVAT PÄÄTÖKSENTEON

- Määritä lähtötilan vaihtelu, sallittu jäännöskerros ja alustan vauriorajat.
- Sovi mittausmenetelmät, näytemäärä ja hyväksymisrajat ennen koetta.
- Vertaa laserprosessia nykyiseen menetelmään samalla laatumittarilla.
- Dokumentoi prosessiparametrit, poikkeamat, sykliaika, päästöt ja huoltotarve.
- Hyvin suunniteltu pilotti tuottaa sekä teknisen prosessi-ikkunan että luotettavan aineiston investointi- ja käyttöönottopäätösten tueksi.

Euroopan unionin osarahoittama
ETELÄ-KARJALAN LIITTO
LAPPEENRANTA

TURVALLISUUS

Korkeatehoinen laser, heijastavat metallipinnat ja prosessihuurut edellyttävät suunniteltua suojauskonseptia.

Euroopan unionin osarahoittama
ETELÄ-KARJALAN LIITTO
LAPPEENRANTA

TURVALLISUUS PERUSTUU SUOJAUSHIERARKIAAN

- Ensisijainen ratkaisu on vaaran poistaminen tai vähentäminen suunnittelulla.
- Kotelointi, säteen pysäytys, lukitukset ja turvallinen ohjaus ovat henkilönsuojaimia tehokkaampia.
- Kulunvalvonta, työluvat, koulutus ja kunnossapito täydentävät teknisiä ratkaisuja.
- Henkilönsuojaimet muodostavat viimeisen suojakerroksen, eivät ensisijaista suojausta.
- Käsikäyttöinen laite ei tee prosessista matalariskistä.

Euroopan unionin osarahoittama
ETELÄ-KARJALAN LIITTO
LAPPEENRANTA

TURVALLISUUS PERUSTUU SUOJAUSHIERARKIAAN

- Ensisijainen ratkaisu on vaaran poistaminen tai vähentäminen suunnittelulla.
- Kotelointi, säteen pysäytys, turvalukitukset ja turvallinen ohjaus ovat henkilönsuojaimia tehokkaampia.
- Kulunvalvonta, työluvat, koulutus ja kunnossapito täydentävät teknisiä turvatoimia.
- Henkilönsuojaimet muodostavat viimeisen suojakerroksen, eivät ensisijaista suojausta.
- Käsikäyttöinen laite ei tee prosessista matalariskistä.

Euroopan unionin osarahoittama
ETELÄ-KARJALAN LIITTO
LAPPEENRANTA

KESKEISET VAARAT

- **Suora säde**
  - Vakavan silmä- ja ihovaurion riski.
- **Heijastukset**
  - Sileä metalli voi ohjata vaarallista säteilyä yllättävään suuntaan.
- **Prosessihuurut**
  - Metallioksidit, maalijäämät ja orgaaniset yhdisteet voivat muodostaa haitallisia aerosoleja.
- **Palo ja kuumat hiukkaset**
  - Energia ja poistuva materiaali voivat sytyttää palavia aineita.
- **Sähkö ja jäähdytys**
  - Suuritehoinen laite, jäähdytys ja liitännät edellyttävät turvallista asennusta.
- **Melu ja ergonomia**
  - Puhallus, poistot, skanneri ja käsikäyttö voivat aiheuttaa lisäriskejä.

Euroopan unionin osarahoittama
ETELÄ-KARJALAN LIITTO
LAPPEENRANTA

LASER EI HÄVITÄ EPÄPUHTAUTTA, VAAN MUUTTAA SEN PÄÄSTÖKSI

- Poistuva aine muodostaa hiukkasia, aerosoleja, höyryjä ja kaasumaisia yhdisteitä.
- Koostumus määräytyy perusmateriaalin, pinnoitteen, korroosiotuotteen ja orgaanisten jäämien mukaan.
- Kohdepoisto sijoitetaan lähelle syntypistettä, ilman että virtaus häiritsee prosessia.
- Suodattimien valinta, vaihto, jätehuolto ja mahdollinen paloriski suunnitellaan ainekohtaisesti.

Euroopan unionin osarahoittama
ETELÄ-KARJALAN LIITTO
LAPPEENRANTA

STANDARDIT JA EU-VAATIMUKSET MUODOSTAVAT VIITEKEHYKSEN

- ISO 11553-1:2020 käsittelee lasertyöstökoneiden turvallisuusvaatimuksia ja riskien vähentämistä.
- ISO 11553-2:2026 kohdistuu käsikäyttöisiin ja käsin ohjattaviin lasertyöstökoneisiin.
- IEC 60825-1 käsittelee lasertuotteiden luokitusta ja turvallisuusvaatimuksia.
- Direktiivi 2006/25/EY asettaa vähimmäisvaatimuksia työntekijöiden suojaamiselle keinotekoiselta optiselta säteilyltä.

Varmista aina sovellettavat standardit, kansallinen lainsäädäntö ja vaatimustenmukaisuus tapauskohtaisesti.

Euroopan unionin osarahoittama
ETELÄ-KARJALAN LIITTO
LAPPEENRANTA

MENETELMÄVERTAILU TEHDÄÄN KÄYTTÖTAPAUKSEN PERUSTEELLA

- Hiekkapuhallus on tehokas suurille pinnoille, mutta voi kuluttaa alustaa ja muodostaa paljon jätettä.
- Kemiallinen puhdistus voi soveltua monimutkaisille pinnoille, mutta vaatii kemikaali- ja jätehallintaa.
- Kuivajääpuhdistus on kontaktiton, mutta kulutusmateriaalin saatavuus ja logistiikka vaikuttavat kustannuksiin.
- Laser on vahvimmillaan paikallisessa, toistuvassa ja automatisoitavassa käsittelyssä.

Euroopan unionin osarahoittama
ETELÄ-KARJALAN LIITTO
LAPPEENRANTA

LASERPUHDISTUKSEN EDUT & RAJOITUKSET

Edut

- **Tarkka ja selektiivinen käsittely:** Laserenergia voidaan kohdistaa vain halutulle alueelle, jolloin epäpuhtauksia tai pinnoitteita voidaan poistaa ilman koko komponentin käsittelyä.
- **Kosketukseton prosessi:** Työkalu ei kosketa kappaletta, joten mekaaninen kuluminen, työkalun kulutus ja pinnan muodonmuutosten riski vähenevät.
- **Vähäinen kulutusmateriaalien tarve:** Prosessi ei yleensä tarvitse puhallusainetta, kemiallisia liuottimia tai jatkuvasti vaihdettavia puhdistusvälineitä.
- **Hyvä automatisoitavuus:** Laserpuhdistus voidaan yhdistää robotiikkaan, konenäköön, laadunvalvontaan ja valmistuslinjan muihin työvaiheisiin.
- **Hallittava ja toistettava prosessi:** Digitaalisesti määritettävät parametrit mahdollistavat puhdistuksen dokumentoinnin ja toistamisen samanlaisilla kappaleilla.

Rajoitukset

- **Korkea alkuinvestointi:** Laserlähteen lisäksi kustannuksia syntyy optiikasta, kohdepoistosta, jäähdytyksestä, turvallisuusratkaisuista ja mahdollisesta automaatiosta.
- **Vaativa turvallisuudenhallinta:** Suora ja heijastunut lasersäteily voi aiheuttaa vakavan vaaran, minkä vuoksi prosessi edellyttää riskinarviointia, säteilyn rajaamista ja koulutettua henkilöstöä.
- **Prosessipäästöjen muodostuminen:** Poistettava materiaali muuttuu hiukkasiksi, aerosoleiksi, höyryiksi ja kaasuiksi, jotka on kerättävä tarkoitukseen soveltuvalla kohdepoistolla.
- **Rajoitettu geometrinen saavutettavuus:** Lasersäde tarvitsee näköyhteyden käsiteltävään pintaan, joten syvät reiät, putkien sisäpinnat ja varjostuneet alueet voivat olla vaikeita puhdistaa.
- **Sovelluskohtainen prosessi-ikkuna:** Väärät parametrit voivat jättää pinnan puutteellisesti puhdistetuksi tai aiheuttaa sulamista, karhentumista, värimuutoksia ja mikrorakenteellisia muutoksia

Euroopan unionin osarahoittama
ETELÄ-KARJALAN LIITTO
LAPPEENRANTA

LÄHTEET

Tutkimuskirjallisuus:

- Zhu et al. (2022), Mechanism and application of laser cleaning: A review, Optics and Lasers in Engineering 157, 107130.
- Fang et al. (2025), Research progress of laser cleaning technology for industrial fields in the past decade, Optik 331, 172354.
- Zhang et al. (2023), The Fundamental Mechanisms of Laser Cleaning Technology and Its Typical Applications in Industry, Processes 11, 1445.
- Li & Guan (2021), Real-Time Monitoring of Laser Cleaning by LIBS, Metals 11, 790.
- Li et al. and related recent studies on LIBS, machine vision and acoustic monitoring of laser cleaning.
- Ji, J., Shao, G., He, Y. *et al.* The removal mechanism of surface coatings from aluminum alloys via high-power nanosecond pulsed laser interlaced cleaning. *Int J Adv Manuf Technol* 142, 1819–1831 (2026).
- Hu et al., Laser cleaning of oxide layers on A2024 aluminum alloy using a nanosecond pulsed laser: Surface morphology and mechanism analysis, Journal of
- Materials Research and Technology, Volume 42, 2026.

STANDARDIT JA OHJEISTUS

- ISO 11553-1:2020, Safety of machinery — Laser processing machines — Part 1.
- ISO 11553-2:2026, Safety requirements for hand-held or hand-operated laser processing machines.
- IEC 60825-1, Safety of laser products — equipment classification and requirements.
- Directive 2006/25/EC on artificial optical radiation.
- European Commission (2011), non-binding guide to good practice for implementing Directive 2006/25/EC.

Euroopan unionin osarahoittama

ETELÄ-KARJALAN LIITTO

LAPPEENRANTA

LÄHTEET

Teolliset teknologialähteet:

- TRUMPF, Laser cleaning and surface processing.
- IPG Photonics, Laser cleaning applications.
- RP Photonics, Laser Cleaning encyclopedia.
- Ionix.fi
- projectlaser.com.au
- laserax.com
- ipgphotonics.com/newsroom/
- p-laser.com
- accteklaser.com
- adapt-laser.com
- foodengineeringmag.com
- stylecnc.com
- Lasersonly.com

Euroopan unionin osarahoittama

ETELÄ-KARJALAN LIITTO

LAPPEENRANTA


LUT
University