

Tämä on rinnakkaistallenne. Sen viitetiedot saattavat erota alkuperäisestä /

This is a self-archived version of the original article. This version may differ from the original in pagination and typographic details.

Version: **Publisher's version**

Copyright: **© The Author(s) 2019**

Käytä viittauksessa alkuperäistä lähdettä: /
To cite this article please use the original version:

**TOIVANEN, J. ja JÄÄSKELÄINEN, E. 2019. Hitsaus osana kestävää valmistusta.
Hitsaustekniikka 71 (4), 15-17.**

Hitsaus osana kestäväää valmistusta

Jenni Toivanen ja Esa Jääskeläinen



Jokainen kestävä valinta on vastuuta yrityksen toiminnasta, verkostosta, ympäristöstä ja tulevaisuudesta. Teknologia ei yksin tee kestäväää valmistusta. Yrityksen täytyy olla sitoutunut omiin arvoihin, visioon ja strategiaan ja kehittää niin yrityksen toimintakulttuuria siinä missä jokainen työntekijä omaa osaamistaan ja näkemystään.

Tällä hetkellä suuri osa yrityksistä toteuttaa ratkaisuja, jotka tukevat kestäväää kehitystä. Yritykset panostavat isosti taloudellisiin ja ympäristöää säästäviin ratkaisuihin. Kestävä valmistus huomioi valmistettävien tuotteiden taloudellisen näkökulman ja minimoii negatiivisia ympäristövaikutuksia samalla kun suojelee energia- ja luonnon resursseja, edistää turvallisuusnäkökulmia ja tuotteen turvallisuutta. Kestävään valmistuksen teema sopii hyvin teknologiakehitykseen ja uusiin ratkaisuihin, mitä voidaan hyödyntää hitsausalalla laajasti niin liiketoiminnassa kuin ekologisten näkökulmien hyödyntämisessä.

Sana "Sustainability", mikä näkyy terminä monessa eri yhteydessä, kuvastaa kestävyytää. Kestävä valmistus ei ole enää kiva lisä imagoon, vaan jopa edellytys kannattavalle liiketoiminnalle. Kestävyys voi tulla yrityksen arvoista ja strategiasta tai lain tuomien määräysten painottamana. Isossa kuvassa teollisuus toimii hyvin suurelta osin vielä "edullisin tarjous" eli hinnan mukaisesti, mitä valintoja tehdään. Osa ostaa tuotteet sen perusteella, mikä kokee laadukkaaksi ja on tarkoitukseen toimiva. Harvempi tekee valintoja sen mukaan, mitä kestävään valmistuksen periaatteita edistävää tuotteen valmistus-

ketjussa on tapahtunut. Mikään vaihtoehto ei ole toki toisiaan poissulkeva. Kestävään valmistuksen tavoitteena voi olla esimerkiksi:

- lisätä toiminnan tehokkuutta vähentämällä kustannuksia ja hukkaa
- tavoittaa uusia asiakkaita ja lisätä kilpailuetua
- suojata ja vahvistaa tuotemerkkiä ja mainetta sekä lisätä luottamusta
- luoda liiketoiminnan pitkän aikavälin kannattavuutta ja menestystä
- vastata lainsäädännöllisiin rajoituksiin ja mahdollisuuksiin

- seurata ekologisista arvoja, esim. varmistaa luonnon energia- ja materiaaliressurssien saatavuus

Monien yritysten tuotteet, mitkä tuovat oman osuutensa kestäväan kulutukseen tai kestäväan valmistukseen, sisältävät hitsaamalla valmistettuja osia, laitteita tai muita tuotteita. Hitsaus on mukana monen uuden teknologian ratkaisuisissa, mitkä edistävät kestäväan kehityksen ratkaisuja. Hitsausta itsessään ei kuitenkaan pidetä kovinkaan ekologisen valmistusmenetelmän, mikä voi myös vääristää kokonaisuutta. Usein tarkastellaan vain yksittäistä prosessia eikä laajemmin yrityksen toimintaa, verkostoa tai vaikutuksia yhteiskunnan kestäviin ratkaisuihin. Tällä hetkellä on vielä vähän tutkittua tietoa kestävästä valmistuksesta, kun kyseessä on hitsaus. Hitsaus on useita muuttujia sisältävä valmistusmenetelmä, joten kestävää valmistusta tarkastellaan usein keskittyen yksittäisiin muuttujiin, kuten energiatehokkuuteen, hitsausroiskeisiin, materiaalin höyrystymiseen, lisäaineen kulutukseen tai hitsausparametrien vaikutukseen. Tässä täytyy myös muistaa, että yksittäisten muuttujien kohdalla vähemmän ei välttämättä ole kokonaisuudessa parempi. Hitsattu rakenne täytyy suunnitella ja valmistaa siten, että se on tarkoitukseen soveltuva ja turvallinen. Hyvin suunniteltu kokonaisuus valmistus- ja liiketoimintaketjun kaikissa vaiheissa vasta onkin kestävä.

Kestävä valmistus ei ole kuitenkaan ihan näkymätön hitsausalalla. Hitsaus on myös teema aloilla, missä koko ajan kehitetään energiatehokkaampia laitteita, luonnonvarjoja säästäviä materiaaleja ja valmistusmenetelmiä, mitkä tukevat kestävää kehitystä. Itse hitsaustyö on hyvin monessa yrityksessä suunniteltua ja turvallista sekä vähintäänkin kierrätys on huomioitu monellakin tavalla.

Usein unohtuu, että hitsaus alana käsittää monia testaus-, laatu-, ympäristö- ja turvallisuusstandardeja, mitkä ovat laajasti käytössä ja omalta osaltaan edesauttavat kestävää kehitystä. Lisäksi, usein käytetty hitsausmateriaali teräs, on maailman kiertätyin materiaali. Ehkä osaltaan hitsaavat yritykset eivät ole vielä tajunneet "keulia" niin näkyvästi omasta tekemisestään, mikä on ollut itsestään selvää jo kauemmin. Hitsausala tarvitsee siis myös näkyvyyttä, että se voi näkyä osana kestävää valmistusta ja kehitystä myös ulkopuolisten silmin.

Hitsausprosessin valinta osana kestävää hitsausta

Muutama vuosi sitten tehdyssä Trumpf:in tutkimuksessa (https://www.trumpf.com/en_INT/magazine/environmental-impacts-of-welding-methods/) vertailtiin 20 mm:n päittäisliitoksen hitsauksesta syntyvää ympä-

ristökuormitusta. Vertailussa oli mukana puikko-, MAG- ja laser-MAG prosessit ja tutkimus keskittyi laskemaan niiden vaikutuksia rehevöitymisen, happamoitumisen, haitallisen otsonin sekä kasviuoneilmiön näkökohdista. Kaikissa tapauksissa puikkohitsaus osoittautui selkeästi epäedullisimmaksi vaihtoehdoksi. Suuremmaksi ongelmaksi todettiin puikon päällysteen aiheuttamat päästöt. Vastaavasti MAG hitsauksen suurin ongelma on lisäaine. Laser-MAG prosessi todettiin kolmikosta "vähiten haitalliseksi", jossa energiankulutus nousi määräävimäksi tekijäksi kokonaiskuormituksen kannalta.

Otetaan vielä yksi esimerkki kestäväan valmistuksen tarkasteluun. Jos aloitetaan hitsauksen määritelmästä, niin kyse on osien liittämistä toisiinsa käyttämällä hyväksi lämpöä ja/tai puristusta siten, että osat muodostavat jatkuvan yhteyden. Määritelmän ulkopuolelle tosin jää pinnoitushitsaus, vaikka muuten samasta prosessista onkin kyse. Eri hitsausprosessit tarvitsevat eri määrän lämpöä eli energiaa tuon jatkuvan yhteyden muodostamiseen. Jos vertaillaan vaikka jauhekaarihitsausta ja laser-MAG hybridihitsausta, niin kuva 1 havainnollistaa "jatkuvan yhteyden" toteuttamiseen käytetyn energiamäärän eroista hitsausprosessien välillä.



Kuva 1. Vasemmalla jauhekaarella ja oikealla laser-MAG hybridiprosessilla hitsattu 8 mm:n päittäisliitos.

Liitoksen synnyttämiseen käytettävä energiamäärä on yksi tarkasteltava asia kestäväan valmistuksen teemassa. Muita kenties isompia askeleita voidaan, kun pohditaan esimerkiksi, miten tuottamatonta ja tuotteen arvoa lisäämätöntä työtä voidaan vähentää. Keskitytään tässä energiamäärään ja sen vaikutuksiin.

Liitoksen jatkuvan yhteyden muodostamiseen tarvittu energiamäärä ja sen minimointi on yksi asia, mutta toinen on energiankäytön mukanaan tuomat kerrannaisvaikutukset. Käytännössä hitsaus aiheuttaa aina tuotteeseen muodonmuutoksia. Mitä enemmän energiaa hitsaus tuo liitettäviin osiin, niin sitä suurempia niiden muodonmuutokset ovat.

Jos ajatellaan termistä leikkausta, niin leikkauspinnan laadun kuin myös osien mitatarkkuuden osalta, laser on korvannut plasma- ja kaasuleikkauksen hyvin monissa tapauksissa. Hitsauksessa tilanne on pysynyt pitkään muuttumattomana. Kaarihitsausprosessit ovat olleet valtaimenetelmä jo vuosikymmeniä. Toki siihen on syynsä, sillä laitteet ovat edullisia ja niitä on käytössä lähes kaikkialla, osaavia hitsaajia on ollut vähintäänkin kohtuullisesti saatavilla jne. Silti voi miettiä, onko syytä "pilata" mittatarkat osat

käyttämällä suuren lämmöntuonin prosesseja? Muodonmuutosten oikominen on mitä suurimmassa määrin tuottamatonta työtä, eivätkä suuret koneistusvarat edistä kestävää valmistusta.

Havainnollistetaan vielä hieman laser-MAG-hybridihitsauksen mahdollisuuksia. Käytetään arvioinnissa mm. hitsausenergian laskentaa. SSAB on lanseerannut laskentaohjelman WeldCalc, jota voidaan käyttää tässä apuna. Saman laskennan voi tehdä myös käyttäen seuraavaa perinteistä kaavaa:

$$E = \frac{\text{Hitsausvirta (A)} \times \text{Kaarijännite (V)} \times 60}{\text{Hitsausnopeus (cm/min)} \times 10000} \text{ [kJ/mm]}$$

Esimerkkinä on 6 mm teräslevy, johon tehdään päittäisliitos laser-MAG-hybridiprosessilla. Hitsausparametrit ovat seuraavat: Hitsausvirta 242 A, jännite 31 V, laserteho 7 kW ja hitsausnopeus 180 cm/min. Lisäaineeksi valitaan G3S11-tyyppin umpilanka. WeldCalc-ohjelmalla voidaan laskea MAG-prosessin hitsausenergia, 0,25 kJ/m. Laserin hitsausenergiaa WeldCalc-ohjelmalla ei voida määrittää, mutta se lasketaan kaavalla:

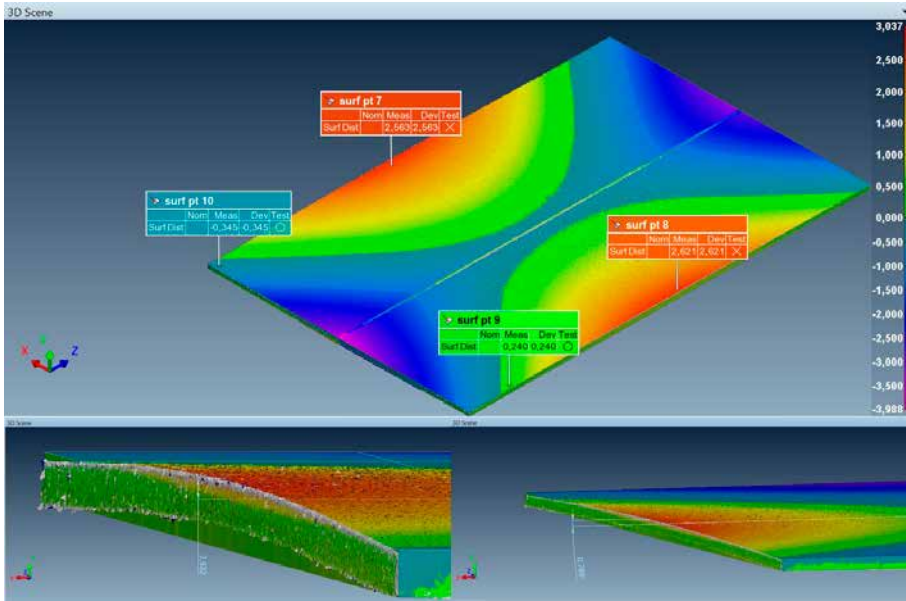
$$E = \frac{\text{Laserteho (kW)} \times 6}{\text{Hitsausnopeus (cm/min)}} \text{ [kJ/mm]}$$

Kaavasta saadaan laskettua laserin hitsausenergiaksi 0,23 kJ/mm, joten laser-MAG-prosessin yhteenlaskettu hitsausenergia on 0,48 kJ/mm.

Usein syy, miksi hitsausenergiaa joudutaan yleensä arvioimaan, laskemaan ja hitsausarvoja hyödyntäen säätämään, on liitoksen alueelle (HAZ) syntyvät metallurgiset muutokset. Esimerkiksi Strenx 960 MC -teräkselle WeldCalc-ohjelma ilmoittaa hitsausenergian rajoiksi 0,19 - 0,73 kJ/mm, kun hitsausprosessi on MAG-umpilankahitsaus. Hitsausenergian rajoitusten taustalla on siten jäähtymisaika $t_{8/5}$, joka pitää esim. Strenx 960 MC -teräksellä olla 1 - 15 s. Edellä laskettu hitsausenergia asettuu rajojen keskivaiheille, joten voidaan ainakin olettaa, että syntynyt hitsi on metallurgisesti hyväksyttävä. Asia ei tietenkään ihan näin yksinkertainen ole, mutta keskitytään nyt muodonmuutoksiin.

Mikäli ajatellaan, että vertailukelpoisten muodonmuutosten takia myös MAG-hitsaus halutaan toteuttaa samalla hitsausenergialla/palko. Tällöin suuntaa antavia hitsausarvoja voidaan lähteä arvioimaan hitsausenergian laskentakaavalla. Esimerkiksi jos hitsausnopeudeksi halutaan 40 cm/min ja hitsausvirraksi 180 A, niin kaarijännitteen on jäätävä alle 18 V. Jos koehitsauksessa todetaan, että esim. jännitettä on tarve nostaa, niin virtaa on vastaavasti laskettava jne. Muutamaan iteraatiokierrokseen jälkeen löytynee käytännössä toimivat arvot.

Sallitun hitsausenergian avulla lasketut MAG-hitsausarvot osoittavat, ettei yksi pal-



Kuva 2. Laser-MAG-hybridihitsaustestin muodonmuutokset.

ko tule riittämään. Laser-MAG-liitos hitsattiin I-railoon, mutta MAG-hitsausta varten joudutaan levyjen reunat viistämään. Muodonmuutosten kannalta paras vaihtoehto olisi X-railo, sillä hitsin poikkipinta-ala jää muita liitosmuotoja pienemmäksi ja lisäksi liitoksen paksuussuunnan symmetria vähentää muodonmuutoksia, mutta X-railo on hitsattava kahdelta puolelta ja railonvalmistus on

työlämpää. Eroksi joka tapauksessa jää monipalkohitsin useampi lämpösykli, joten kokonaislämmöntuonti ja sitä kautta muodonmuutokset muodostuvat hyvin todennäköisesti laser-MAG-hybridiprosessia suuremmiksi.

Yhteenvetona voisi todeta laser-MAG-hybridihitsausta puoltavina tekijöinä, että levyjen viistämistä ei tarvita ja hitsaus onnistuu yhdellä palolla 180 cm/min nopeudella. Mu-

donmuutokset ovat vähäisiä, sillä hitsauskoikeissa käytettyihin 600 x 190 mm levyaihoihin saatiin mittaamalla seuraavat todelliset muodonmuutokset, kuva 2.

Levyn päät nousivat hitsin kohdalta noin 2 mm ylöspäin ja reunoilta (190 mm etäisyydeltä hitsistä) noin 3 mm. Kulmavetäymää syntyi levyn päihin noin 1,5 astetta ja keskelle 2 astetta. Poikkittais- ja pituuskutistumaa ei mitattu. Lisäbonuksena voisi esiin nostaa myös käytetyn hitsausnopeuden. Mikäli MAG-hitsaus onnistuisi kahdella palolla ja hitsausnopeudella 40 cm/min, niin kaari-ai-ka olisi lähes kymmenkertainen laser-MAG prosessiin nähden.

Vastaavia MAG-koehitsauksia ei tässä yhteydessä toteutettu, mutta sellaisista kuullaan kyllä mielellämme kommentteja (etenkin, jos niissä on onnistuttu saamaan pienemmät muodonmuutokset yhdeltä puolelta hitsattuna).

Jenni Toivanen, tutkuspäällikkö
Savonia-ammattikorkeakoulu
 jenni.toivanen@savonia.fi
 ja

Esa Jääskeläinen,
koulutusvastuupäällikkö
Savonia-ammattikorkeakoulu
 esa.jaaskelainen@savonia.fi
 sekä
 www.savonia.fi ja hit.savonia.fi

BUREAU VERITAS
 TARJOAA MONIPUOLISET
HITSAUKSEN LAADUNVARMISTUS
ISO 3834 JA EN 1090
 SERTIFIOINTI- JA KOULUTUSPALVELUT



Sertifiointipalvelut:
 Joanna Westerholm
 joanna.westerholm@bureauveritas.com
 puh. 010 830 8658

Koulutuspalvelut:
 Laura Tarhonen
 laura.tarhonen@bureauveritas.com
 puh. 010 830 8678