

Nopeutta tuotekehitysprosessiin digitaalisella väsymissimuloinnilla

Arto Vento, Jarkko Laine, Antti Raskinen, Timo Björk, Essi Huttu ja Mika Siren



Nopea tuotekehitysprosessi luo yritykselle kilpailuetua. Mitä nopeammin uusia kehittyneempiä tuotteita pystytään tuomaan markkinoille, sitä paremmassa asemassa yritys on suhteessa kilpailijoihin. Modernit digitaaliset simulointityökalut voivat nopeuttaa väsymiskriittisten rakenteiden suunnittelu- ja tuotekehitysprosessia konepajateollisuudessa.

DIMECC MANU -ohjelmassa tehdyn tutkimus- ja kehitystyön tuloksena kehitettiin digitaalinen mallinnustyökalu Sandvik Mining and Construction Oy:n kaivoslastarin hitsatun puomirakenteen väsymislajuuden simulointiin.

Digitaalisen mallinnuksen avulla pystytään simuloimaan erilaisten ratkaisujen vaikutusta lopputuotteeseen. Tällaisten työkalujen merkitys on suuri erityisesti pitkän käyttöiän ja korkean toiminnallisen ja rakenteellisen luotettavuuden hitsattujen rakenteiden väsymissuunnittelussa. Väsymislajuuden osoittaminen kokeellisesti rakennetasolla on aikaa vievää ja kallista, joten luotettavilla simulointityökaluilla voidaan parhaimmillaan sekä lyhentää suunnittelu-aikaa että pienentää suunnittelukustannuksia.

Lujat teräkset tarjoavat merkittäviä etuja konepajateollisuudelle kevyempien ja kestävämpien rakenteiden kehitystyössä. Hitsattujen rakenteiden väsymislajuuteen vaikuttavien tekijöiden ymmärtäminen on kuitenkin erityisen tärkeää uusien lujien terästen kohdalla, sillä niiden käyttöön ja hitsattavuuteen liittyy myös haasteita. Jotta lujien terästen tarjoamat mahdollisuudet voidaan hyödyntää konepajateollisuudessa, tarvitaan lisää ymmärrystä näiden terästen hitsien ja niistä valmistettujen rakenteiden väsymislajuudesta.

DIMECC MANU -ohjelmassa lujien terästen käytettävyyttä sekä uusia hitsausmene-

telmiä ja hitsattujen osien väsymislajuutta tutkittiin Sandvik Mining and Constructionin kaivoskäyttöön suunnitellun lastarin puomirakenteessa. Lujan S700-rakenneteräksen, jonka myötölujuus on 700 MPa, käyttöön otuudessa puomirakenteessa mahdollistaa kevyemmän ja kestävämmän puomirakenteen, mikä vähentää huomattavasti puomin painoa ja lisää sen kuormakapasiteettia.



Kuva 1. Lastarin robottihitsattua prototyyppipuumia viimeistellään käsinhitsauksella Sandvik Mining and Constructionin Turun tehtaalla.

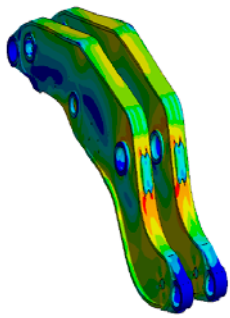
Kokonaisuudessaan puomin painoa pystyttiin vähentämään 700 kg, joka on 25 % puomin kokonaismassasta. Uusi kevyempi ja kestävämpi rakenne mahdollistaa myös suurempien painokuormien nostamisen, ja samanaikaisesti kevyempi rakenne parantaa lastarin polttoainetaloutta. Uusi puomirakenne mahdollistaa lisäksi hitsattavien osien määrän vähentämisen ja robottihitsauksen osuuden kasvattamisen puomin valmistuksessa. Nämä tekijät vaikuttavat suoraan puomin valmistuskustannuksiin.

Projektin puitteissa Sandvik valmisti kolme lastarin prototyyppipuumia täyden mittakaavan kokeisiin, kuva 1. Kaksi puomia testattiin käyttöolosuhteissa kaivoskäytössä ja Sandvikin omalla testiradalla, ja kolmas toimitettiin täyden mittakaavan laboratoriokeeseen Lappeenrannan teknillisen yliopiston Teräsrakenteiden laboratorioon.

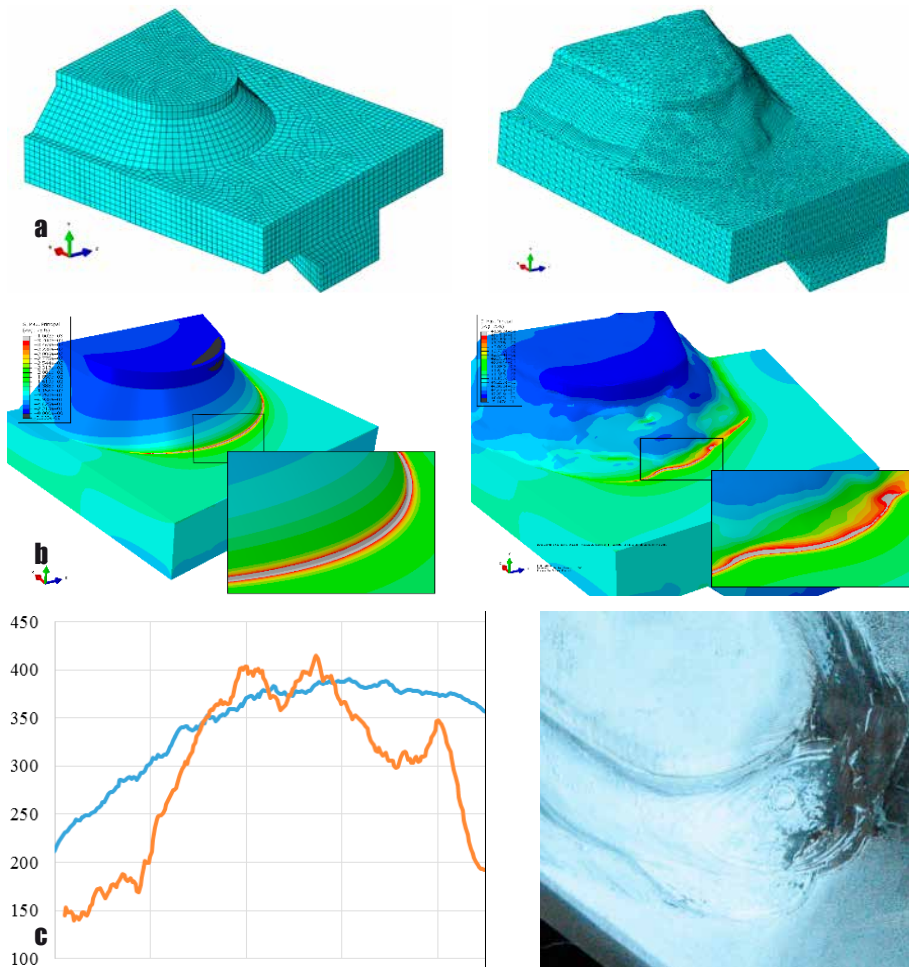
Osana uuden puomirakenteen suunnittelua kehitettiin myös digitaalinen simulointityökalu, jonka avulla lujista teräksistä hitsattujen osien väsymislajuutta voidaan analysoida. Simulointityökalu perustuu hitsin väsymislajuuden mallinnukseen. Kehitetyn puomirakenteen täyden mittakaavan väsymistestauksen yhteydessä kriittisille hitseille rakennettiin FEM-malli ja kehitettiin väsymisjärjen analyysimalli. Mallien avulla pystyttiin simuloimaan lujista teräksistä hitsattujen rakenteiden mekaanisia ominaisuuksia, ennen kaikkea väsymiskäyttäytymistä. Kehitetyn FEM-mallin ennustamat murtumakohdat ja täyden mittakaavan väsymistestauksessa todetut vaurioitumiskohdat vastasivat hyvin toisiaan, kuva 2. Tämä osoitti, että kehitetyt digitaaliset väsymislajuuden simulointityökalut toimivat ja simulointityökalujen avulla saatavat tulokset vastaavat todellisista käyttäytymistä kuormitustilanteessa.

FEM-analyseissä tyypillisesti käytettävää ideaalista hitsigeometrian jännitysjakamaa verrattiin LUTissa todelliseen mitattuun profiiliin tehollisen lovijännityksen menetelmällä (Effective Notch Stress, ENS). Analyysi tehtiin Antti Raskisen diplomityössä (Digitaalisen valmistuksen vaikutus hitsatun rakenteen väsymiskestävyyteen, LUT 2015) puomin vahvikelevyn yksityiskohdalle, kuva 3.

Kuvan 3 perusteella ideaaliselle ja todelliselle hitsin rajaviivan geometrialle määritetyt mitoittavan kohdan jännitysten (maksimijännitykset) ENS-jakaumat poikkeavat toisistaan vain vähän. Tämä johtuu siitä, että ENS-menetelmässä fiktiivinen hitsin rajaviivan pyö-



Kuva 2. Prototyypipuomin FE-mallilla simuloidut jännitykset väsytyksessä (vas.) ja puomin täyden mittakaavan väsytyksokijärjestely LUT Teräsrakenteiden laboratoriossa (oik.).



Kuva 3. Rakennedetaljin (a) ideaaliseen (vas.) ja todelliseen (oik.) hitsigeometriaan perustuva FE-malli, (b) vastaavat ENS-jakaumat ja (c) hitsin rajaviivan ENS-jakauma (sininen = ideaali, oranssi = mitattu) ja rakennedetaljin mitattu 3D-malli.

ristys $r = 1$ mm on määrävä tekijä, jolloin muilla geometrisillä tekijöillä ei ole niin suurta vaikutusta. Tulos on tärkeä ajatellen jatkokehitystyötä paikallisen geometrian huomioiduksi aiempaa tarkemmin ja tätä kautta analyysien tarkkuuden parantamiseksi.

Johtopäätökset

Modernit digitaaliset mallinnus- ja simulointityökalut, kuten kehitetty väsymislujuuden

simulointimenetelmä, tarjoavat mahdollisuuden lyhentää tuotekehityksen läpimenoaikaa. Mallinnus- ja simulointityökalujen avulla voidaan digitaalisesti testata erilaisten ratkaisujen toimivuutta lopputuotteessa jo ennen prototyyppien valmistamista. Lisäksi mallinnustyökalujen avulla voidaan päästä osittain tai jopa kokonaan eroon paljon aikaa ja resursseja kuluttavista täydenmittakaavan rasituskokeista. Tämä mahdollistaa nopeammat tuotekehityssykliä ja uusien tuoteminaisuuksien nopean testaamisen. Tuotekehitysprosessin nopeus ja uudet tuote-

minaisuudet puolestaa lisäävät suomalaisen konepajateollisuuden kilpailukykyä kansainvälisillä markkinoilla.

Väsymislujuuteen vaikuttavien tekijöiden ja mekanismien ymmärtäminen ja niiden mallintaminen on erityisen tärkeää lujien terästen käyttöönoton ja kevyempien konerakenteiden mahdollistamiseksi. Polttoainekustannusten nousun ja lisääntyneen ympäristötietoisuuden vuoksi työkaluvalmistajat pyrkivät kehittämään entistä kevyempiä koneita. Uudet lujat teräslaadut mahdollistavat osaltaan näiden tavoitteiden saavuttamisen. Lujat teräkset asettavat kuitenkin haasteita myös hitsausprosesseille. Jotta lujien terästen mahdollisuudet voidaan hyödyntää konepajateollisuudessa, tarvitaan digitaalisia työkaluja hitsattujen rakenteiden suunnitteluun ja niiden kuormituskäyttämisen, esimerkiksi väsymislujuuden mallintamiseen.

Yhteenveto

Digitaaliset väsymislujuuden simulointityökalut tarjoavat mahdollisuuden nopeuttaa merkittävästi yritysten tuotekehityssykliä, samalla säästämällä rahaa ja nopeuttamalla uusien tuotteiden lanseeraamista markkinoille. Lisäksi simulointi- ja mallinnustyökalujen avulla eri tuotevariaatioita voidaan analysoida digitaalisesti tuotekehitysprosessin aikana. Tämä mahdollistaa uusien entistä parempien tuoteminaisuuksien kehittämisen nopeammin ja kustannustehokkaammin. Kehitetyt työkalut tulevat jatkossa hyödyntämään Sandvikin tuotekehitysprosessissa.

DIMECC MANU -ohjelmassa kehitettyjen mallinnustyökalujen keskeisimmät hyödyt voidaan mitata ennen kaikkea lyhentyneenä tuotekehitysaikana ja tarkempuna suunnitteluna. Kuten puomirakenteen esimerkiksi osoittaa, digitaalisten työkalujen avulla tehtävä tarkempi suunnittelu mahdollistaa materiaali- ja kustannussäästöt tuotteen valmistusvaiheessa. Lisäksi tarkemmalla suunnittelulla voidaan vaikuttaa tuotteen elinkaarikustannuksiin. Esimerkiksi uusi kevyempi puomirakenne vähentää koneen polttoainekustannuksia tai toisaalta parantaa koneen käyttöikänsä huomattavasti. Digitaalisten suunnittelutyökalujen avulla pystytään parempaan hitsattujen osien väsymislujuuden suunnitteluun, mikä näkyy parempina ja kestävimpinä lopputuotteina. Kestävämmät tuotteet mahdollistavat lopputuotteen turvallisen ja keskeytymättömän käytön ja pienentävät tuotteen elinkaarikustannuksia entisestään.

Arto Vento ja Jarkko Laine, Sandvik Mining and Construction Oy
Antti Raskinen ja Timo Björk, LUT Teräsrakenteiden laboratorio
Essi Huttu, Dimecc Oy
Mika Sirén, VTT Oy