

Kuva 1. ISA-projektin rakenne, osaamiset ja tavoitteet.

Kehittyneiden erikoislujien terästen tutkimus- ja kehitystyö Oulun yliopistossa

TEKSTI: ANTTI KAIJALAINEN, RENATA LATYPOVA, HENRI TERVO, TIMO KAUPPI

Tässä artikkelissa esitellään loppuvaiheessa oleva kolmivuotinen Business Finlandin rahoittama hanke ”Intelligent Steel Applications” (ISA) ja sen keskeiset tulokset. Hankkeen rakenne, siinä mukana olevat yritykset ja tutkimuslaitokset on esitetty kuvassa 1. Hankkeessa on partnereina yrityksiä, joilla on jo nyt erittäin vahva oma erikoisosaaminen ja joista osa on toiminut pitkään kansainvälisillä markkinoilla. ISA on tarkasti fokuoitu hanke, jonka tutkimukselliset teemat liittyvät erikoislujien terästen väsymiseen, käyttöön vaativissa olosuhteissa sekä tekoälyn ja koneoppimisen hyödyntämiseen niin nykyisessä kuin uudessakin liiketoiminnassa tai markkinatilanteissa. Kestävä kehitys on tärkeässä roolissa ja partnerit näkevät sen oleellisena osana tulevaisuuden liiketoimintaa (kuvat 1 ja 2). Hankkeessa

mukana olevien yritysten kokemusta hyödynnetään seuraavilla tavoilla:

- a) pk-yritykset saavat yhteistyöstä uusimman osaamisen käyttöönsä jo projektin alussa (kuva 2)
- a) pk-yritykset saavat yhteistyöstä ja kokemuksen vaihdosta huomattavaa kilpailuetua kansainvälisille markkinoille
- a) tutkimustulokset ovat heti hyödynnettävissä ja tutkimuslaitoksista saadaan asiantuntija-apua toimiville yrityksille. Yhteistyö vahvistaa arvoketjua: tutkimuslaitokset → teräksenvalmistajat → konepajat → loppukäyttäjät.

Hanke on jaettu kolmeen työpakettiin (WP = Work Package): Open Innovation Arena (WP1), Speed Up Time to Market Process (WP2) ja New Markets and Products (WP3). Hankebudjetti on kokonaisuudessaan 17 miljoonaa euroa ja vahva yhteistyö

teollisuuden ja tutkimuslaitosten kanssa on avainasemassa.

Oulun yliopistossa Materiaali- ja kone-tekniikan tutkimusyksikössä ISA-hankkeen teräskemian tavoitteena on teräsoasaamiseen sekä mallinnukseen ja simulointiin perustuvien menetelmien käyttöönotto siten, että se mahdollistaa uusien terästuotteiden ja koneiden ketterän kehittämisen kestäväällä tavalla. Perusajatuksena on nopeuttaa tuotekehitysprosessia, kehittää tuotteita, parantaa niiden suorituskykyä ja niihin liittyviä palveluita siten, että valmistus on ympäristöystävällistä ja ne vähentävät hiilidioksidipäästöjä. Päästöjen pienentäminen perustuu yksinkertaisesti lopputuotteen painon keventämiseen. Tämä aikaansaadaan erikoislujilla teräksillä, hyvällä suunnittelulla, kerralla valmis -periaatteen noudattamisella ja moderneja työkaluja hyödyntämällä. Näillä



Kuva 2. Projektin toimintaperiaate ja partnerien rooli strategianäkökulmasta.

toimenpiteillä tullaan saavuttamaan merkittävä CO₂ - päästöjen pieneneminen tuotteen elinkaaren aikana. Hankkeen kantava voima on veturiyritysten (SSAB ja Wärtsilä) teknologiaosaaminen, jota siirretään osaksi pk-yritysten tietotaitoa ja kasvutavoitteita. Oulun yliopiston Materiaali- ja konetekniikan tutkimusyksikö (MME) tukee hankkeessa tätä muutosta ja tuo hankkeeseen siinä tarvittavan teräsosaamisen. MME:n osuus on puolestaan jaettu kolmeen työpakettiin, joista terästudkimus keskittyy työpaketti nro 3:een (WP3) eli uusien markkinoiden ja terästen innovoimiseen yhteistyössä teollisuuden kanssa:

- WP1, Open Innovation Arena
 - terästen käytettävyydata
- JuliaFem-ohjelman kehitys
 - työkalupakki teknisen osaamisen siirtoon veturiyrityksiltä pk-yrityksille
- WP2, Speed-up Time to Market Process
 - alusta materiaalimalleille
 - ilmiöpohjaisten materiaalimallien kehittäminen
- WP3, New Markets and Products
 - SSAB erikoislujat teräkset
 - erikoislujat teräkset vaativiin korroosioympäristöihin
 - erikoislujiin terästen käyttäytymisen erikoissovelluksissa
 - kehittyneet erikoislujat teräkset autoteollisuuden sovelluksissa
- Wärtsilä ja GBW -yhteistyö
 - väsymistestausympäristön rakentaminen
 - väsymisen teoria

- kehittyneet mallit

Okavo-yhteistyö

- kehittyneiden erikoislujiin terästen väsymiskestävyys

Jotta Suomessa valmistetuista uusista suojaus-, kulutus- ja rakenneteräksistä saataisiin kaikki hyöty irti lopputuotteiden ominaisuuksien optimoinnissa, ei pelkkien puolivalmisteiden (esim. levyt, rainat ja putket) ominaisuuksien tunteminen riitä kuin harvoissa tapauksissa. Tämän vuoksi suunnittelussa ja valmistuksessa tarvitaan tietoa materiaalin käyttäytymisestä konepajavalmistuksessa. Oleellista suunnittelutietoa on materiaalin valmistuksen jälkeinen prosessointi. Lopputuotteen ominaisuudet määräytyvät valmistuksessa käytetyistä prosesseista ja niiden parametreista. Näiden valmistusparametrien optimointiin konepajat tarvitsevat uutta tutkimustietoa. Tämän vuoksi tarvitaan teräksen perusmateriaalin datan lisäksi tietoa mm. mikrorakenteesta ja sulkeumapuhauksesta. Oulun yliopistossa terästudkimus keskittyy mikrorakenteiden karakterisointiin sekä mekaanisten ominaisuuksien tutkimiseen ja näiden tutkimustulosten avulla voidaan selvittää valmistusparametrien vaikutusta terästen käytettävyyteen.

Oulun yliopisto on julkaissut hankkeen aikana syntyneitä tutkimustuloksia useissa tieteellisissä artikkeleissa, kansainvälisissä konferensseissa ja pinnäytetöissä. Business Finlandin tutkimusrahoitus on mahdollistanut Oulussa väitöstyötutkimuksen tekemisen kahdeksalle tutkijalle, joista yksi on valmistu-

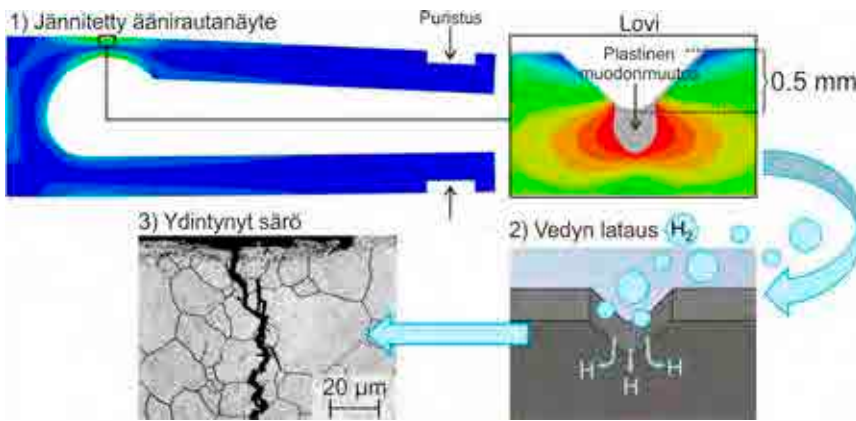
nut vuoden 2021 aikana ja kolme valmistuu vuoden 2022 aikana. Määrällisesti tieteellisiä artikkeleita on valmistunut 14 kpl tähän mennessä, tutkimustulosten analysointia tehdään edelleen ja myös tulosten hyödyntäminen on jo aloitettu, vaikka hanke päättyykin vasta vuoden 2022 lopussa. Seuraavissa kappaleissa on esitelty kahta ISA-hankkeeseen liittyvää tutkimusta: vetyhauraus lujissa teräksissä ja lujien offshore-terästen hitsattavuuden kehittäminen.

Vetyhauraus lujissa teräksissä

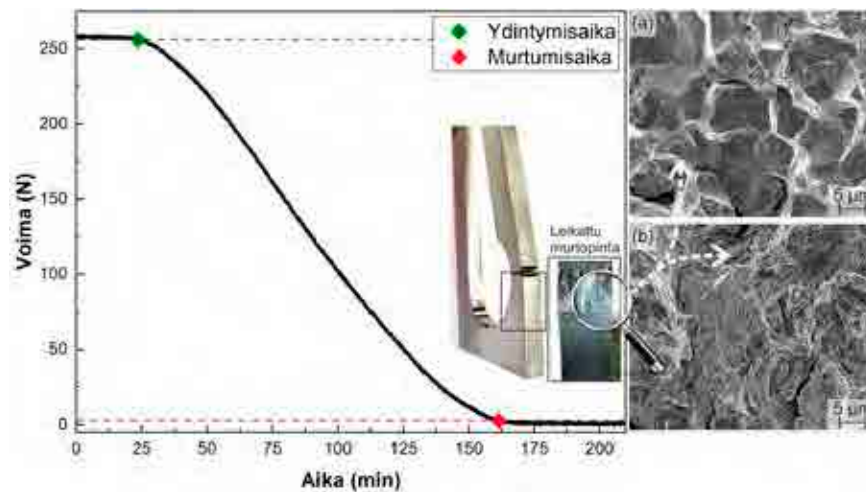
Teräksen vetyhauraus on monimutkainen ilmiö, missä vaurion syntymiseen tarvitaan kolme samanaikaisesti vaikuttavaa tekijää: vetyhauraudelle altis teräs, vetojännitystilä ja vetyä sisältävä ympäristö. Teräksen voi päästä vetyä jo valmistusvaiheessa, hitsauksen yhteydessä tai käyttöympäristöstä. Vety on välisija-atomi ja liikkuu teräksessä diffuusion avulla kerääntyen nk. vetyloukkuihin (engl. hydrogen trap). Atomaarinen vety liikkuu herkästi alueille, missä on vetojännitystilä. Kriittisen vetypitoisuuden ylittyessä syntyy riski rakenteen äkilliseen murtumiseen, joka voi pahimmillaan johtaa katastrofaalisiin vaurioihin. Vetyhauraus voi toimia myös osatekijänä muissa teräksen murtumista edistävissä ilmiöissä, kuten jännityskorroosiossa. Mitä korkeampia teräksen lujuus ja kovuus ovat, sitä alttiimpi se on vetyhauraudelle. Teräksen vetyhaurauskestävyyteen vaikuttavat monet tekijät kuten seostus, mikrorakenne, valmistusreitti, ympäristö ja jännitystilä. Toistaiseksi lujien terästen laajempaa käyttöä rajoittavat vetyhaurauteen liittyvät riskit, mistä syystä mikrorakenteen tutkiminen ja optimointi on erityisen tärkeää. [1,2]

Oulun yliopistossa on kehitetty uusi testimenetelmä vetyhaurauden tutkimiseen. Tämä "Tuning-fork test" ("äänirautakoe") perustuu tekniikkaan, jonka avulla yhdistetään vetojännitystilä ja vety-ympäristö. [3-5] Lovettujen äänirautanäytteiden jalkoja puristetaan yhteen puristimella, jossa on voima-anturi. Näin saadaan aikaan hallitusti vetojännitystilä loven pohjalle. Kiristyksen jälkeen näytteeseen ladataan sähkökemiallisesti vetyä. Jännityksen ja vedyn ansiosta loven pohjalle ydintyy särö, joka etenee näytteen läpi aiheuttaen murtuman. Periaatekuva äänirautanäytteestä ja testin vaiheista on esitetty kuvassa 3. Suurin jännitys syntyy punaiselle alueelle.

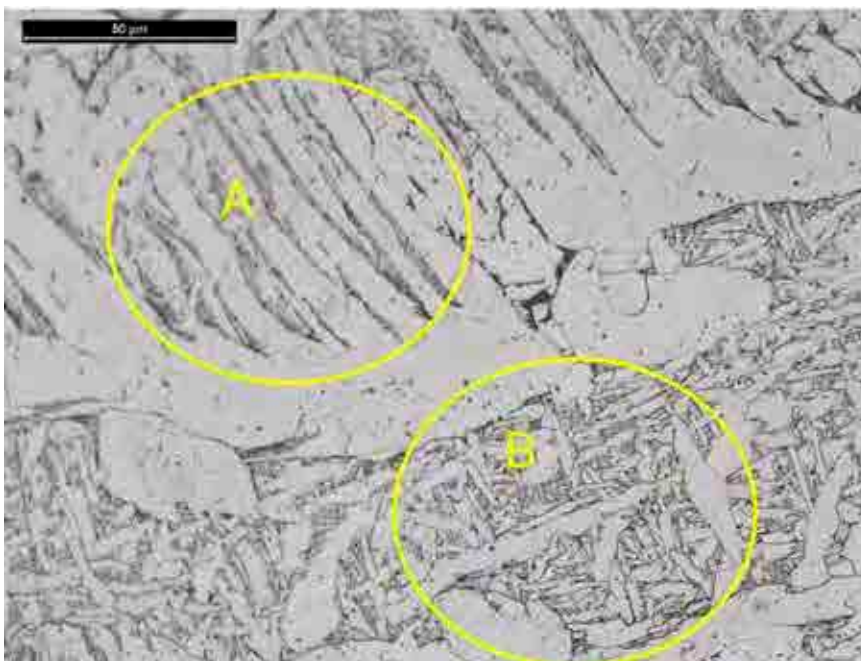
Särön etenemistä seurataan voima-anturin avulla. Anturin datasta voidaan määrittää särön ydintymis-, etenemis- ja murtumisaika sekä särön keskimääräinen etenemisnopeus.



Kuva 3. Äänirautakokeen vaiheet.



Kuva 4. Voima-anturidata ja murtuneen ääniraudan murtopinnat (a, b).



Kuva 5. Austeniitin hajaantuessa syntyvän ferriitin eri morfologioita hitsiaineessa A) Widmanstättien-ferriittiä ja B) asikulaarista ferriittiä.

Lopullisen murtumisen jälkeen murtopinnat analysoidaan makro- ja mikroskooppisesti murtumismekanismin selvittämiseksi. Kuvassa 4 nähdään esimerkki voima-anturin rekisteröimästä tiedosta ja kahdesta erilaisesta murtopinnasta, joissa näkyy raerajamurtuma (kuva 4a) sekä rakeiden läpi etenevä murtuma (kuva 4b). Menetelmää hyödyntäen voidaan tehdä myös keskeytettyjä kokeita, missä voima-arvoja seuraamalla koe keskeytetään heti, kun särö on ydintynyt. Tällä tavalla loven pohjalle saadaan tarkasti pieni särö, jonka ydintymis- ja etenemismekanismeja on mahdollista tutkia erilaisilla mikroskoopeilla, esim. valo-, laser- tai pyyhkäiselektronimikroskoopilla.

Lujien kulutusterästen mikrorakenteen vaikutusta, etenkin perinnäisen austeniitin (PAG) morfologian roolia vetyhaurausalttiudessa, on tutkittu äänirautakokeilla. Perinnäisen austeniitin raemuoto voi olla tasa-akiaalinen tai venynyt/pannukakkumainen riippuen teräksen valmistustavasta. Muodon lisäksi raekoko voi olla erilainen. Tulokset ovat osoittaneet, että tasa-akiaalinen raerakenne johtaa herkästi raerajamurtumaan ja venyessä raerakenteessa säröt etenevät rakeiden läpi, mikä viittaa parempaan vedynkestävyyteen.

[1] J. Venezuela, Q. Liu, M. Zhang, Q. Zhou, A. Atrens, A review of hydrogen embrittlement of martensitic advanced high-strength steels, *Corros. Rev.* 34 (2016) 153–186.

[2] Y. Momotani, A. Shibata, T. Yonemura, Y. Bai, N. Tsuji, Effect of initial dislocation density on hydrogen accumulation behavior in martensitic steel, *Scr. Mater.* 178 (2020) 318–323.

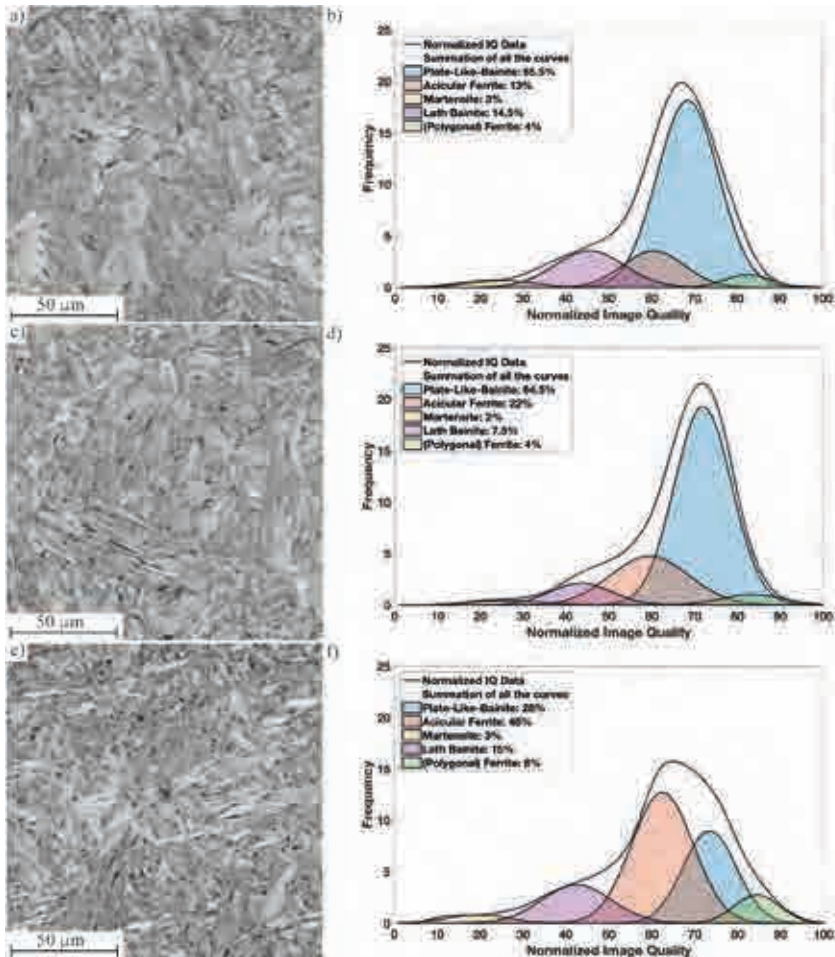
[3] R. Latypova, T. Kauppi, S. Mehtonen, H. Hänninen, D. Porter, J. Kömi, Novel stress corrosion testing method for high-strength steels, *Mater. Corros.* 70 (2019) 521–528.

[4] R. Latypova, T.T. Nyo, T. Kauppi, S. Pallaspuuro, S. Mehtonen, H. Hänninen, J. Kömi, Hydrogen-induced stress corrosion cracking studied by the novel tuning-fork test method, *Mater. Corros.* 71 (2020) 1629–1636.

[5] R. Latypova, O. Seppälä, T.T. Nyo, T. Kauppi, S. Pallaspuuro, S. Mehtonen, H. Hänninen, J. Kömi, Hydrogen-induced cracking of 500 HBW steels studied using a novel tuning-fork test with integrated loadcell system, *Corrosion.* 76 (2020) 954–966.

Lujien offshore-terästen hitsattavuuden kehittäminen

Öljynporauksen sekä muiden offshore-sovellusten yleistymisen pohjoisilla merialueilla lisää kysyntää teräksille, jotka täyttävät ankarissa olosuhteissa tämän teollisuussektorin



Kuva 6. EBSD-mikrorakennekuva ja IQ-faasiosuusanalyysi CGHAZ:ssa jäähtymisajalla $t_{8/5} = 64$ s Al-tiivistetyssä referenssiteräksessä (Ref) (a, b) sekä Ti-tiivistetyissä koeteräksissä Tihigh (c, d) ja Tilow (e, f).

standardien ja normien tiukat vaatimukset sekä teräksen perusaineessa että hitsauksessa syntyneessä muutosvyöhykkeessä (HAZ). Perusaineessa vaadittavat ominaisuudet saavutetaan termomekaanisesti kontrolloidulla kuumavälisäusprosessilla (TMCP), jolla aikaansaatu hienorakeinen mikrorakenne takaa teräkselle erinomaiset lujuus- ja sitkeysominaisuudet. Sen sijaan hitsauksessa, perusaineeseen syntyvällä muutosvyöhykkeellä sularajan vieressä mikrorakenne muuttuu, koska lämpötila nousee niin korkeaksi, että teräs austenoituu ja mm. raekoko pääsee kasvamaan siinä yhteydessä. Tämän seurauksena erityisesti teräksen iskutuskeus laskee huomattavasti muun muassa niin kutsutussa karkearakeisessa muutosvyöhykkeessä (CGHAZ).

Austeniitin hajaantuessa muodostuvan ferriitin morfologia vaikuttaa teräksen ominaisuuksiin. Austeniittirakeiden sisälle syntyvä asikulaarinen ferriitti parantaa sitkeyttä,

sillä sen hieno ja epä säännöllinen rakenne (kuva 5) tarjoaa lukitusmekanismien estämään halkeamien etenemistä. Hitsiaineen mikrorakenteeseen halutaan saada asikulaarista ferriittiä juuri tästä syystä. Käytännössä austeniittisena jähmettyneessä hitsissä on sopivasti esim. oksidisia sulkeumia, jotka toimivat asikulaarisen ferriitin ydintymispaikkoina.

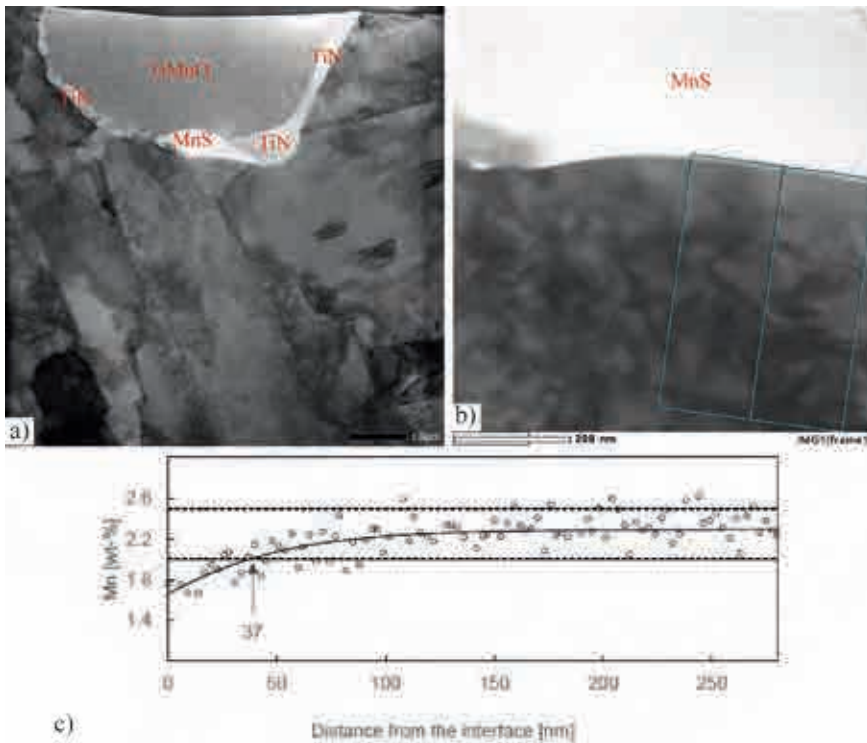
Asikulaarisen ferriitin muodostuminen muutosvyöhykkeeseen on monimutkaisempaa kuin hitsiaineeseen ja siihen vaikuttavat useat tekijät kuten teräksen koostumus, perinnäisen austeniitin raekoko (PAGS), jäähtymisnopeus hitsauksen jälkeen erityisesti välillä 800-500 °C ($t_{8/5}$) sekä teräksessä olevien epämetallisten sulkeumien koostumus, määrä ja koko.

ISA-hankkeessa tehdyn väitöstyötutkimuksen tavoitteena oli selvittää eri tekijöiden vaikutusta asikulaarisen ferriitin muodostumiseen hitsiliitoksen muutosvyöhykkeessä

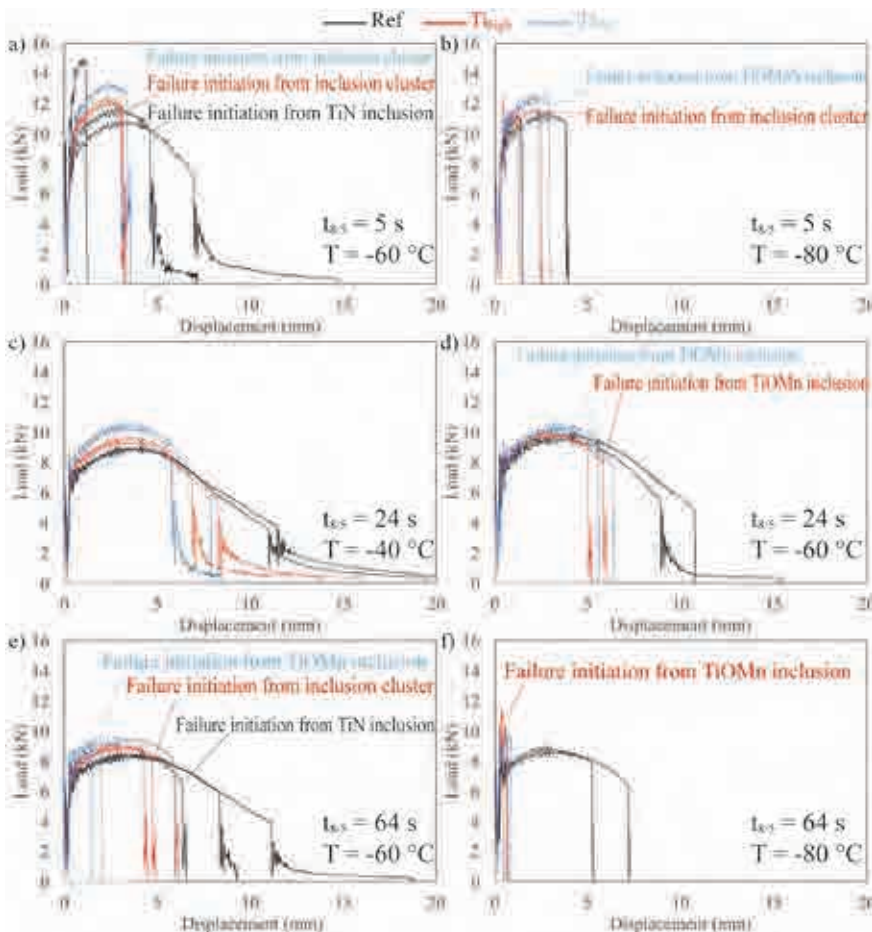
sekä sen ja muiden tekijöiden vaikutusta muutosvyöhykkeen iskutuskeyteen.

Materiaalit ja tutkimusmenetelmät. Väitöstyössä tutkittiin Ti-tiivistettyjä teräksiä, joiden hitsausta simuloitiin eri $t_{8/5}$ jäähtymisnopeuksilla. Ti-tiivistyksen seurauksena mikrorakenteeseen muodostuu TiO- ja MnTiO-sulkeumia perinteisen Al-tiivistyksen tuottamien Al₂O₃-sulkeumien sijaan. Asikulaarisen ferriitin tiedetään ydintyvän tietyn tyyppiin sulkeumiin, joista potentiaalisimpia ovat juuri TiO- ja MnTiO-sulkeumat. Koeteräksöt olivat laboratoriosulatuksia, joista yksi oli perinteinen Al-tiivistetty referenssiteräs ja kaksi muuta Ti-tiivistettyjä teräksiä. Terästen hitsauksessa syntyy lämpösykliä simuloitiin Gleeble-laitteistolla, jolla pystyttiin varioimaan tarkasti $t_{8/5}$ - aikaa. Simuloituista näytteistä karakterisoitiin mikrorakennetta sekä teräksessä olevia epämetallisia sulkeumia. Karakterisoinnissa käytettiin pyyhkäisyelektronimikroskopiaa (SEM) sekä siihen yhdistettyjä EDS- ja EBSD-lisäosia. EBSD:n keräämän tiedon analysoinnissa hyödynnettiin MATLAB-pohjaisia analyysiritiineja perinnäisen austeniitin raekoon sekä mikrorakenteen eri faasien osuuksien määrittämisessä. Sulkeumat luokiteltiin EDS:llä saadusta datasta niin ikään MATLAB-pohjaisen Terästudkimuskeskuksessa (CASR) kehitetyn sovelluksen avulla. Lisäksi tutkimuksessa käytettiin läpivalaisuelektronimikroskopiaa (TEM) ja termodynaamista ThermoCalc-ohjelmaa mangaanipitoisuuden muutoksen määrittämiseen ja mallintamiseen teräksessä MnTiO-sulkeumien ympärillä muutosvyöhykkeellä. Gleeblellä simuloitujen näytteiden iskutuskeus testattiin instrumentoidulla Charpy-V iskukokeella. Instrumentoitu testi antaa lisätietoa iskutuskeusenergian jakautumisesta murtumisen eri vaiheisiin perinteiseen standardin SFS-EN ISO 148-1 vaatimusten mukaiseen testiin verrattuna.

Tulokset. Asikulaarista ferriittiä (AF) saatiin muodostumaan simuloitulle karkearakeiselle muutosvyöhykkeelle (CGHAZ), kun perinnäisen austeniitin raekoko oli riittävän suuri ja kun sulkeumien koko ja koostumus olivat optimaalisia. Näin oli erityisesti toisessa Ti-tiivistetyssä koeteräksessä, jossa pääosa sulkeumista oli halkaisijaltaan alle 3 µm:n kokoisia ja koostumukseltaan tyyppiä MnO-TiO_x-MnS(+TiN) tai MnO-TiO_x(+TiN). Mahdollisesti TiN-partikkelien pienempi määrä kyseisessä teräksessä kasvatti myös perinnäisen austeniitin raekokoa, sillä TiN-erkaumien tiedetään rajoittavan austeniitin rakeenkasvua lämpösykliä aikana. Lisäksi asikulaarisen ferriitin osuuden to-



Kuva 7. TEM-kuva tyypillisestä sulkeumasta Ti-tiivistetyn koeteräksen Ti6Al4V CGHAZ:ssa jäähtymisajalla $t_{8/5} = 24$ s (a). Lähikuva alueesta, josta Mn-pitoisuus mitattiin (b). Mitattu Mn-pitoisuus sekä katkoviivoilla rajattu alue, joka kuvaa mitattujen pisteiden keskiarvon keskihajontaa > 200 nm sulkeuman ja matriisin rajapinnasta (c).



dettiin kasvavan jäähtymisnopeuden hidastuessa siten, että suurimmalla $t_{8/5}$ -ajalla 64 s (eli hitaimmalla jäähtymisnopeudella) sen osuus muilta osin optimaalisimmalla koeteräksellä oli 46% (kuva 6).

Mangaanipitoisuuden todettiin pienevän teräsmatriisissa $\text{MnO-TiO}_x(+\text{MnS})$ -tyyppisen sulkeuman välittömässä läheisyydessä. Tämä puolestaan nosti paikallisesti ferriitin muodostumislämpötilaa, mikä edesauttaa asikulaarisen ferriitin ydintymistä sulkeumiin tavallisemman ydintymiskohdan eli raerajan sijaan. Tämä ilmiö varmistettiin TEM:llä ja simuloitiin onnistuneesti myös ThermoCalc-ohjelmalla (kuva 7).

Iskusitkeyden testauksessa koettiin yllätys, sillä oletuksena oli se, että asikulaarisen ferriitin suurempi osuus mikrorakenteessa parantaa iskusitkeyttä. Tulokset kuitenkin osoittivat, että paras iskusitkeys kaikissa testauslämpötiloissa (-40 °C, -60 °C ja -80 °C) ja kaikilla $t_{8/5}$ -jäähtymisajoilla (5 s, 24 s ja 64 s) saavutettiin Al-tiivistetyssä referenssimateriaalissa, josta ei löydetty joko lainkaan tai ainakaan merkittäviä määriä asikulaarista ferriittiä (kuva 8).

Testitulosten näytettyä tältä oli tietysti tärkeää tutkia syitä tähän ilmiöön eli miksi asikulaarinen ferriitti ei parantanutkaan iskusitkeyttä. Jo aiemmin tutkittujen mikrorakenteiden ja sulkeumien lisäksi keskityttiin tutkimaan myös koeterästen erkaumarakennetta, jäännösausteniittipitoisuutta sekä kovuutta, joka korreloi tyypillisesti lujuuden kanssa. Teräksen lujuuden nousulla tiedetään yleisesti olevan sitkeyttä heikentävä vaikutus. Lopputulemana päädyttiin siihen, että useat tekijät Ti-tiivistetyissä koeteräksissä heikensivät iskusitkeyttä Al-tiivistettyyn koeteräseen verrattuna enemmän kuin korkeampi AF-pitoisuus nosti sitä. Tällaisia tekijöitä olivat muuan muassa suuri perinnäisen austeniitin raekoko, suurempi määrä sitkeydelle haitallisia suuria sulkeumia, suurempi jäännösausteniittipitoisuus sekä marginaalisesti korkeampi kovuus/lujuus. Lisäksi on mah-

Kuva 8. Instrumentoidulla CVN-testillä saadut kuormitus-siirtymäkäyrät simuloiduista CGHAZ:ista jäähtymisajalla $t_{8/5} = 5$ s testattuna -60 °C:ssa (a) ja -80 °C:ssa (b); $t_{8/5} = 24$ s -40 °C:ssa (c) ja -60 °C:ssa (d); $t_{8/5} = 64$ s -60 °C:ssa (e) ja -80 °C:ssa (f).

dollista tai jopa todennäköistä, että tässä tutkimuksessa saavutettu korkeintaan AF-pitoisuus mikrorakenteessa ei ole riittävä nostamaan iskusitkeyttä. Muutosvyöhykkeessä olleen asikulaarisen ferriitin morfologia ei myöskään välttämättä ollut optimaalinen iskusitkeyden kannalta, sillä AF-säleet jäivät suhteellisen lyhyiksi ja leveiksi.

Lähteet:

H. Tervo, A. Kaijalainen, V. Javaheri, S. Kolli, T. Alatarvas, S. Anttila, J. Kömi, Characterization of coarse-grained heat-affected zones in Al- and Ti-deoxidized offshore steels, *Metals* (Basel), 2020, 10, 1096, doi:10.3390/met10081096.

H. Tervo, A. Kaijalainen, V. Javaheri, M. Ali, T. Alatarvas, M. Mehtonen, S. Anttila, J. Kömi, Comparison of impact toughness in simulated coarse-grained heat-affected zone of Al- and Ti-deoxidized offshore steels, to be published (2021).

KIRJOITTAJIEN CV:t



Antti Kaijalainen työskentelee Oulun yliopistossa Materiaali- ja konetekniikan yksikössä UHSS Usability -tiimin vetäjänä. Vuonna 2016 valmistuneessa väitöstyössä aiheena oli ”Suorasammutettujen suurlujuusterästen mikrorakenteen vaikutus mekaanisiin ominaisuuksiin ja särnävyöhykkeeseen”. Hän on ollut kirjoittajana 80:ssä lujien rakenneterästen mikrorakenteeseen ja muokkaukseen liittyvässä kansainvälisessä tieteellisessä artikkelissa. Tällä hetkellä mielenkiinnon kohteena on terästutkimuksen kehittäminen ja entistä lujempien terästen käytettävyys painonsäästöä edellyttävissä kohteissa.



Henri Tervo työskentelee tutkijana Oulun yliopiston Materiaali- ja konetekniikan yksikössä UHSS Usability -tiimissä. Vuonna 2014 valmistunut diplomityö käsiteli sulkeumien vaikutusta ultralujien terästen mekaanisiin ominaisuuksiin. Nykyinen väitöstutkimus liittyy pääasiassa edelleen sulkeumien vaikutukseen ultralujissa teräksissä sekä lisäksi lujien offshore-terästen hitsattavuuteen. Tutkimuksen tuloksia on julkaistu kansainvälisissä vertaisarvioituissa tieteellisissä artikkeleissa sekä konferensseissa. Väitöstyö aiheesta valmistuu vuonna 2022.



Renata Latypova on tohtorikoulutettavana Oulun yliopiston Materiaali- ja konetekniikan yksikössä, UHSS Usability -tiimissä. Hän valmistui diplomi-insinööriksi vuonna 2018 ja aloitti väitöstyön heti valmistumisen jälkeen. Diplomityön aiheena oli uuden ”Tuning-fork test” menetelmän kehitys ja työn tulokset julkaistiin nippuväitöskirjan ensimmäisessä artikkelissa. Testimenetelmän kehitys on jatkunut väitöstutkimuksessa, jonka lisäksi aiheena on lujien terästen perinnäisen austeniitin morfologian vaikutus vedynkestävyyteen. Väitöstyö valmistuu vuonna 2022.