

Metallurginen tutkimus Oulun yliopistossa

TEKSTI: **TIMO FABRITIUS, VILLE-VALTTERI VISURI, EETU-PEKKA HEIKKINEN**
PROSESSIMETALLURGIAN TUTKIMUSYKSIKKÖ, OULUN YLIOPISTO
JUKKA KÖMI, JARI LARKIOLA, OLLI NOUSIAINEN
MATERIAALI- JA KONETEKNIIKAN TUTKIMUSYKSIKKÖ, OULUN YLIOPISTO
ULLA LASSI, PEKKA TYNJÄLÄ
KESTÄVÄN KEMIAN TUTKIMUSYKSIKKÖ, OULUN YLIOPISTO
KUVAT: **EETU-PEKKA HEIKKINEN, VILLE-VALTTERI VISURI JA ULLA LASSI**

1 Johdanto

Metallurgista tutkimusta tehdään Oulun yliopistossa useissa eri tutkimusyksiköissä liittyen niin terästen kuin värimetallienkin valmistukseen. Yksi Oulun yliopiston strategisista tutkimusteemoista on terästudkimus, jonka painopisteinä ovat kehittyneet teräkset, niiden ominaisuudet ja valmistus sekä prosessimallinnus. Terästeollisuuden kanssa tehtävää tutkimusta koordinoi Terästudkimuskeskus, joka tunnetaan englanninkielisellä nimellä Centre for Advanced Steels Research (CASR). Terästudkimuskeskuksen muodostavien yksiköiden tutkimustoiminta kattaa laaja-alaisesti terästeollisuuteen liittyvän mallinnuksen (valmistusprosessit, tuoteominaisuudet ja niiden käytettävyys), säädön ja automaation (datan käsittely, analysointi ja optimointi), kiertotalouden, palveluiden tuotteistamisen sekä johtamisen. Hydrometallurgisesta kemian tutkimuksesta vastaa pääasiassa kestävä kemian tutkimusyksikkö, jolla on tiivistä yhteistyötä erityisesti Kokkolan alueen värimetalliteollisuuden kanssa.

2 Toiminnan laajuus

Oulun yliopiston metallurgiaan liittyvistä oppituoista ensimmäisenä perustettiin metalliopin professuuri jo vuonna 1963. Metalliopin professoreina ovat toimineet Markku Mannerkoski, Tapani Moisio, Pentti Karjalainen, David Porter sekä vuodesta 2016 lähtien professori Jukka Kömi. Prosessimetallurgian professuuri perustettiin vuonna 1991 ja tätä tehtävää ovat hoitaneet professori Jouko Härkki sekä vuodesta 2010 lähtien professori Timo Fabritius. Soveltavan kemian ja prosessikemian professuuri perustettiin vuonna 2006 Kokkolan teollisuusalueen yritysten lahjoitusvaroin. Kyseessä oli uusi tutkimusavaus Oulun yliopistossa ja professuuria on alusta alkaen hoitanut tehtävään valittu prosessori Ulla Lassi. Kaikki edellä mainitut professuurit

ovat nykyään osa Oulun yliopiston teknillistä tiedekuntaa.

Julkisen tutkimusrahoituksen viime vuosien haasteista huolimatta tutkimusyksiköiden julkaisumäärät ovat kasvaneet vuosi vuodelta. Yksi syy tähän on se, että hankkeet on toteutettu pääsääntöisesti isoissa projekteissa yhteistyössä metallinjalostusteollisuuden sekä alan muiden tutkimuslaitosten kanssa. Taulukossa 1 on esitetty yksiköissä tuotetut tohtorintutkinnot sekä kansainväliset julkaisut tieteellisissä aikakauslehdissä ja konferenssikirjoissa. Tutkimusyksiköiden organisatorisen kyvykkyyden muodostaa henkilöstörakenne, joka kattaa tasaisesti ne-liportaisen tutkijanuran eri vaiheissa olevia tutkijoita sekä opetustehtävissä toimivia yliopistonopettajia ja lehtoreita. (ks. taulukko 2). Huomionarvoista on myös se, että nykyisen käytännön mukaisesti tutkimusyksiköt voivat sisältää useampia professoreita. Professorien rekrytoinnissa on siirrytty enenevässä määrin tenure-menettelyyn.

3 Tutkimusmenetelmät

Prosessimetallurgian kokeellinen tutkimus keskittyy oksidisten materiaalien ja pelkistimien korkealämpötilakäyttäytymiseen sekä teräksen valmistusprosessien ilmiöpohjaiseen mallinnukseen. Prosessimetallurgian kentässä tärkeimpiä mallinnumenetelmiä ovat reaktiokinetiikan matemaattinen mallinnus, numeerinen virtauslaskenta ja laskennallinen termodynamiikka. Yksikössä on käytössä laajasti eri korkealämpötilailmiöiden tutkimista varten kehitettyjä globaalistikin uniikkeja tutkimuslaitteistoja, kuten masuunisimulaattori. Lisäksi käytössä on aikarajoitettu Raman-analysaattori kuumien kohteiden on-line analytiikkaan sekä mikroaaltotekniikkaan perustuva korkealämpötilainen esikäsitteily-yksikkö.

Kestävä kemian tutkimusyksikössä tehtävä hydrometallurginen kokeellinen ja laskennallinen kemian tutkimus painottuu

epäorgaaniseen materiaalikemiaan, erityisesti liuotukseen ja kemialliseen saostukseen liittyvien ilmiöiden syvälliseen ymmärtämiseen värimetalliteollisuudessa. Yksikön tutkimuksessa keskeisiä tutkimuslaitteita ovat (jatkuvat) liuotus- ja saostusreaktorit sekä materiaalien karakterisointiin soveltuvat Oulun MNT-tutkimuskeskuksen tarjoamat laiteresurssit.

Materiaalitekniikan tutkimus keskittyy fysikaaliseen simulointiin, mikrorakenteiden karakterisointiin ja mallinnukseen. Mallinnus ja simulaatio muodostavat keskeisen tutkimusmenetelmän tarkasteltaessa metallurgisissa prosesseissa tapahtuvia kemiallisia reaktioita, faasimuutoksia ja siirtoilmiöitä. Materiaalitekniikassa fysikaalinen simulointi (Gleeble) ja termodynaamiset laskentaohjelmat antavat lähtökohdan mikrorakenteen ennustamiseen liittyviin malleihin. Malleissa hyödynnetään mm. Cellular automata- (CA) ja FE-laskentaa. Prosessi- ja laboratoriomittakaavan kokeilla validoitujen mallien avulla voidaan tarkastella kustannustehokkaasti ilmiöitä, joista on kokeellisesti vaikeaa tai kallista saada suoraa mittaustietoa, sekä optimoida metallurgisten prosessien toimintaa.

Terästudkimuskeskuksen tutkimuskäytössä on kansainvälisestikin merkittävä tutkimusinfrastruktuuri. Uusien ultralujien terästen kehittämisessä keskuksessa on fysikaalisen simuloinnin tarpeisiin Gleeble 3800 -kuumamuokkaussimulaattori sekä laboratoriovalssain, joka mahdollistaa myös koevalssausten suorasammutuksen. Terästen mikrorakenteiden karakterisointiin on käytössä kaksi FE-SEM- elektronimikroskooppia, varustettuna EDS- ja EBSD -detektorilla, joka mahdollistaa mm. terästen kideorientaatioiden ja raerajatyypien kategorioimisen (mikrotekstuuri). Terästen makrotekstuuriin ja mm. faasiosuuksien määrittämiseen (Rietveld-analyysi) Terästudkimuskeskus sai vuonna 2015 fokusoi-

Taulukko 1. Kestävän kemian, Materiaali- ja konetekniikan sekä Prosessimetallurgian tutkimusyksiköiden tuottamat tohtorintutkinnot sekä kansainväliset julkaisut vuosina 2015-2018.

	2015		2016		2017		2018	
	Tohtorintutkinnot	Julkaisut	Tohtorintutkinnot	Julkaisut	Tohtorintutkinnot	Julkaisut	Tohtorintutkinnot	Julkaisut
Kestävä kemia	5	25	8	34	3	26	1	27
Materiaali- ja konetekniikka	0	34	2	43	0	40	2	61
Prosessimetallurgia	3	27	3	27	2	35	3	26
Yhteensä	8	86	13	104	5	101	6	114

Taulukko 2. Kestävän kemian, Materiaali- ja konetekniikan sekä Prosessimetallurgian tutkimusyksiköiden henkilöstö vuonna 2018.

	Kestävä kemia	Materiaali- ja konetekniikka	Prosessimetallurgia	Yhteensä
Henkilöstö	34	59	27	120
Professorit	3	5	3	11
Tutkijatohtorit ja yliopistotutkijat	11	3	10	24
Tohtorikoulutettavat	12	26	9	47
Yliopisto-opettajat ja yliopistonlehtorit	7	12	2	21
Muu henkilöstö	1	13	3	17

valla röntgenoptiikalla ja pyörivällä Co- ja Cu -anodilla toimivan Rigaku SmartLab -röntgendiffraktometrin. Tämä on mahdollistanut erittäin korkealaatuisen datan tuottamisen suhteellisen nopeasti konventionaaliin XRD -laitteisiin verrattuna. Lisäksi laitteisto mahdollistaa korkealämpötilanmittaukset aina 1100 °C lämpötilaan asti sekä nk. ”in-plane” -mittaukset.

4 Tutkimuksen painopisteet

Yksiköt ovat keskittyneet valikoidusti omien aihealueidensa tärkeimpien ilmiöiden tutkimiseen. Yksiköiden tutkimukselliset fokusalueet on esitetty kuvassa 4.

4.1 Pyrometallurgian tutkimus

Prosessimetallurgian tutkimusyksikön tutkimus keskittyy pyrometallurgisiin valmistusprosesseihin sekä näissä prosesseissa esiintyviin materiaaleihin (raaka-aineet, tuotteet, jätteet, rakennemateriaalit) ja niiden ympäristövaikutuksiin. Uutena kehittävänä ja laajentuvana tutkimusalueena ovat viime vuosina nousseet esille uudet mittaus- ja käsittelymenetelmät metallurgiassa. Yksikön tekemä tutkimus voidaankin jakaa neljään fokusalueeseen:

1) Pelkistimet ja pelkistysmetallurgia

Pelkistysmetallurgia tutkii muun muassa masuunin ja uppokaariuunin syötemateriaalien optimaalista koostumusta ja käyttöä. Pelkistykseen tarvitaan pääasiassa hiilipohjaisia pelkistimiä, joiden ominaisuuksia tutkitaan ja kehitetään. Uutena tutkimusteemana on vetyperäinen pelkistys.

2) Primääri- ja sekundäärimetallurgia

Primääri- ja sekundäärimetallurgian yksiköprosesseilla pyritään valmistamaan sulaa metallia, jonka kemiallinen koostumus, puhtaus ja lämpötila vastaavat käytetyn valuprosessin ja haluttujen tuoteominaisuuksien asettamia vaatimuksia. Oulussa tutkimusta on tehty erityisesti valokaariuuneihin, konverttereihin ja senkkakäsittelyihin liittyen. Nytemmin painopistealueisiin lukeutuvat myös jatkuvaluu ja sulkeuma-metallurgia.

3) Kierrätys ja kestävä metallurgiset prosessit

Kierrätys ja kestävä raaka-aineet luovat mahdollisuuden pienentää metallurgisen teollisuuden ympäristöjalanjälkeä. Prosessimetallurgian tutkimusyksikössä tutkitaan

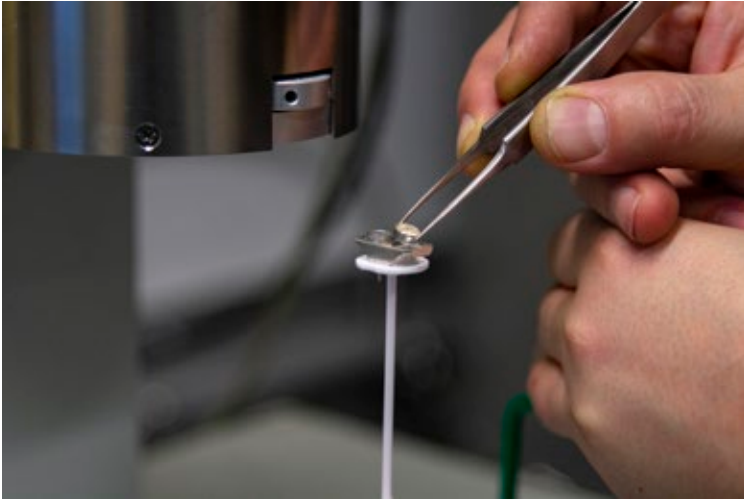
kiinteiden ja lietämaisten sivutuotteiden käsittelyprosesseja ja hyödyntämistä sekä biopohjaisten pelkistimien soveltuvuutta metallurgisiin prosesseihin. Näillä tutkimuksilla luodaan potentiaalia kiertotalousapplikaatioille. Uutena painopisteinä on mikroaaltotekniikan hyödyntäminen agglomeroinnissa ja haitallisten elementtien poistossa hienojakoisista jätteistä.

4) Uudet mittaus- ja käsittelymenetelmät metallurgiassa

Uusiin mittaus- ja käsittelymenetelmiin liittyen tutkitaan erityisesti optisten menetelmien (Optical Emission Spectroscopy) toimivuutta metallurgisten prosessien tilan karakterisoinnissa. Uutena painopisteinä on Raman-spektroskopian käyttö korkealämpötilaisissa in-situ mittauksissa

4.2 Hydrometallurgian tutkimus

Kestävän kemian tutkimusyksikössä hydrometallurginen kemian tutkimus keskittyy pääosin liuotuksen, kemiallisen saostuksen ja liuospuhdistuksen kokeelliseen tutkimukseen, mutta yksikössä tehdään myös tätä tukevaa termodynaamista laskentaa ja reaktiokinetiikan mallinnusta. Tutkimusta



Kuva 1. Laboratoriotutkimuksen mittakaava poikkeaa joskus merkittävästi teollisten prosessien mittakaavasta.



Kuva 2. Gleeblellä tehdyt mittaukset ovat olleet keskeisessä roolissa lukuisissa materiaaliteknikan tutkimuksissa.

tehdään sekä primääri- että sekundääriraaka-aineiden parissa. Kaikessa tutkimuksessa on keskeistä vahva yritys yhteistyö.

1) Litiumioniakkukemikaalien valmistus
Tutkimusryhmässä vuonna 2006 alkanut akkukemikaalitutkimus tähtää litiumioniakuissa käytettävien korkean kapasiteetin omaavien katodimateriaalien valmistukseen. Erityisesti tutkitaan NCM-katodipre-kursoreiden valmistusta jatkuvatoimisessa prosessissa ja tässä vaikuttavia muuttujia, mutta myös muita katodi- ja anodimateriaaleja on tutkittu kansainvälisissä yhteishankkeissa. Ryhmän tutkimus kattaa myös akkukemikaalien litiointi- ja karakterisointiosaamisen sekä akkukemikaalien valmistuksen, jotta katodi/anodimateriaalin toimivuus applikaatiossa voidaan varmentaa.

2) Kemiallinen saostus jätevesien käsittelyssä

Akkukemikaalien valmistuksen ohella kemiallista saostusta hyödynnetään jätevesien ja kaivosvesien käsittelyssä. Yksikkö on ollut mukana kehittämässä kaivosten prosessivesien sulfaatin poistoa hyödyntäen sekundäärisiä kalkkiraaka-aineita ja tutkimalla kipsin liukoisuuteen vaikuttavia tekijöitä laskennallisesti ja kokeellisesti. Tehostetussa sulfaatin poistossa muodostunut sakka on edelleen hyödynnetty sorbenttimateriaalina arseenin poistossa. Kaivosteollisuuden prosessivesien ohella jätevesien ravinteiden (ammonium-typ-

pi ja liukoinen fosfori) talteenotossa on hyödynnetty teollisuuden sivutuotteita. Näitä maa-alkaliaktivoituja tuotteita (kuten tuhkaa ja paperiteollisuuden lietteitä) on käytetty saostuskemikaalina typen ja fosforin samanaikaisessa saostuksessa ammoniumfosfaatiksi. Sakkojen soveltuvuutta mm. lannoitekäyttöön tutkitaan yhteistyössä partnereiden kanssa käynnissä olevassa kansainvälisessä hankkeessa. Yksikössä on myös sähkösaostukseen liittyvä jatkuvatoiminen EC-laitteisto, jota on hyödynnetty em. tutkimuksissa.

3) Teollisuuden sivutuotteiden hyödyntäminen

Tutkimusryhmä on osallistunut useisiin kiertotaloushankkeisiin, joissa mm. teollisia lietteitä ja kuonia on tutkittu. Näistä mainittakoon vanadiini- ja masuunikuunaan sekä anodiliejuun liittyvät tutkimukset. Lisäksi on tutkittu useiden sekundääriraaka-aineiden soveltuvuutta akkukemikaalien valmistukseen. Ryhmä oli vahvasti mukana kehittämässä alkaliparistojen kierrätystä, ja ryhmän tutkimusidean pohjalta on perustettu Tracegrow-niminen yritys, joka tuottaa paristojätteestä lannoitehivenainetta.

4.3 Materiaaliteknikan tutkimus

Oulun yliopiston materiaali- ja konetekniikka -tutkimusyksikön tavoitteena on edistää tieteellistä osaamista sekä luonnonvarojen kestävä ja teollista hyödyntämistä. Tutkimuksen pääpaino on terästen ominaisuuksien ja käytettävyyden kehityk-

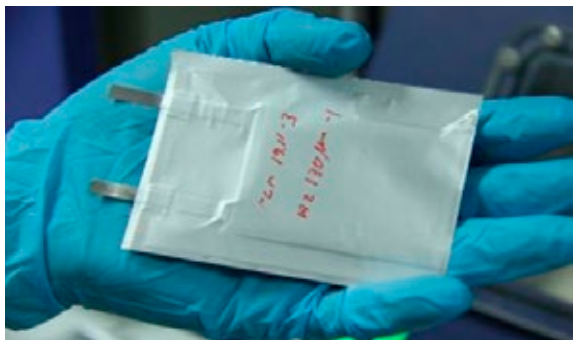
sessä sekä mallinnuksessa. Yksikkö toimii yhteistyössä sekä teollisuuden että tutkimuslaitosten kanssa niin Suomessa kuin ulkomailla. Organisaatio on jaettu viiteen tutkimusryhmään, joiden päätavoitteena on hyödyntää fysikaalista metallurgiaa tieteellisiin läpimurtoihin, mahdollistaa uusien teräslajien kehitys yhdessä teollisuuden kanssa ja rakentaa fysikaalisia ja matemaattisia malleja fokusalueinen ympärille:

Fysikaalinen metallurgia

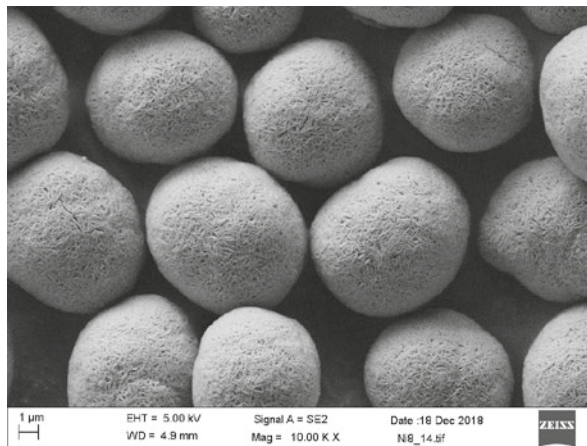
Tutkimusryhmä keskittyy niihin fysikaalisen metallurgian perusilmiöihin, jotka muodostavat pohjan uusien terästen kehitykselle. Perustyökaluina ovat: fysikaalinen simulointi, laboratoriovalssaus, lämpökäsittely, mikrorakenteen mallinnus ja erilaiset mikroskopiat. Tutkimusryhmän pääpaino on prosessi- ja valmistusparametrien välisissä ilmiöissä, mikrorakenteissa ja mekaanisissa ominaisuuksissa. Ryhmä työskentelee tiiviissä yhteistyössä muiden tutkimusyksikköryhmien ja lukuisten kumppanien kanssa sekä Suomessa että ulkomailla.

Mallinnus

Mallinnuksen tutkimusryhmä keskittyy terästen mekaanisten ominaisuuksien ennustamiseen mallintamalla mikrorakenteen kehittymistä kuumavalssausprosesseista jäädytyksen kautta kuumauuhan kelaukseen. Termomekaanisissa prosessoinnissa plastinen deformaatio, lämpötila sekä aika määrittävät yhdessä mikrorakenteen muodostumiseen liittyvät ilmiöt kuten mm.



Kuva 3. Litiumioniakkuihin liittyvä katodimateriaalien kehitystyö on keskeinen osa prof. Ulla Lassin tutkimusryhmän tutkimusosaamista.



Kuva 4. Oulun yliopiston metallurgista tutkimusta tekevien yksiköiden fokusalueet.



Kestävän kemian tutkimusyksikkö
Prof. Ulla Lassi

- Litiumioniakkukemikaalien valmistus
- Kemiallinen saostus jätevesien käsittelyssä
- Teollisuuden sivutuotteiden hyödyntäminen



Materiaali- ja konetekniikan tutkimusyksikkö
Prof. Jukka Kömi

- Fysikaalinen metallurgia
- Muokkaus ja muovaus
- Mallinnus
- Lujat teräkset
- Väsyminen



Prosessimetallurgian tutkimusyksikkö
Prof. Timo Fabritius

- Pelkistysaineet ja pelkistysmetallurgia
- Primaäri- ja sekundaari-metallurgia
- Kierrätys ja kestävät metallurgiset prosessit
- Uudet mittaus- ja käsittelymenetelmät metallurgiassa

rekristalisaation sekä faasimuutokset. Näiden ilmiöiden matemaattiset kuvaukset on yhdistetty FE-ohjelmistoon ja mallinnuksen tuloksia verifioidaan laboratorio- sekä prosessikokein yhdessä terästeollisuuden kanssa. Toimivalla mallinnuksella on mahdollista kehittää haluttuja ominaisuuksia teräksen käytettävyydelle esim. optimoimalla termomekaanisen prosessoinnin parametreja. Mikrorakenteen kehittymistä mallinnetaan myös hitsausprosesseissa, jolloin voidaan ennustaa hitsausvyöhykkeen mekaanisia ominaisuuksia. Terästen ominaisuuksien ennustamisen lisäksi mallinnuksen ryhmässä simuloidaan valssausprosessien toimivuutta ja mahdollisten muutosten vaikutusta lopputuotteeseen sekä valmistustehokkuuteen.

Lujat teräkset

Tutkimusryhmä keskittyy erikoislujien terästen mekaanisiin ominaisuuksiin ottaen huomioon innovatiiviset yhdistelmät kemiallisessa koostumuksessa sekä erilaiset kuuma- ja kylmävalssaus- ja lämpökäsittelyprosessit.

Tärkein tutkimusmenetelmä on fysikaalinen simulointi sekä tuotantokokeet.

Väsyminen

Ryhmän tieteellisen osaamisen painopiste on teknisessä mekaniikassa ja matemaatiikassa. Tutkimuksen painopisteitä ovat metallien väsyminen, väsymisen mittaus- ja analyysitekniikat, väsymisen analysointi ja tähän liittyen rakenteiden mallintaminen. Tutkimuksessa painotetaan myös materiaalien kulumista, murtumismekaniikkaa ja tuotteen ominaisuuksien hajontaa (kuten pintailmiöt, materiaalien puhtaus, koostumushajonta). Tärkeimmät numeeriset työkalut ovat elementtimenetelmät (FEM) ja numeerinen simulointi (esim. MBS).

5 Yhteenveto

Erittäin tiivis ja pitkäjänteinen yhteistyö metallinjalostusyritysten kanssa sekä voimakkaasti laajentunut kansainvälinen verkostoituminen ovat mahdollistaneet tutkimuksellisten painopistealueiden te-rävöittämissä ja korkeatasoisen tutkimus-

työn tekemisen. Terästudkimuksen valinta Oulun yliopiston strategiseksi profiloitumiskohteeksi vuonna 2016 on vahvistanut pitkäjänteistä tieteellistä tutkimusta. Metallinjalostuksen ekosysteemi tarjoaa myös houkuttelevia vaihtoehtoja uuden kiertotalouteen pohjautuvan liiketoiminnan luomiseen. Tämä on yksi merkittävimmistä painopistealueista myös Oulun yliopiston tutkimuksessa.

Metallinjalostukseen liittyvää tutkimusta tehdään vuosittain noin 120 tutkijan voimin tuottaen yli 100 kansainvälistä julkaisua sekä noin 10 tohtorintutkimusta. Oulun yliopiston tutkimusyksiköt ovat erikoistuneet omille vahvuusalueilleen niin materiaalitutkimuksessa kuin pyro- ja hydrometallurgiassakin. Tämä näkyy esimerkiksi erikoislujien terästen metallurgiassa, jossa CASR on julkaisujen laadulla mitattuna maailman johtavien tutkimuskeskusten joukossa.▲