



Työn arkkitehtuurin muutos –
arvoa avoimesta asiantuntijaverkostosta.

CASE STUDY

TANA OY:N HITSAUSTUOTANNOLLINEN HAASTE

BlackSmith Consulting Oy ei ole ainoastaan perinteinen hitsauskonsultointiyritys, vaan keskiössä on kansainvälinen asiantuntijaverkosto, jonka avulla voidaan ratkaista niin materiaalitieteen, metallurgian kuin tuotantoteknologian haasteita ja ongelmia.

Toimimme yhteistyössä monialaisen asiantuntijaverkoston kanssa sekä teknisesti edistyksellisten ja sertifioidujen testauslaboratorioiden kanssa pyrkien tieteelliseen analyysiin ja ongelmanratkaisuun, yhdistettynä vuosien käytännökokemukseen konepajateollisuuden haasteista.

Seuraavassa artikkelissa esittelemme case study- muodossa asiakkaamme Tana Oy:n hitsaustuotannollisen haasteen sekä perehdymme yleisellä tasolla muutamiin avainteknologioihin analysoinnin sekä testauksen osalta.

Tana Oy on yksityinen kiinteän jätteen käsittelyn ratkaisuihin erikoistunut verkostoyritys. Tänä päivänä TANA kaatopaikkajyriä, repijöitä ja seuloja toimii yli 70 maassa viidellä mantereella. Yritys perustettiin Jyväskylässä 1971, jossa se on toiminut jo yli 45 vuoden ajan.

Tanan ratkaisuvaihtoehtoihin kuuluu kaatopaikkaoperaatioissa TANA kaatopaikkajyriä ja kierrätysprosesseissa TANA Shark hidaskäyntiset repijät sekä TANA mobiiliseulat. Kaikissa TANA koneissa on kehittynyt etävalvontajärjestelmä, joka mahdollistaa prosessien valvonnan ja tehostamisen.





TANA OY:N HITSAUSTUOTANNOLLINEN HAASTE

Tuotteen osan materiaalin vaihtaminen Hardox kulutuslevystä Booriteräkseksi. Tavoitteena saada aikaiseksi kestävämpi tuote ja onnistua hitsausteknillisesti saamaan aikaan riittävän luja hitsausliitos. Hitsausliitos muodostui Booriteräksen ja seostamattoman rakenneteräksen välisestä liitoksesta. Koska ko. tuotteen osan hitsi on hitsattavan rakenteen kannalta kriittinen, olisi syytä hyväksyä hitsausohje menetelmäkokeella tai esituotannollisella kokeella.

Hitsausohjeiden hyväksymismenettely on standardin SFS-EN ISO 15607 mukaan kaksivaiheinen. Menettelyissä alustava hitsausohje pWPS hyväksytään jollakin määritetyllä hyväksymistavalla, jonka tulos merkitään hyväksymispöytäkirjaan (WPQR). Hyväksymispöytäkirja perustuu, hyväksymistavasta riippuen, joko dokumentaatioon tai suoritettuihin koehitsauksiin testauskoneen.

HITSAUSMENETELMÄN HYVÄKSYMISTAPOJA

- hyväksyntä testatuilla hitsausaineilla (SFS-EN ISO 15610)
- hyväksyntä aikaisemmalla hitsauskokemuksella (SFS-EN ISO 15611)
- hyväksyntä menetelmäkokeella (SFS-EN ISO 15614)
- hyväksyminen standardihitsausohjemenettelyllä (SFS-EN ISO 15612)
- hyväksyntä esituotannollisella hitsauskokeella (SFS-EN ISO 15613)

Hyväksymistapa määritetään sovellutus- tai tuotestandardissa tai osapuolten välisessä sopimuksessa (sopimuskatselmuksessa). Hyväksymisestä laaditaan hyväksymispöytäkirja (WPQR), jonka pohjalta (pätevyysalueen sisällä) hyväksytyjä hitsausohjeita (WPS) voidaan laatia. Hyväksymismenettelyn jälkeen hitsausohjeesta tulee hyväksytty.

Tässä asiakas casessa valittiin hyväksymistavaksi esituotannollinen koe koska testit haluttiin tehdä todelliseen tuotantokappaleeseen.



**Ratkaisut teollisuuden toimitusketjun
ANALYSOINTIIN JA PARANTAMISEEN**

blacksmithconsulting.fi

ESITUOTANNOLLINEN KOE

Kun menetelmäkokeen koekappaleet eivät edusta varsinaista hitsaustapahtumaa riittävässä määrin, voidaan tehdä standardin SFS-EN ISO 15613 mukaisia esituotannollisia kokeita. Tarkastuslaajuus on soveltuvin osin menetelmäkokeen mukainen, mutta on ainakin pyrittävä tekemään seuraavat kokeet:

- 100 % silmämääräinen tarkastus
- pintahalkeamatarkastus
- kovuuskokeet (ei tehdä ferriittisille teräksille, kun $R_m < 420 \text{ N/mm}^2$ tai $Re < 275 \text{ N/mm}^2$, tai austeniittisille ruostumattomille teräksille eikä alumiiniseoksille 21 tai 22)
- makrohietutkimus

Pätevyysalue on soveltuvin osin sama kuin menetelmäkokeessa. Myös hitsaajat tulee pätevoittää hitsaamaan ko. tuotetta/saa käyttäen hyväksytyä hitsausohjetta. Hitsaajalla pitää olla edellytykset seurata kirjallisia ja suullisia ohjeita ja hänellä on oltava riittävä käytännön kokemus sekä tietoa käytettävästä hitsausprosessista, perusaineesta sekä turvallisuusvaatimuksista, joille häntä pätevoitetään. Pätevyyskoe muodostuu hitsauskokeesta ja hitsatun koekappaleen testauksesta. Hitsaajat voidaan pätevoittää myös esituotannollisen kokeen aikana. Hitsaajan pätevyyskokeet teräksille esitetään standardissa SFS-EN ISO 9606-1. Standardi koskee käsin hitsausta.

Työ tehtiin Tana Oy:n sopimusvalmistajan konepajassa tuotantohitsausolosuhteissa laaditun alustavan hitsausohjeen (pWPS) mukaan. Ko. ohjeesta käy ilmi mm. tarvittavat parametrit, perusaine, lisäaine, voimassaoloalue, hitsausprosessi, liitoksen kuva ja hitsausjärjestys sekä ohjeet esilämmitykselle ja korotetulle työlämpötilalle. Tuotantokappaleita hitsattiin tarkoituksenmukaisesti 2 kappaletta. Työn suoritti kaksi eri hitsaajaa.

Koska kyseessä olevat perusaineet olivat Booriterästä ja seostamatonta rakenneterästä sekä aineenpaksuudet 60/30 mm suuria, tarvittiin hitsattaviin kappaleisiin esilämmitys ja korotettu työlämpötila hitsauksen ajaksi. Hitsattavan kappaleen lämpötila hitsauksen aikana (työlämpötila) vaikuttaa voimakkaasti jäähtymisnopeuteen. Mitä korkeampi kappaleen lämpötila on, sitä hitaampaa on jäähtyminen. Tähän perustuu esilämmityksen ja välipalkolämpötilan käyttö karkenemisen estäjänä.

Työlämpötilaksi valittiin valmistajan taulukosta yhdistetyn aineenpaksuuden mukaan 150-200 astetta. Alustavaan hitsausohjeeseen (pWPS) myös määriteltiin että, lämpötila kappaleessa ei saa nousta yli 200 astetta ja alittaa 105 astetta hitsauksen aikana, esilämmityslämpötila on oltava vähintään 70 % työlämpötilasta ja hidas jäähtyminen työlämpötilasta vaaditaan.

Esilämmitys tehtiin sähkövastuksilla ja happiasetyyleeni lämmityksellä ennen kappaleiden silloitusta. Hitsaus suoritettiin käsin käyttäen MIG/MAG- hitsausprosessia. Työlämpötilaa ja välipalkolämpötilaa seurattiin koko hitsauksen ajan asianmukaisella mittarilla. Lisäaineena käytettiin metallitähdelankaa Supercored 70NS ja suojaakaasuna seoskaasua Argon 82 % + hiilidioksidi 18 %.

Hitsauksen aikana kerättiin talteen kaikki tarvittava informaatio menetelmäkoepöytäkirjaa (WPQR) varten: oikea käytetty hitsausvirta ja jännite käyttäen pihtimittaria, langansyöttönopeus, hitsausaika/palko, hitsattu pituus/palko. Kuljetusnopeus ja todellinen lämmöntunti laskettiin saatujen arvojen perusteella.

Lämmöntuonti Q = Terminen hyötysuhde η x Hitsausenergia E

Terminen hyötysuhde (η) on hitsausprosessikohtainen ja vaihtelee eri prosesseilla. Terminen hyötysuhde (η) on MIG/MAG- hitsausprosessille 0,8. Näin ollen tarvittava lämmöntuonin kaava on:

$$Q = \eta \times I \times U \times 60 / v \times 1000 \text{ KJ/mm.}$$

η = terminen hyötysuhde

I = hitsausvirta

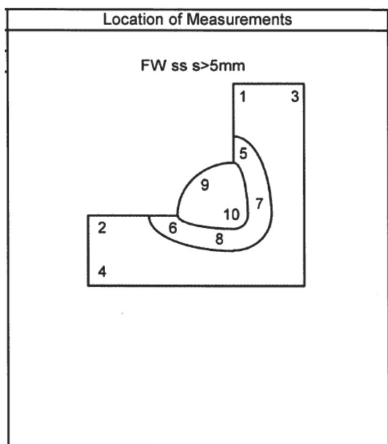
U = jännite

v = hitsausnopeus (mm/min)

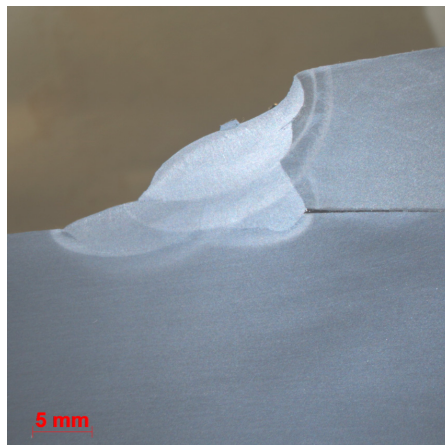


Lämmöntuonnilla on erittäin suuri merkitys hitsauksessa ja lämmöntuontiarvojen on syytä pysyä sallituissa rajoissa. Mitä suurempi lämmöntuonti, sitä enemmän tuodaan lämpöenergiaa hitsiin ja vastaavasti sitä hitaammin hitsi jäähtyy. Jos teräs ei ole koostumukseltaan voimakkaasti karkeneva, käyttämällä suurta lämmöntuontia saatetaan estää karkeneminen muutosvyöhykkeessä. Liian suurella lämmöntuonnilla teräksen iskutiteus heikkenee ja näin ollen myös lujuus heikkenee. Vastaavasti pienen lämmöntuonnin haitallinen vaikutus on kovuuden kasvu ja vetyhalkeiluriski. Lämmöntuontialue MIG/MAG-hitsaukselle on tyypillisesti 0,5-3 kJ/mm.

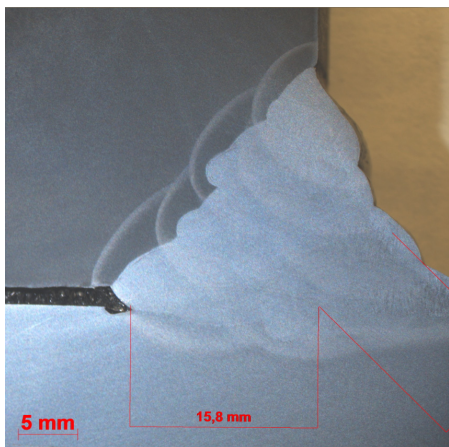
Saadut tulokset kirjattiin ylös menetelmäpöytäkirjaa (WPQR) varten. Kappaleiden jäähtyessä hitaasti (tällä estetään mm. perusaineen kovuusarvojen nousu ja karkenevuus) hitsauksen jälkeen suoritettiin kappaleille 100 % silmämääräinen tarkastus. Tämän jälkeen testikappaleet lähetettiin tarkastuslaitokseen testattavaksi, missä näytekappaleiden ominaisuudet testattiin NDT- ja DT- menetelmin. Kappaleille tehtiin standardin mukaan seuraavat testit 100 % silmämääräisen tarkastuksen lisäksi: pintahalkeamatarkastus, kovuuskokeet ja makrohietutkimus.



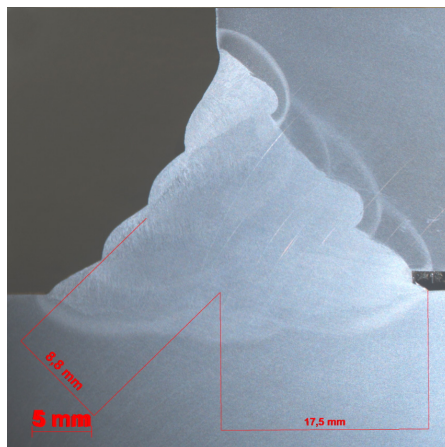
1. Kovuuskokeen mittauspisteet.



2. Makrohie kappaleen päästä.



3. Makrohie oikealta.



4. Makrohie vasemmalta.

Tarkastuksen jälkeen tarkastuslaitos kirjoitti testaustuloksista testausselosteen. Kaikki saadut tulokset olivat hyväksytyjä. Tämän jälkeen laadittiin menetelmäpöytäkirja (WPQR), joka pitää sisällään pätevyysalueen, hitsauskokeen pöytäkirjan ja testitulokset. Tämän jälkeen laadittiin lopullinen hitsausohje (WPS) ja alustava hitsausohje (pWPS) pätevästi.

Hyväksymispöytäkirjan pohjalta voidaan laatia useampia hyväksytyjä hitsausohjeita, kunhan muuttujat ovat menetelmäkokeen pätevyysalueiden sisällä. Esituotannollisen kokeen aikana pätevitettiin myös Tanan Oy:n sopimusvalmistajan kaksi hitsaajaa standardin SFS-EN ISO 9606-1 mukaan.



**Ratkaisut teollisuuden toimitusketjun
ANALYSOINTIIN JA PARANTAMISEEN**

blacksmithconsulting.fi

Korroosion taustalla on kemiallinen tai sähkökemiallinen ilmiö, mutta ympäristö voi vaikuttaa myös mekaanisesti korroosioilmiön syntymiseen ja nopeuteen.

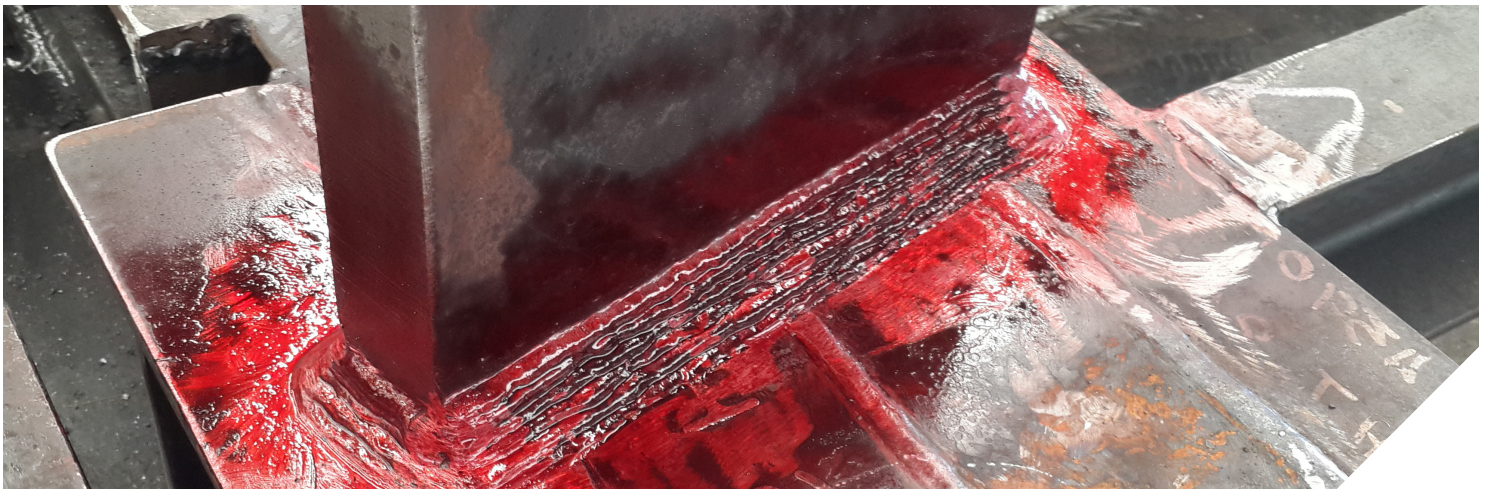
Korroosion taustalla on puhtaaseen muotoon jalostetun metallin pyrkimys palautua alemman tason energiatilaansa eli yhdistemuotoon. Korroosiossa voidaan erottaa kolme päätyyppiä: kemiallinen korroosio, sähkökemiallinen korroosio ja korkean lämpötilan korroosio. Näiden alla on vielä useita korroosionmuotojen alalajeja, esimerkkeinä galvaaninen korroosio, pistekorroosio, rakokorroosio, jännityskorroosio sekä raerajakorroosio.

Kiihdytetyillä korroosiotesteillä, kuten suolasumutestaamisella (neutraali, syklinen, rikkidioksiditesti yms.), pyritään simuloimaan sää- ja ilmastorasitusta sekä olosuherasitusta eli esim. lämpötilan ja kosteuden vaihteluita. Keskeistä on varmistaa, että valittu testi sekä testausparametrit kuvaavat mahdollisimman tarkasti oikeita olosuhteita. Haasteena on aina myös se, miten huomioidaan muut tuotteen kestävyteen ja elinkaareen vaikuttavat rasitustekijät.

Kiihdytetyillä korroosiotesteillä pyritään vastaamaan mm. seuraavanlaisiin kysymyksiin

- Mistä korroosiomekanismista on kysymys?
Mitä korroosiotuotteita kriittisiltä pinoilta löytyy?
- Miten korroosio etenee - syvyysuunnassa vai horisontaalisesti?
Kuinka ennustettavaa kohteen korroosioikäntyminen on, esim. vaikutus materiaalin ja rakenteen käyttöikään?
- Miten alkuvaiheen suunnittelulla, materiaali- ja liitosvalinnoilla sekä uhrautuvien anodien hyödyntämisellä voidaan hidastaa, ohjata sekä ehkäistä korroosion etenemistä?

Emissiospektroskopia (GDOES) on analyysimenetelmä aineen kemiallisen koostumuksen määrittämiseksi kalvonpaksuuden syvyyden funktiona muutamasta 100 nm:stä aina 10-50 µm:iin asti. Menetelmässä korkea tasavirta (DC) johdetaan anodin ja tutkittavan näytekalvon välille.



Tasavirran seurauksena näytteen pinnalta vapautuu elektroneja, jotka etenevät kovalla nopeudella kohti anodia, varautuen kineettisellä energialla. Epäelastisten törmäysten seurauksena – eli törmäysten, joiden jälkeen kappaleiden yhteenlaskettu liike-energia on pienempi kuin ennen törmäystä – elektronit siirtävät kineettisen energiansa argonatomiin, mikä saa nämä jakautumaan argonkationeiksi ja muiksi elektroneiksi.

Syntynyttä neutraalien argonatomien ja vapaan varauksen kantajien (argonkationien ja elektronien) seosta kutsutaan plasmaksi. Suuren negatiivisen varauksen johdosta argonkationit törmäävät näytteen pintaan suurella nopeudella: törmäyksen seurauksena argonkationit irrottavat atomeja näytekalvon pinnalta. Tätä prosessia kutsutaan sputteroinniksi. Irronneet atomit diffundoituvat plasmaan, jossa ne törmäävät korkean energian elektroneihin ja emittoivat siten valoa näkyvässä spektrissä, joka mitataan lukuisilla spektrometreillä. Näin näytteessä olevien elementtien pitoisuus voidaan määrittää hajottamalla elementit spektrikomponentteihin (aallonpituusspektri).



**Ratkaisut teollisuuden toimitusketjun
ANALYSOINTIIN JA PARANTAMISEEN**

blacksmithconsulting.fi

Pyyhkäiselektronimikroskoopi SEM (Scanning Electron Microscope) ja siihen yhdistetyt röntgenanalysointorit (EDS/WDS/EBSD) muodostavat monipuolisen kokonaisuuden, jonka avulla pintatutkimusta voidaan suorittaa erittäin tarkasti. Optisen mikroskoopin valonlähde on korvattu elektronykillä ja lasisten linssien sijaan elektronisuihku kohdistetaan näytteen pinnalle.

Korkea resoluutio mahdollistaa tarkan kuvanlaadun hyvinkin suurilla suurennoksilla ja röntgenanalysointorin avulla voidaan samanaikaisesti analysoida alkuaineita jopa mikrometrin tarkkuudella. Optisen mikroskopian suurennusteho rajoittuu valon aallonpituuden suhteeseen tutkittavaan kohteeseen ja näin ollen voi tarjota vain 1500x suurennusta. SEM-analyysin avulla päästään jopa 150 000x suurennuksiin ja näin ollen saadaan tutkittavasta kohteesta huomattavasti tarkempaa informaatiota. Toisin kuin valomikroskoopi, SEM ei muodosta oikeaa kuvaa, vaan elektronisen kuvan tietokoneen näytölle.

Kemiallisilla ja rakenteellisilla analyyseillä voidaan tutkia niin perus- että lisäaineiden ominaisuuksia sekä miten nämä reagoivat sekä mekaaniseen- että lämpökäsittelyyn. Näin ollen pystytään tutkimaan mm. kidevirheitä, kiteisyyttä, raerakoja sekä erkaumia.



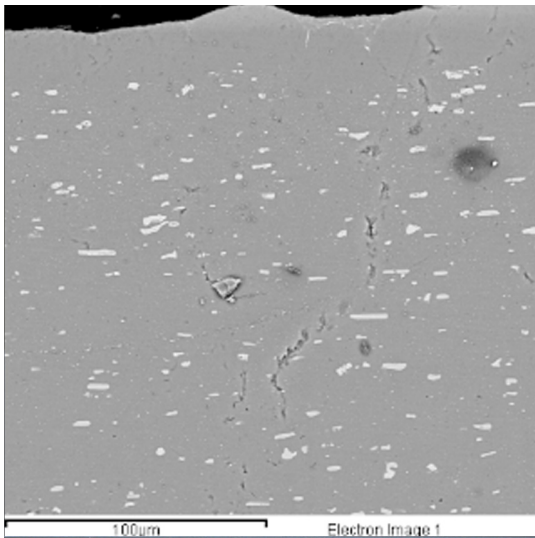
**Ratkaisut teollisuuden toimitusketjun
ANALYSOINTIIN JA PARANTAMISEEN**

blacksmithconsulting.fi

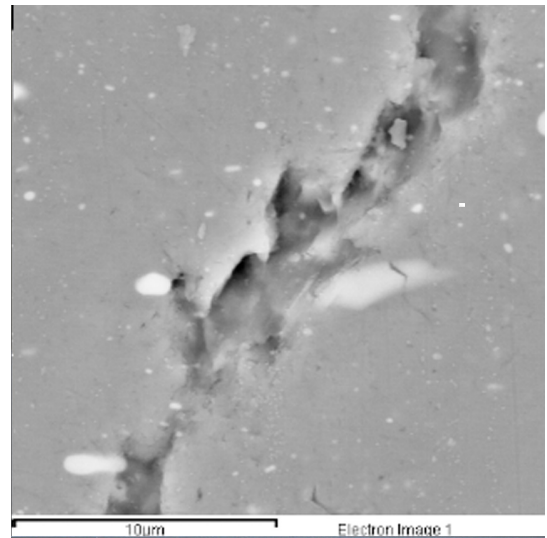
Materiaalitieteelliset analyysit: käyttökohteeseen nähden sopivien seosten ja lujuusominaisuuksien valinta sekä kriittisen lämpötila-alueen välttäminen valmistuksen ja käytön aikana. Näin esim. haitallisen erkautumisen estäminen. Päätellään pinnoitteen suojausvaikutusta; miten faasit muuttuvat, kun mennään syvemmälle.

- Kuinka syväle pinnoite ulottuu?
- Pinnoitteiden mekaaniset ominaisuudet ja adheesio?
- Materiaalin pintarakenne; homogeeninen vai heterogeeninen, esim. kuoppia?
- Kuinka pitkälle hitsaus on vaikuttanut metallirakenteeseen (HAZ)?

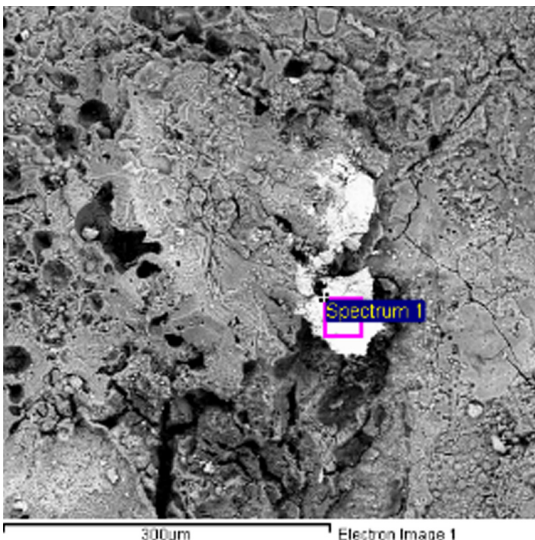
Toimimme yhteistyössä teknisesti edistyksellisinten ja sertifioidujen testauslaboratorioiden kanssa ja pyrimme sekä tutkimuksessa että opetuksessa ratkaisemaan teollisuuden materiaaliongelmat ja -haasteet tieteellisin menetelmin.



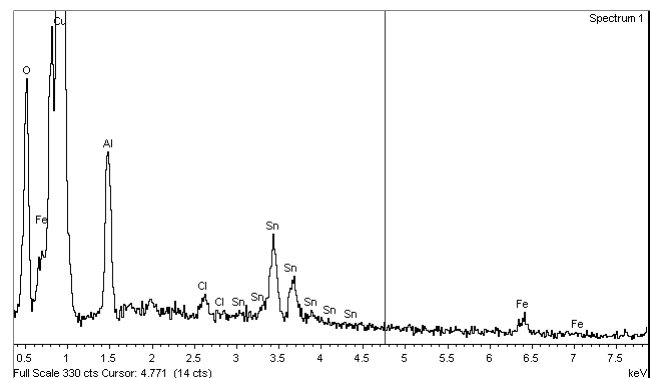
5. Halkeama perusaineessa mitta-asteikolla 100 µm.



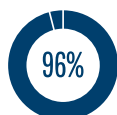
6. Halkeama perusaineessa mitta-asteikolla 10 µm.



7. Perusaineen mikrorakennetta ja korroosionäytteiden analysointia.



8. Kemiallisen analyysin tulokset mm. korroosiojäämistä.



**Ratkaisut teollisuuden toimitusketjun
ANALYSOINTIIN JA PARANTAMISEEN**

blacksmithconsulting.fi

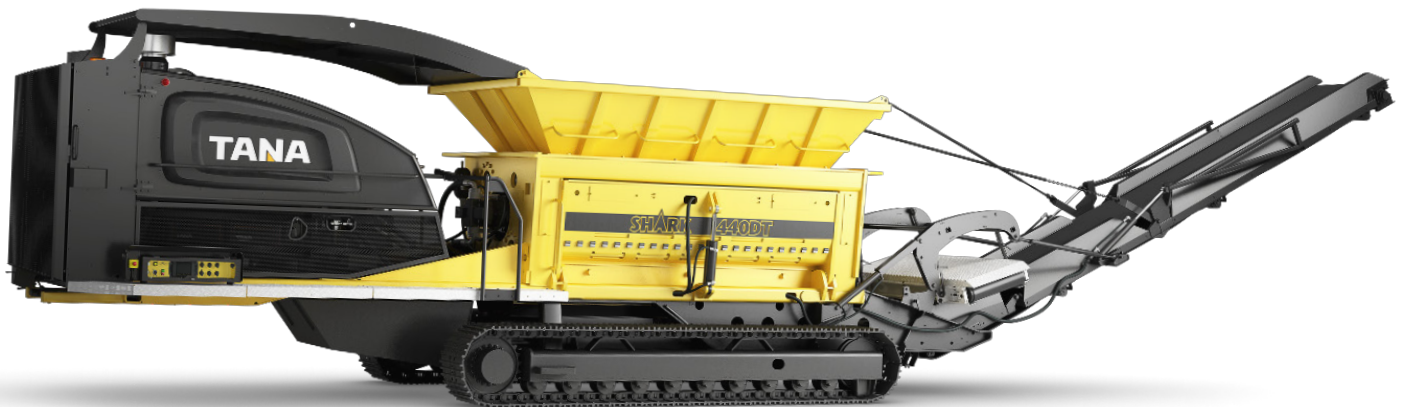
"Tanan puolesta olimme hyvin tyytyväisiä projektiin. Saimme paitsi lisättyä omaa osaamistamme Tana Oy:n tuotekehityksessä ja hankinnassa niin myös meidän sopimusvalmistajien osaamista hitsausprosessin parantamiseen liittyvissä asioissa. Lisäksi BlackSmith Consulting Oy hoiti tarvittavan dokumentoinnin erittäin laadukkaasti."

Suvi Kupiainen

Tana Oy | Vice President, Supply

KESKEISET LYHENTEET

- pWPS [preliminary Welding Procedure Specification]
- WPQR [Welding Procedure Qualification Record]
- WPS [Welding Procedure Specification]
- NDT [Non-destructive Testing]
- DT [Destructive Testing]
- GDOES [Glow-Discharge Optical Emission Spectroscopy]
- DC [Tasavirta]
- SEM [Scanning Electron Microscope]
- EDS [Energy-Dispersive X-ray Spectroscopy]
- WDS [Wavelength-Dispersive X-ray Spectroscopy]
- EBSD [Electron Backscatter Diffraction]
- HAZ [Heat Affected Zone]



Perti Kaarre

Toimitusjohtaja

+358 40 757 4775
periti.kaarre@blacksmithconsulting.fi

Juho Partanen

Hallituksen puheenjohtaja

+358 40 153 5606
juho.partanen@blacksmithconsulting.fi



**Ratkaisut teollisuuden toimitusketjun
ANALYSOINTIIN JA PARANTAMISEEN**

blacksmithconsulting.fi