

Nico Aalto

ULTRALUJIEN TERÄSTEN VALMISTUS JA KÄYTTÖKOHTEET

Kone- ja tuotantotekniikan koulutusohjelma

2017

ULTRALUJIEN TERÄSTEN VALMISTUS JA KÄYTTÖKOHTEET

Aalto, Nico
Satakunnan ammattikorkeakoulu
Kone- ja tuotantotekniikan koulutusohjelma
Marraskuu 2017
Ohjaaja: Santanen, Teemu
Sivumäärä: 25

Asiasanat: ultraluja teräs, hienoraeteräs, ultrateräs

Opinnäytetyö on tehty Satakunnan Ammattikorkeakoululle tutkimuksellisenä opinnäytetyönä. Työn tavoitteena oli kerätä kasaan yleistä tietoa ultralujien terästen valmistuksesta, ominaisuuksista ja niiden käyttökohteista.

Työn varsinaisessa teoriaosuudessa käsiteltiin ensin teräksen historiaa 1400-luvulta aina nykypäivään. Historiasta edettiin yleiseen asiaa terästen seosaineista, kiderakenteesta, sekä miten ne vaikuttavat valmistetun teräksen ominaisuuksiin.

Ultralujia teräksiä tarkasteltaessa selvitettiin miten austeniitti-ferriitti muutokseen pystytään vaikuttamaan siten, että voidaan hallita ferriitin raekoon kasvua ja mikä on sen merkitys teräksen ominaisuuksiin. Tässä osuudessa on myös selvitetty mitkä ovat suurimpia etuja verrattuna tavanomaisen lujuuden teräkseen. Lopuksi työssä edettiin selvittämään ultralujien terästen tärkeimpiä käyttökohteita, painottaen auto ja offshor-teollisuutta.

PRODUCTION AND APPLICATIONS OF ULTRA-HIGH STRENGTH STEELS

Aalto, Nico

Satakunnan ammattikorkeakoulu, Satakunta University of Applied Sciences

Degree Programme in Mechanical and Production Engineering

November 2017

Supervisor: Santanen, Teemu

Number of Pages: 25

Keywords: ultra-fine grain, ultra-high strength, steel

This study was conducted at Satakunta University of Applied Sciences as a research thesis. The objective of this thesis was to gather general information on manufacturing, properties and applications of ultra-fine grained steels.

The theory part of this thesis illustrates the history of steel from 15th century to the present. Furthermore, the theory section introduces general information about alloys, grain structures and how they affect the properties of the produced steel.

The study of ultra-fine grained steels revealed how the austenite-to-ferrite transformation could be obtained in a way that it is possible to control the grain growth of ferrite as well as see how it affects the properties of steel. The study also uncovered the advantages of ultra-fine grained steels compared to conventional steel. Finally, the thesis examined some of the major applications for ultra-fine grained steels, focusing on automotive- and offshore-industries.

SISÄLLYS

1. JOHDANTO.....	5
2. TEORIA	6
2.1 Teräksen valmistuksen historiaa	6
2.1.1 Teollisesta vallankumouksesta 1800-luvulle	6
2.1.2 1900-luvulta nykypäivään	8
2.2 Yleistä teräksestä	8
3. ULTRALUJAT TERÄKSET	11
3.1 Valmistustavat	11
3.1.1 Yleistä valmistuksesta	11
3.1.2 Esimerkkejä valmistuksesta	13
3.2 Käyttökohteet.....	15
3.2.1 Yleisiä käyttökohteita.....	15
3.2.2 Autoteollisuus.....	16
3.2.3 Meriteollisuus.....	19
4. YHTEENVETO	22
5. POHDINTA.....	23
LÄHTEET	24

1. JOHDANTO

Tämä opinnäytetyö on tehty Satakunnan Ammattikorkeakoululle tutkimuksellisenä opinnäytetyönä. Työn aiheena on niin kutsutut ultralujat teräkset, eli teräkset joita on prosessoitu yleensä raekokoa pienentämällä pidemmälle haluttujen ominaisuuksien saavuttamiseksi. Työssä kerätään yhteen tällä hetkellä käytössä olevia erilaisia valmistustapoja sekä niillä saavutettuja ominaisuuksia. Lisäksi etsitään kyseisiä valmistustapoja hyödyntäviä käytännön sovelluksia.

2. TEORIA

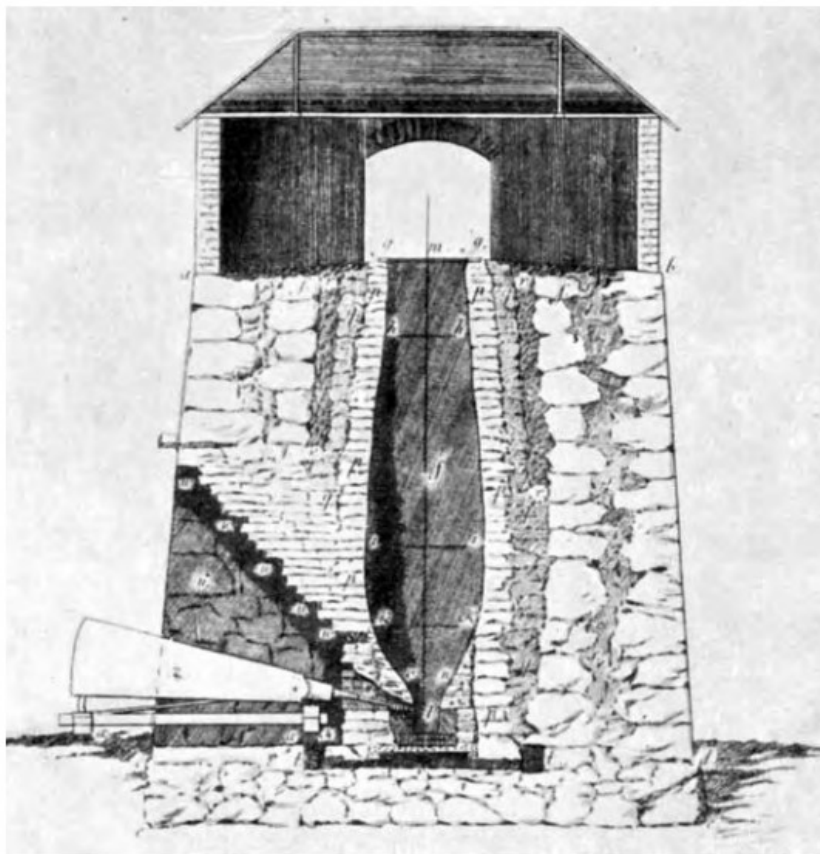
Teoriaosuudessa käydään läpi teräksen valmistuksen historiaa, sekä yleistä asiaa terästen rakenteesta ja ominaisuuksista.

2.1 Teräksen valmistuksen historiaa

2.1.1 Teollisesta vallankumouksesta 1800-luvulle

Päivi Väisänen (2007) kertoo teoksessaan ensimmäisten raudan käyttökohteiden olleen työkalut ja aseet. Sitä on käytetty myös rakentamisessa, mutta itsenäisenä rakennusmateriaalina vasta teollisen vallankumouksen jälkeen. Vanhin valmistustapa on reduktio eli suora pelkistys. Tätä valmistustapaa käytettiin vielä 1900-luvulla, vaikka 1700-luvulla ruukkien tehokkuus ja helppous jo lähes kokonaan tavan syrjäytti. Epäsuora pelkistys kehitettiin 1400-luvulla, mutta otettiin käyttöön pääosin 1500-luvulla. Teollisen vallankumouksen myötä suurtuotanto voitiin aloittaa missä vain, eikä vain vesireittien, koskivoimien tai metsien läheisyydessä. Suurimpaan osaan nousivat junaradat ja höyryveturit, jotka tämän mahdollistivat.

Suomessa ensimmäiset rautaruukit ovat pystytetty 1500-luvulla. Vasta 1600-luvulla ruukkiteollisuus käynnistyi laajemmin. Suurin osa malmista tuotiin Ruotsista, sillä omat malmivarat eivät riittäneet. Kaupunkien välillä tehtiin paljon yhteistyötä, koska ahjot ja masuunit toimivat eri paikkakunnissa. 1700-luvun puolivälissä kysyntä kasvoi niin paljon, että uusia ruukkeja pystytettiin. Järvimalmi ja itä-suomen ruukit olivat elinvoimaisimmillaan 1800-luvulla, mutta tämän jälkeen alkoikin alamäki ja nykyään monet ruukit ovat enää nähtävyyksiä.



Kuva 1. Masuuni (Väisänen P. 2007)

1600-luvulla käsintakomisen rinnalle tulivat koneelliset vasarapajat. Ensimmäiset konepajat ja valimot perustettiin Suomeen 1800-luvulla. Keski-eurooppa näytti tietä rakennusteräksien valssauksessa 1700-1850-luvuilla. Laadun paraneminen, laajentunut kysyntä ja teollisuuskoneiden kehitys innosti kehittämään rautatuotteita eteenpäin.

Kysynnän kasvaessa tekniikka kehittyi. 1800-luvulla masuuneista tuli suurempia ja puhallusilma vaihdettiin kuumapuhallukseen. Myös talteenotto masuunikaasuissa otettiin käyttöön. 1850-luvulla teräksen tuottamisessa harpattiin eteenpäin, kun tuottamisesta tuli huomattavasti edullisempää vaihdettaessa putlausuunit Bessemerin konverttereihin. Tuotanto määrät kasvoivat ja terästä voitiin tuottaa suurempina kappaleina. 1800-luvun loppupuolella kehitettiin myös Thomas-konvertteri ja Siemens-Martin-uuni. Suomeen keksinnöt rantautuivat vasta hieman myöhemmin. (Väisänen P. 2007)

2.1.2 1900-luvulta nykypäivään

1900-luvulla siirryttiin kuumennuksessa sähköön ja öljyyn. Masuuni on valmistuksen keskeinen osa, vaikka nykypäivänä se on erilainen ja suurempi kuin ennen. Ilmapuhallusmenetelmät jäivät pois 1970-luvun lopulla, kun kehityksen myötä sähköstä ja öljystä tuli kustannustehokkaampia vaihtoehtoja. Valokaariuunit eli sähköuunit ovat käytössä romuraudan sulatuksessa. Menetelmä tuli käyttöön Suomessa ensimmäisen maailmansodan aikana. Laajan terästeollisuuden syntymisen mahdollisti 1950-luvulla kehitetty LD-menetelmä eli happipuhallusmenetelmä, joka oli taloudellinen menetelmä rakenneterästen valmistukseen. Jo 1700-luvulla lähes syrjäytetty suora-pelkistys on kasvattamassa myös suosiotaan masuuniprosessin korvaamisessa. (Väisänen P. 2007)

Viime vuosikymmeninä teräs nähtiin eri teollisuuden aloilla materiaalina, mikä korvattaisiin tulevaisuudessa kehittyneemmillä, keveämmillä materiaaleilla kuten komposiiteilla tai alumiinilla. Näillä on korvattukin paljon erilaisia kohteita esimerkiksi autoteollisuudessa. Viime vuosina teräksiä on kuitenkin pystytty kehittämään merkittävästi. Teräksien mikrorakenteeseen pystytään vaikuttamaan hyvinkin tarkasti, koska ymmärrys metallurgiasta on kasvanut ja on pystytty kehittämään työkaluja niiden analysointiin. Teräksestä on tullut materiaali, jonka ominaisuuksia ei voida kustannusperusteisesti saavuttaa muilla materiaaleilla. (Hodgson P.D, Timokhina I, Beladi H, Dorin T, Stanford N, Cai M. 2016)

2.2 Yleistä teräksestä

Päivi Väisänen (2007) mukaan, keskeisiä asioita teräksen ominaisuuksien kannalta ovat hiilipitoisuus, kiderakenne sekä seostus. Hiilipitoisuus vaikuttaa teräksen ominaisuuksiin keskeisesti, joten niitä voidaankin jaotella pitoisuuksien mukaan. Ne voidaan jaotella matalahiilisiin <0,05%, niukkaahiilisiin 0,05-0,25%, keskihiilisiin 0,25-0,60% sekä runsashiilisiin teräksiin 0,6-1,7%. Hiilen lisäksi perusseostukseen kuuluvat usein pii ja mangaani sekä alumiini. Muita seosaineita ovat muun muassa rikki, fosfori, typpi, happi, kromi, kupari, nikkeli, molybeeni, boori, volframi, koboltti sekä niobi, jotka kaikki vaikuttavat eri tavalla valmistettavan teräksen lopputulokseen.

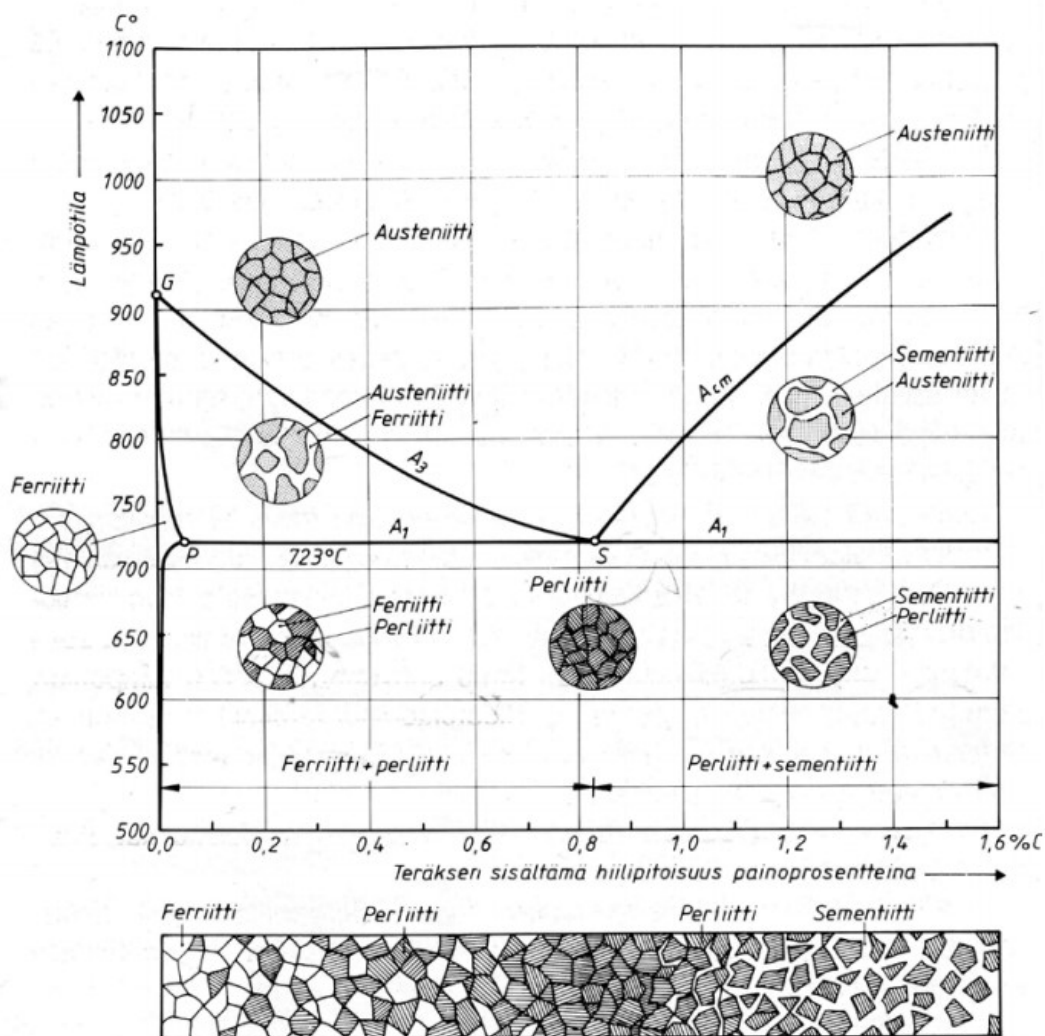
Teräksen kiderakenne vaikuttaa teräksen ominaisuuksiin merkittävästi, sillä se määrittää osaltaan lujuuden, sitkeyden ja korroosiokestävyyden. Kiderakenteeseen voidaan vaikuttaa lämpökäsittelyllä tai mekaanisella muutoksella, kuten taonta tai valsaus. Yleisiin rakenneteräksiin ja hienoraeteräksiin jakaminen tapahtuu raekoon perusteella. Yleisissä rakenneteräksissä rakeen halkaisija on n. 35 μm ja hienoraeteräksissä alle 5 μm . Yleiset rakenneteräkset voidaan jakaa vielä hiili- ja seosteräksiin. Hiiliteräksissä ei ole käytetty seosaineita, kun taas seosteräksiin on lisätty seosaineita, jolloin niistä tulee niukka- tai runsasseosteisia. Pienempi raekoko nostaa lujuutta ja lisää iskusitkeyttä.

Kuumentaessa rautaa, siinä tapahtuu kidemuutoksia lämpötilan pysähdyskohdissa. Kidemuotoja puhtaasta raudasta nimitetään kreikkalaisilla kirjaimilla alfa, beta, gamma ja delta. Merkittävimpiä näistä ovat alfa-rauta eli ferriitti ja gamma-rauta eli austeniitti. Rautaa kuumentaessa sen magneettisuus häviää 772 asteessa. Kun kuumennus jatkuu, syntyy suurempi kokoinen gamma-kide eli austeniittinen kide, joka on ei-magneettinen, homogeeninen ja sitkeä. Gamma-raudan jäähtyessä hitaasti se palautuu takaisin alfa-raudaksi. Tätä kutsutaan gamma-alfa-muutokseksi.

Austeniittisen ruostumattoman teräksen seostaminen seosaineilla aiheuttaa muunmuassa sen, ettei alfa-gamma-muutos pääse tapahtumaan. Austeniittiset ominaisuudet, esimerkiksi ei-magneettisuus ja sitkeys, säilyvät sen jäähtyessä huonelämpötilaan. Sitä ei voi karkaista, mutta kylmämuokkauksessa se lujittuu.

Ferriitti koostuu huoneenlämpöisenä alfa-kiteistä. Kiteet ovat magneettisia, pehmeitä ja muokattavia. Kiteytyminen austeniitiksi tapahtuu yli 900 asteessa, mutta hiilen läheisyydessä muodostuminen voi tapahtua jo 723 asteessa. Kidevarioatioita ovat perliitti, bainiitti ja martensiitti. Kun n. 0,8% hiiltä sisältävän austeniitin lämpötila laskee hitaasti alle 723 asteen, syntyy perliitti. Se on lujempaa kuin ferriitti, mutta muovattavissa. Kun lämpötila laskee nopeammin, syntyy bainiittia. Sen mekaaniset ominaisuudet ovat hyvät, eli se on sitkeää ja lujaa. Kun lämpötila laskee erittäin nopeasti, eli austeniittiseksi kuumennettu rauta karkaistaan, syntyy martensiitti. Martensiittinen kiderakenne on hauras ja kova.

Rauta-hiili-olotilapiirros (Kuva 2) havainnollistaa hiiliteräksen kiteytymisen. A₁, A₃ ja A_{cm} käyrillä kuvataan kiderakenteen olotila eri hiilipitoisuuksissa ja lämpötiloissa. Pisteessä S puhdas austeniitti kiteytyy suoraan perliitiksi. (Väisänen P. 2007)



Kuva 2. Rauta-hiili-olotilapiirros havainnollistaa hiiliteräksen kiteytymisen. (Väisänen P. 2007)

3. ULTRALUJAT TERÄKSET

Ultralujien terästen kehittämisen tarkoituksena on parantaa sekä teräksen lujuutta, että sitkeyttä. Tässä on onnistuttu pienentämällä entisestään ferriitin raekokoa teräksen mikrorakenteessa. (Leinonen J. 2001) Raimo Ruopan ja Vili Kestin (2016) mukaan ultralujilla teräksillä tarkoitetaan yleensä teräslaatuja, joiden myötölujuus on yli 550 MPA ja murtolujuus yli 700 MPa. Tavallisiin rakenneteräksiin verrattuna niiden lujuus on 1,5-2,5 kertaa suurempi.

Ultralujien terästen etuja ovat muun muassa mahdollisuus rakentaa kevyempiä rakenteita ja pienentää materiaali- sekä kuljetuskustannuksia. Teräksen paremmasta iskusitkeydestä saadaan myös suuri hyöty alhaisissa lämpötiloissa, koska tavanomaisten terästen sitkeys on silloin heikko. Ultralujan teräksen sitkeys voi olla riittävä jopa alle -150 °C, kun tavallisten terästen ominaisuudet voidaan yleensä taata riittäviksi alhaisimmillaan -60 °C. (Leinonen J. 2001)

Hitsattaessa ultralujaa terästä valitaan tavaksi yleensä kaasukaarihitsausta umpi- tai täytelangalla tai laser-, laserhybridi- tai pulssi-MAG-hitsaus. Valinnassa tulee ottaa huomioon lämmöntuontirajoitukset. Esilämmitys, työstön aikana tapahtuva lämpeneminen ja jäähtymisaika voivat vaikuttaa heikentävästi materiaalien lujuuteen, kulumiskestävyyteen ja kovuuteen. (Rissanen T. 2011)

3.1 Valmistustavat

Ultralujat teräkset valmistetaan yleensä lämpökäsittelymenetelmien kautta. Tämän kappaleen alle on kerätty yleistä asiaa ultralujien terästen valmistuksesta, sekä tarkasteltu käytössä olevia valmistustapoja.

3.1.1 Yleistä valmistuksesta

Austeniitti-ferriitti muutokseen pystytään vaikuttamaan tehostamalla ferriitin raekoon tiheyttä tai hallitsemalla sen kasvua. Muodonmuutos austeniitin uudelleenki-

teyttämättömällä alueella vaikuttaa ferriitin nukleaatioon ja kasvuvauhtiin, aiheuttaen ferriittikerroksen hienorakeistumista. (Hodgson P.D, ym. 2016) Ultralujat teräkset on usein prosessoitu siten, että ferriitin raekoko on 3 µm tai alle. Tavanomaisella termomekaanisella valssauksella saavutettu raekoko on rajoittunut 5 µm riippumatta käytetystä rasiuksesta. (Leinonen J. 2001)

Jouko Leinosen (2016) mukaan lämpökäsittelymenetelmillä voidaan vaikuttaa teräksen mekaanisiin ominaisuuksiin merkittävästi. Erilaisia lämpökäsittelymenetelmiä on kymmeniä ja niiden valinnassa tulee ottaa huomioon tavoitteet, suoritustapa ja käyttökohde. Käsittelyissä vaihtelevat lämpötila, kuumennus- ja jäähdytysnopeudet, pitoaika sekä kappaletta ympäröivä väliaine. Peruslämpökäsittelyt jaetaan kolmeen pääryhmään, karkaisukäsittelyt, hehkutuskäsittelyt ja termokemialliset käsittelyt.

Lämpökäsittelymenetelmistä ultralujien terästen valmistuksen kannalta oleellisin on karkaisun jälkeinen päästö, eli nuorutus. Menetelmällä saadaan hyvä sitkeys ja kylmänkestävyys. Nuoruttamalla saadaan aikaiseksi lujuuden kasvu, joka johtuu rakenteeseen tulevista hienojakoisista ja pienistä karbidierkautumista. Tämä takaa menetelmällä saavutettavaksi hyvän sitkeyden sekä lujuuden yhdistelmän. Nuorutus tapahtuu käyttäen karkaisua, sekä korkean lämpötilan päästöä. (Leinonen J. 2016). Päivi Väisäsen (2007) mukaan nuoruttamalla tehdään mm. Seostettuja koneteräksiä sekä erikoislujuja rakenneteräksiä.

MATERIAALILTA VAADITTAVIA ASIOITA	MATERIAALIN VASTAAVIA OMINAISUUKSIA
Staattisen kuormituksen kesto	Lujuus (lähinnä myötöl.), kovuus
Muodon säilyvyys	Lujuus (lähinnä myötöl.), kimmomoduli
Iskunkestävyys	Iskusitkeys, transitiolämpötila
Vaihtelevan kuormituksen kestävyys	Väsymislujuus, pinnan puristusjännitys
Kulumiskestävyys	Kovuus (pinnan kovuus), kitkakerroin
Korroosionkestävyys	Pinnan passiivisuus, kappaleen sisäinen jännitystila (jännityksettömyys)
Kestävyys eri lämpötiloissa	Virumislujuus, kuumakovuus; transitiolämpötila (kylmäauraus)
Soveltuvuus valmistusmenetelmiin	Muovattavuus (esim särmättävyys), lastuttavuus, hitsattavuus jne

Taulukko 1. Taulukossa esitetään mitä asioita materiaalilta vaaditaan ja mitkä ominaisuudet niihin vastaavat. Lämpökäsittelymenetelmillä voidaan vaikuttaa useimpiin taulukossa lueteltuihin ominaisuuksiin. (Leinonen J. 2016).

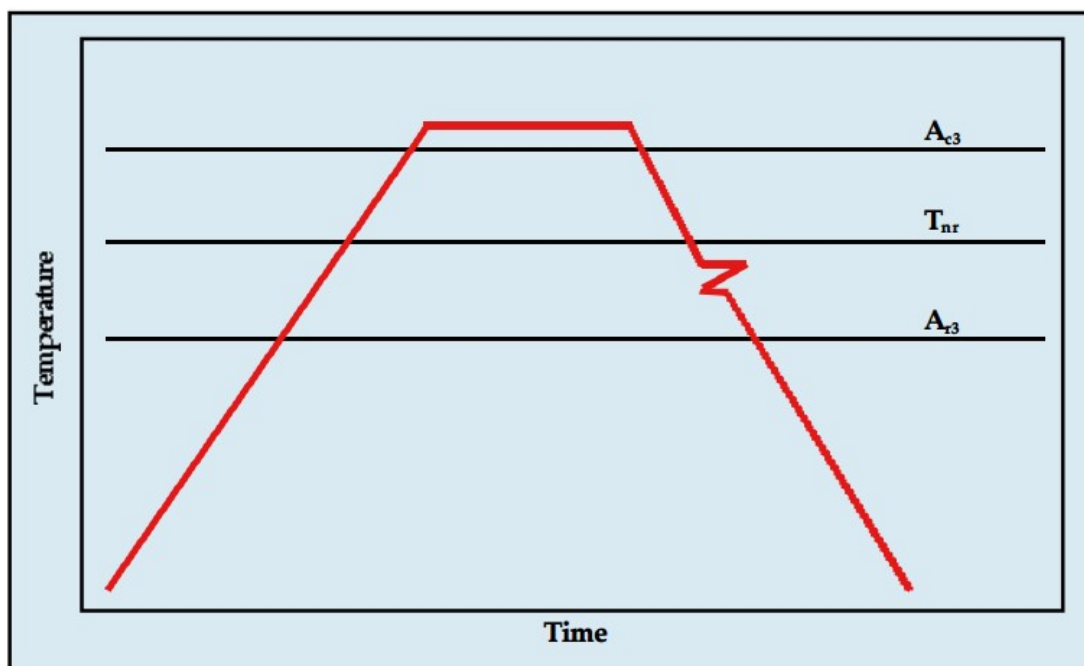
3.1.2 Esimerkkejä valmistuksesta

Teollisessa mittakaavassa yksi suosituimmista ja toimivimmista tavoista hallita ferriitin raekoon kasvua toteutetaan dynaamisen rasituksen aiheuttamalla muutoksella, eng. Dynamic Strain Induced Transformation (DSIT). Tässä menetelmässä rasitus aiheutetaan juuri Ar3 lämpötilan yläpuolella kesken faasimuutoksen, mikä johtaa austeniitin muutokseen ferriitiksi kesken rasituksen. (US 6027587) Tuloksena on hienorakeinen $\sim 1 \mu\text{m}$ kiderakenne, mikä on lujuudeltaan mahdollisesti jopa kaksinkertainen tavanomaisella valssausprosessilla tuotettuun teräsrakenteeseen nähden. (Hodgson P.D, ym. 2016)

Jouko Leinonen (2001) on kuvannut esimerkin valmistustavasta alle 0,8% hiiltä sisältävälle teräkselle. Valmistusprosessissa lämpötila nostetaan juuri yli Ac3 lämpötilan niin että mikrorakenne muuttuu täysin austeniittiseksi (tavanomaisesti niukkahiihilisellä ja keskihiihilisellä teräksellä noin 820-920 astetta). Pitoaika tässä lämpötilassa on rajoitettu, jotta austeniitin kasvua voidaan estää. Teräs jäähdytetään tämän jälkeen uudelleenkiteytymisrajan alapuolelle (T_{nr}), joten epämuodostuneet austeniittitekiteet

eivät pääse uudelleenkiteytymään valssauksen aikana tai sen jälkeen. T_{nr} lämpötila useimmille teräksille on alle 850 astetta, mutta esimerkiksi mikroseostetuilla teräksillä se saattaa olla suurempi. Jäähdytysnopeudella hehkutuslämpötilasta alaspäin ei ole väliä koska sen ei uskota vaikuttavan austeniitin kiderakenteeseen jossa raekoko on pienempi kuin 10 μm .

Teräs kuumavalssataan perinteisellä tavalla, mutta melko alhaisissa lämpötiloissa ja mieluusti kapealla lämpötila-alueella. Valssaus lopetetaan yleensä A_{r3} lämpötilassa, mutta se voi jatkua myös sen alapuolella. A_{r3} lämpötila on useimmille rakenneteräksille 680-750 astetta. Valssauksen jälkeen teräs jäähdytetään alle 500 asteeseen vähintään 5 astetta/sekunnissa (riippuen teräksen koostumuksesta) pitkänomaisten austeniittikiteiden muuttamiseksi ferriitiksi ja perliitiksi. Tällä saavutetaan parantunut myötölujuus ja hyvä iskutikeys jopa todella alhaisissa lämpötiloissa. (Leinonen J. 2001)



Kuva 3. Prosessin aika-lämpötila kuvaus ultrahienon kiderakenteen saavuttamiseksi. (Leinonen J. 2001)

3.2 Käyttökohteet

Tässä kappaleessa on käyty läpi suurimpia ultralujien terästen käyttökohteita

3.2.1 Yleisiä käyttökohteita

Ultralujia teräksiä voidaan käyttää kohteissa, joissa halutaan keventää kestäväää rakennetta. Sellaisia ovat muun muassa kuorma-autojen ja niiden lavojen ruongot ja pankot, nostureiden puomit ja runkorakenteet ja muut erilaiset nosto- ja kuljetuslaitteet. (Ruoppa R, ym. 2016) Esimerkkinä tällaisista teräksistä on SSAB:n valmistama STRENX-rakenneteräsvalikoima, joka lukeutuu mittavalikoimaltaan ja lujuudeltaan maailman laajimpiin, 600-1300mPa. (SSAB www-sivut)



Kuva 4. Ultralujien rakenneterästen käyttökohteita.

Ultralujia teräksiä voidaan käyttää myös kulutusteräksissä muun muassa maatalous- ja puunkäsittelykoneissa, betoniautojen ja -asemien kulutusosissa, maansiirtokoneiden huulilevyissä ja kauhoissa, lavarakenteissa sekä syöttimissä, suppiloissa ja erilaisissa murskainten terissä. (Ruoppa R, ym. 2016)



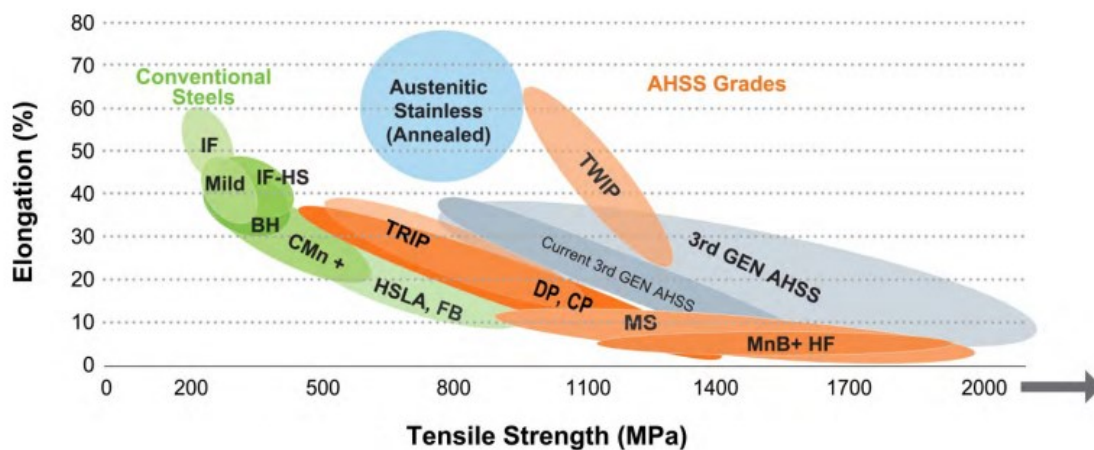
Kuva 5. Ultralujien kulutusterästen käyttökohteita.

3.2.2 Autoteollisuus

Autoteollisuus joutuu sopeutumaan jatkuvasti tiukentuviin päästö- ja energiasäädöksiin samalla kun pitää kiinni rakenteiden turvallisuudesta. Materiaaleja pitää saada keveämmiksi samalla kun lujuudet pysyvät entisellään.

Stuart Keelerin ja Manachem Kimchin (2014) mukaan autoteollisuudessa on käytössä oma määritelmä AHSS (Advanced High Strength Steel) yli 550MPa:n myötölujuuden omaaville teräsluokille. Kyseisen rajan ylittäviä teräksiä ovat monifaasiteräs (Complex-Phase, CP), kaksifaasiteräs (Dual Phase, DP), martensiittinen, ferriittisbainiittinen, kuumamuovattu, TRIP (Transformation-Included Plasticity), ja TWIP (Twinning Included Plasticity) -teräkset.

Kuvassa 6 on havainnollistettu edellä mainittujen teräksien vetolujuus ja venymä. Kuvassa on lisäksi kehitysvaiheessa olevat kolmannen polven AHSS teräkset, jotka mahdollistavat vielä paremman lujuuden ja sitkeyden yhdistelmän paremmilla hit-sausominaisuuksilla.



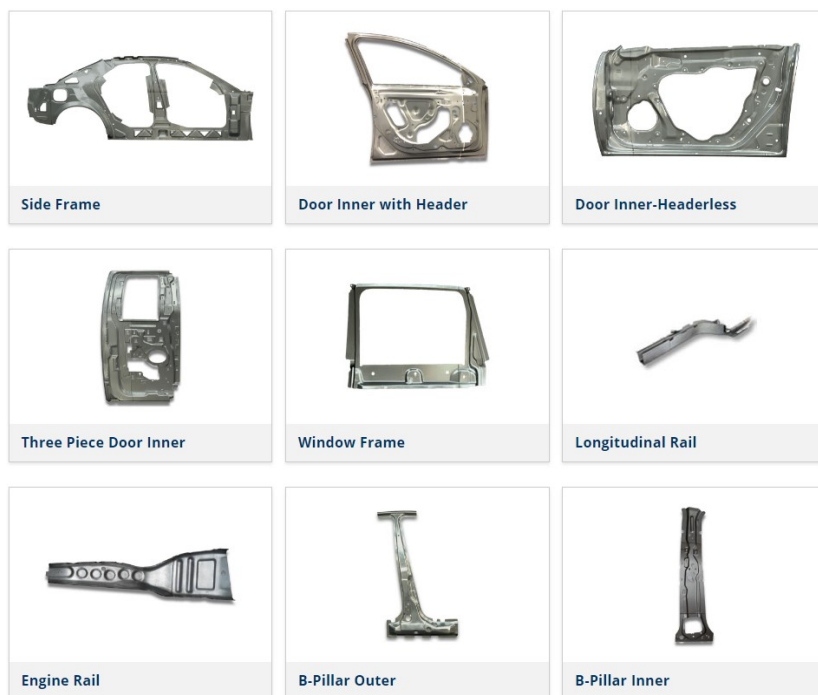
Kuva 6. Advanced High-Strength Steels Application Guidelines (WorldAutoSteel)

SSAB:lla on autoteollisuudelle suunniteltu Docol -tuoteperhe mikä sisältää edellä mainituista AHSS teräksistä kaksifaasi, monifaasi ja martensiittiteräkset. Terästen käyttökohteiksi kerrotaan muun muassa puskurit, alusta, sivutörmäyssuojat, helmapellit, istuimet sekä kynnyspalkit. Käyttökohteiden esimerkeissä on pienemmällä määrällä materiaalia saatu sama lujuus, joten teräsrakenteiden suorituskykyä on voitu AHSS teräksiä hyödyntämällä nostaa samalla kun paino on keventynyt. (SSAB www-sivut)

Autoteollisuudessa on käytössä myös paljon sovellutuksia, joissa käytetään räätälöityjä puolivalmiita teräslevyjä (Tailored Blank), joille on ominaista levyn paksuuden, materiaalin tai materiaalien ominaisuuksien paikallinen vaihtelu. Nämä ominaisuudet on valmiiksi optimoitu myöhempää valmista tuotetta varten. Tällä tavoin pystytään saamaan halutut ominaisuudet siihen kohtaan tiettyä osaa mihin halutaan, esimerkik-

si keventämään kohdasta missä ei tarvita erityisen paksua tai tukevaa rakennetta. Eri materiaalit liitetään toisiinsa laserhitsauksella. (Merklein M, Johannes M, Lechner M, Kuppert A. 2013)

Kuvassa 7 TWB Companyn valmistamia räätälöityjä levyjä. Samassa kappaleessa on mahdollista käyttää esimerkiksi useampaa eri AHSS -terästä.



Kuva 7. (Merklein M, ym. 2013)

3.2.3 Meriteollisuus



Kuva 8. Ultralujien terästen mahdollisia käyttökohteita meriteollisuudessa.

Billingham J, Sharp J, Spurrier J, Kilgallon P. (2003) kertovat teoksessaan että kiinteissä offshore-rakenteissa on perinteisesti käytetty tavanomaisia 355MPa myötölujuuden rakenneteräksiä. Näiden terästen vaaditut ominaisuudet on määritelty tarkasti erilaisissa standardeissa. Viime vuosina on kuitenkin alettu käyttää lisäksi korkeampien myötölujuuksien (500-700MPa) teräksiä, lähinnä korkeammalla (vedenpinnan yläpuolella) sijaitsevien tasojen sovelluksissa, mutta enenevässä määrin myös rakenteissa. Näiltä on kuitenkin puuttunut osittain yleiset luokitukset ja standardit, mikä on rajoittanut käyttöä offshore käytössä.

Haasteen suurlujuusterästen käyttöön offshore-sovelluksissa on tuonut vetyhaurastumista estävät katodiset suojat. Korkeamman lujuuden teräs on herkempi vedylle verrattuna keskilujisiin teräsiin, jolloin tarvitaan positiivisempi suojapotentiaali hyvän korroosioneston saavuttamiseksi. Tähän on tutkittu erilaisia ratkaisuja jännitettä rajaavista diodeista, sekä positiivisemmän potentiaalilin omaavista anodeista, mutta molemmat ovat edellyttäneet tarkempia kenttäkokeita. Käytännön kokemuksia lujista teräksistä porauslautoilla, joilla ei ole mahdollisuutta kuivaan telakkatarkistukseen löytyy vuodesta 1996. Nämä on huolellisesti suunniteltu siten, että vältetään käyttämästä lujia teräksiä alueilla mitkä ovat erityisen alttiita vetyhaurastumiselle. (Billingham J, ym. 2003)

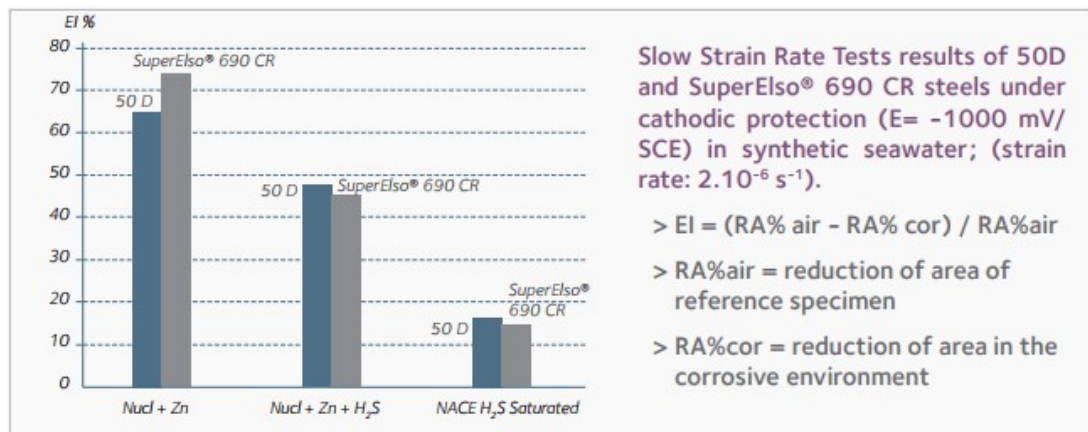
Toisen merkittävän haasteen on tuonut suurempien teräslujuuksien hitsattavuus, koska korkeiden mekaanisten ominaisuuksien lisäksi myös tarvittavat ainepaksuudet ovat yleensä suuria. Hitsattaessa paksua ja lujaa terästä tarvitaan usein enemmän lämpökäsittelyä ennen ja jälkeen hitsauksen, kuin mitä tarvitaan alle 450MPa myötölujuuksien teräksissä. Alle 450MPa myötölujuuden teräslaatuja käytettäessä voidaan saada säästöjä sekä ajankäytössä, että kustannuksissa, koska voidaan välttyä kokonaan esimerkiksi jännityksenpoistohehkukselta (n. 40mm levynpaksuudella). (Billingham J ym: HSLA Steels 2015, Microalloying 2015 & Offshore Engineering Steels 2015)

Suurempien lujuuksien teräkset vaativat tarkan prosessointitekniikan ja kemiallisen koostumuksen suunnittelun, koska esilämmitys tai suuri lämmöntuonti kappaletta hitsattaessa saattaa aiheuttaa austeniittikiteen karkenemistä ja siten vaikuttaa merkittävästi sitkeyden heikkenemiseen käsitellyllä alueella. (HSLA Steels 2015, Microalloying 2015 & Offshore Engineering Steels 2015) Vaikka teräsvalmistajilla on tarkat ohjeet materiaalin hitsaukseen ja käsittelyyn, on olosuhteiden vaikutukset otettava huomioon jokaista sovellutusta suunniteltaessa.

Esimerkkinä nykyaikaisesta offshore käyttöön tarkoitettusta suuren lujuuden teräksestä on otettu Arcelor Mittalin valmistama SuperElso 690CR. SuperElso on nuorrutus-teräs, joka on valmistettu erityisesti offshore-sovelluksiin jotka vaativat raskaita ja paksuja levyjä korkeilla mekaanisilla ominaisuuksilla (mm. porauslautan jalat). Levynpaksuuksia on kymmeneen tuumaan asti ja sille luvataan levypaksuudesta riippuen parhaillaan yli 50 joulen iskusitkeys -60 asteen lämpötilassa. Kuvassa yhdeksän on alle 210mm levynpaksuuksille taatut, sekä tyypilliset mekaaniset ominaisuudet ja näiden alapuolella DNV:n ja ABS:n standardejen niille asettamat vaatimukset. Teräksen SSRT (Slow Strain Rate Test, Kuva 10) osoittaa, että myös katodinen suojaus toimisi samalla herkkyydellä samoissa testiolosuhteissa, kuin tavanomaiselle normalisoidulle (50 D) teräkselle. Kuvassa 11 näkyy SuperElson seosaineet. Hyvin alhaisen hiilipitoisuuden kerrotaan mahdollistavan materiaalin työstö tavanomaisissa olosuhteissa. (Arcelor Mittal [www-sivut](http://www-arcelor.com))

	YS (1/2 thickness)	UTS (1/4 thickness)	A%	KVT (1/4 thickness)	KVL (1/4 thickness)	KVT (1/2 thickness)
	(MPa)			-60°C (J)		-37°C (J)
Guaranteed	≥ 690	790 / 940	≥ 16	46 / 32 ave./mini.	46 / 32	46 / 32
Typical	770	840	20	65 / 120	80 / 130	50 / 110
DNV / ABS (≤150 mm)	≥ 690	770 / 940	≥ 14	46 / 32	69 / 48	/

Kuva 9. Taattu ja tyypillinen myötölujuus, murtolujuus, murtovenymä, sekä iskutes-
tit eri lämpötiloissa. (Arcelor Mittal www-sivut)



Kuva 10. SSRT SuperElso 690:lle osoittaa katodisen suojauksen toimivan samoin
kuin tavanomaiselle normalisoidulle teräkselle. (Arcelor Mittal www-sivut)

	C	Mn	Si	P	S	Ni	Mo	Cr	Al
SuperElso® 690 CR	≤ 0.15	≤ 1.2	0.15/0.45	≤ 0.01	≤ 0.002	≤ 4	≤ 0.7	≤ 0.7	≤ 0.05
DNV	≤ 0.18	≤ 1.70	0.1/0.5	≤ 0.025	≤ 0.02				0.04/0.1
ABS	≤ 0.16	0.9/1.6	0.1/0.5	≤ 0.025	≤ 0.025				0.04/0.1

Kuva 11. Seosaineet. Matalan hiilipitoisuuden kerrotaan mahdollistavan materiaalin
työstö tavanomaisissa olosuhteissa (Arcelor Mittal www-sivut)

4. YHTEENVETO

Tämän insinööriyön tarkoituksena oli syventyä ultralujiin teräksiin. Tutkimuksessa perehdyttiin ultralujien terästen ominaisuuksiin, valmistukseen ja käyttökohteisiin. Ultralujien terästen keskeisiä ominaisuuksia ovat keveys, parempi iskutkeys ja kulumiskestävyys. Niiden työstämistä, särmättävyyttä, hitsattavuutta, on tutkittu jo melko laajasti. Ultralujien terästen tutkijoiden ja kehittäjien määrä on myös lisääntynyt huomasti viime vuosien aikana, sillä tietoa niiden mahdollisuuksista kaivataan koko ajan lisää. Tutkimustyö suuntautuu enenevässä määrin myös nanoluokan raekoon teräksiin. Tällä tarkoitetaan raekoon pienentymistä alle kymmenesosaan ultralujan teräksen raekoosta. Ultralujista teräksistä siirryttäessä joskus mahdollisesti nanorakenteisiin tai seostettuihin teräslaatuihin, muuttuisi ominaisuudet valtavasti ja työstettävyyttä pitäisi tarkastella taas uudelleen, eli jatkotutkimusaiheita voisi olla ainakin näiden ominaisuuksista tai käsittelystä.

Lisäksi työssä perehdyttiin ultralujien terästen käyttöön ja käyttökohteisiin. Ultralujien terästen käyttö on levinnyt jo laajasti eri käyttötarkoituksiin autoteollisuudessa, meriteollisuudessa sekä muissa erilaisissa lujutta vaativissa rakenteissa. Yhä useammat teollisuuden toimijat käyttävät ultralujia teräksiä ja korvaavat niillä aikaisempia materiaaleja, vaikka ne asettavatkin yhä haasteita monien sovellusten toteutukseen. Hienoraeterästen tutkimusten eteneminen avaa varmasti vielä lisää ovia myös uusille käyttökohteille ja ultralujien terästen hyödyntäminen eri teollisuudenaloilla monipuolistuu entisestään.

5. POHDINTA

Opinnäytetyön aihe oli itselleni aloittaessa hieman vieras, joskin mielenkiintoinen. Koen työn olleen hyvin opettavainen. Aineistoa kasatessa sain laajasti materiaalituntemusta niin teräksistä, kuin myös muista yleisistä valmistusmateriaaleista aihealueen ulkopuolelta.

Suomenkielisiä lähteitä löytyi hyvin vähän, joten oman haasteensa toi itselle tuntemattomien termien kääntäminen suuntaan ja toiseen. Myöskin rajauksessa oli hieman haastetta, koska ultralujan teräksen määritelmä poikkesi melko paljon lähteestä riippuen, eikä täysin yleispätevää määritelmää sille tuntunut löytyvän.

Työtä aloittaessani tarkoitukseni oli selvittää vastaukset yksinkertaisiin kysymyksiin: ”Miten kyseisiä teräksiä valmistetaan?”, ”Mitkä ovat niiden ominaisuuksia?”, ”Kuka käyttää ja millaisissa käyttökohteissa?” ja ”Onko valmistuskustannuksilla tai -prosessilla vaikutus käytön laajuuteen”. Opinnäytetyöni rakentuukin melko pitkälti näiden ympärille, joskin käytön laajuus yllätti minut suuresti. Ymmärsin vasta työn edetessä ultralujia teräksiä olevan käytössä jo lähes kaikkialla, ja kehityksen menevän vauhdilla eteenpäin.

Uskon, että kehitys tulee myös pysymään vauhdikkaana niin tuotantoprosessien kuin tuotesuunnittelunkin osalta. Teräksen teoreettiset lujuudet ovat vielä todella kaukana ja jos(kun) tarvittavat lujuudet ovat saatavissa yhä pienemmällä materiaalintarpeella, lähitulevaisuuden innovaatiot painottunevat yhä sinne. Tulevaisuudessa voisi kuvitella olevan saatavilla myös nykyistä helpommin muovattavia ultralujia teräksiä, jotka korvaisivat hiljalleen tavanomaiset teräkset kohteista joissa ei ole ollut aiemmin tarvetta esimerkiksi keventää rakenteita ja samalla nostaa kustannuksia vaikeampien työstömenetelmien vuoksi.

LÄHTEET

Arcelor Mittal internet-sivut

<http://industeel.arcelormittal.com/products/offshore/high-strength-for-jack-up/superelso-690cr/> Viitattu 11.11.2017

Billingham J, Sharp J V, Spurrier J, Kilgallon P J. Review of the performance of high strength steels used offshore, Health and Safety Executive. 2003

<http://www.hse.gov.uk/research/rrpdf/rr105.pdf> viitattu 10.11.2017

Hodgson P.D, Timokhina I, Beladi H, Dorin T, Stanford N, Cai M. Engineering Steels at the Nanoscale for Improved Performance. 2016

HSLA Steels 2015, Microalloying 2015 & Offshore Engineering Steels 2015, The Chinese Society for Metals. Springer, 2017

International Association of Classification Societies LTD internet-sivut:
http://www.iacs.org.uk/document/public/Publications/Unified_requirements/PDF/UR_I_pdf410.pdf Viitattu 2.5.2017

Keeler S, Kimchi M. Advanced High-Strength Steels Application Guidelines. WorldAutoSteel, 2013

Leinonen J. Processing steel for higher strength. Advanced materials & processes, 2001

Merklein M, Johannes M, Lechner M, Kuppert A. A review of tailored blanks – Production, applications and evaluation. Journal of Materials Processing Technology Vol 214, Issue 2. Institute of Manufacturing Technology, Germany. 2013

Patentti US 6027587 A, 1994 <https://www.google.ch/patents/US6027587>

Rissanen T. Ultralujien terästen käyttö ja konepajaprosessit, Tekninen raportti Kemi-Tornion ammattikorkeakoulun julkaisuja Sarja B. Raportit ja selvitykset, 2011

Ruoppa R, Kesti V. Ultralujien terästen särmättävyyden tutkimus Arctic Steel and Mining(ASM) tutkimusryhmässä. Lumen 1/2016 TEEMA-ARTIKKELI, 2016

SSAB internet-sivut <http://www.ssab.fi/tuotteet/brandit/docol> Viitattu 18.5.2017

Väisänen P. Teräs, Vammalan kirjapaino Oy, 2007, Vammala