

Kimmo Keltamäki

Tasalujat hitsauslangat ultralujille teräksille

Kirjallisuusselvitys



SEI 15.0kV X500 WD 10.5mm 10μm

Tasalujat hitsauslangat ultralujille teräksille

Kimmo Keltamäki

Tasalujat hitsauslangat ultralujille teräksille

Kirjallisuusselvitys

Sarja B. Raportit ja selvitykset 7/2013

© Kemi-Tornion ammattikorkeakoulu ja tekijät

ISBN 978-952-5897-61-6 (pdf)
ISSN 1799-831X (verkkojulkaisu)
ISSN-L 1799-2834

Kemi-Tornion ammattikorkeakoulun julkaisuja
Sarja B. Raportit ja selvitykset 6/2013

Rahoittajat: Ruukki, Kemi-Tornion ammattikorkeakoulu

Kirjoittaja: Kimmo Keltamäki
Kannen kuva: Kimmo Keltamäki
Graafinen suunnittelu ja toteutus: Pia Kuha

Kemi-Tornion ammattikorkeakoulu
PL 505
94101 Kemi
Puh. 010 353 50

www.tokem.fi/julkaisut



Lapin korkeakoulukonserni LUC on yliopiston ja kahden ammattikorkeakoulun strateginen yhteenliittymä. Konserniin kuuluvat Lapin yliopisto, Kemi-Tornion ammattikorkeakoulu ja Rovaniemen ammattikorkeakoulu.

www.luc.fi

Sisällys

1	JOHDANTO	7
2	KIRJALLISUUSSELVITYKSEN TAVOITTEET	9
3	TASALUJAT LISÄAINEET OPTIM 960 QC TERÄKSELLE	11
3.1	Umpilangat	12
3.1.1	Union X 90	12
3.1.2	Union X 96	13
3.1.3	Böhler X 90-IG	13
3.1.4	OK Aristorod 89	14
3.1.5	Fliess ED-FK 1000	14
3.1.6	Midalloy ER120S-G	15
3.1.7	Midalloy ER4130	15
3.1.8	Elgamatic 138	16
3.1.9	Lincoln LNM MoNiCr	16
3.2	Täytelangat	16
3.2.1	Stein-Megafil 1100 M	16
3.2.2	Stein-Megafil 807 M	17
3.2.3	Stein-Megafil 807 B	17
3.2.4	Stein-Megafil 745 B	17
3.2.5	Filarc PZ6149	18
4	LISÄAINELANKOJEN VERTAILU	19
4.1	Umpilangat	19
4.2	Täytelangat	21
	LÄHTEET	23
	LIITE 1	25

1 Johdanto

Tässä kirjallisuusselvityksessä perehdytään tutkimaan tasalujan lisäaineen koostumuksen vaikutusta liitoksen lujuuteen ja sitkeyteen ultralujilla teräksillä. Valittavien lisäaineiden myötölujuusluokan täytyy olla yli 890 MPa ($R_{p0,2} > 890 \text{ MPa}$). Kirjallisuusselvityksen pohjalta valituilla langoilla tehdään hitsauskokeita, joiden tuloksia vertaillaan eri koostumusten vaikutuksista. Hitsauskokeisiin liittyy myös standardien mukaiset aineenkoetuskokeet, joilla todennetaan hitsausliitosten mekaaniset ominaisuudet. Näiden kokeiden tarkat tulokset ja analysoinnit löytyvät Antti Balkin opinnäytetyöstä ”Tutkimus tasalujan lisäaineen koostumuksen vaikutuksesta hitsin lujuuteen ja sitkeyteen Ruukin Optim 960 QC -teräksellä”.

2 Kirjallisuusselvityksen tavoitteet

Tämän kirjallisuusselvityksen tavoitteena on kartoittaa kaupallisesti saatavilla olevia myötölujuudeltaan yli 890 MPa olevia hitsauslisäaineita ($R_{p0,2} > 890 \text{ MPa}$). Selvityksen tavoitteena on tehdä vertailevaa tutkimusta löytyvien lankojen koostumuksien, mekaanisten ominaisuuksien ja muiden teknisten vaatimusten osalta. Hitsauskokeet tehdään MAG-hitsauksena ja aineenkoetus standardin mukaisin menetelmäkokein. Aineenkoetustuloksista tehdään eri lisäaineilla valmistettujen liitosten mekaanisten ominaisuuksien vertaileva testaus.

3 Tasalujat lisäaineet

Optim 960 QC teräkselle

Ultralujia teräksiä voidaan hitsata kaikilla tavanomaisilla hitsausmenetelmillä kunhan noudattaa terästen yleisiä hitsausohjeita ja valmistajan laatimia hitsaussuosituksia. Esilämmitystä ei normaalioloissa tarvita, koska hiiliekvivalenttiarvot ovat kohtuullisia ja levyt ovat ohuita. Vetytitoisuuteen on kiinnitettävä erityistä huomiota, koska kyseessä on ultralujateräs. Ultralujien terästen hitsauksessa on hitsin vetytitoisuuden pysyttävä erityisen matalana, $HD \leq 5 \text{ ml}/100 \text{ g}$. Alhainen vetytitoisuus onnistuu helposti umpilangoilla, mutta korostuu täytelangoilla hitsattaessa. Railopintojen on myös oltava erityisen puhtaat ja kuivat ennen hitsausta ja hitsauksen aikana. Huomiota pitää kiinnittää myös hitsauksen kohtuulliseen lämmöntuontiin ja hitsausaineiden asianmukaiseen valintaan. /1, 2/

Hitsausmenetelmistä käytetyin on kaasukaarihitsaus, joko umpilankaa tai täytelankaa käyttäen. Tässä tutkimuksessa perehdytään molempiin lankatyyppeihin. Lisäksi suositeltavia menetelmiä ovat pulssi-MAG, laserhitsaus ja laser-MAG -yhdistelmähitsaus, joka tunnetaan myös laserhybridihitsauksena. Kaikilla menetelmillä voidaan hitsata laadukkaasti pienellä ja keskitetyllä lämmöntuonnilla. /1/

Kun halutaan hitsausauman lujuusominaisuuksien olevan lähellä perusaineen lujuutta, käytetään tasalujia lisäaineita. Tasalujien hitsausaineiden standardin mukainen myötölujuusluokka on 89 (vähintään 890 MPa). Tasalujista hitsausaineista teräkselle Optim 960 QC suositellaan standardin EN 16834:2007 GMn4Ni2CrMo (argon + CO₂-seoskaasu) mukaisia MAG-hitsausaineita.

Mikäli halutaan perusaineen kanssa tasaluja hitsausauma, on rajoitettava hitsauksen lämmöntuonnin päästövaikutusta muutosvyöhykkeellä (HAZ). Seuraavat toimenpiteet edistävät tavoitteen saavuttamista:

- Pienen lämmöntuonnin menetelmien käyttäminen, kuten laserhitsaus, pulssi-MAG ja laser-MAG. /1/
- Kaarienergian enimmäisarvo yli 4 mm levypaksuudella on 0,5 kJ/mm ja alle 4 mm paksuudella 0,4 kJ/mm. /1/
- Jäähdytysaika 800 °C:sta 500 °C:een ($t_{8/5}$) ei ylitä 4 sekuntia. /1/

- Pyritään mahdollisimman pieneen railotilavuuteen. Mitä pienempi tilavuus sulaa materiaalia yhden hitsauksen aikana muodostuu, sitä pienempi on lämpömäärä ja vastaava pehmeneminen. Esimerkiksi päittäisliitosten viistekulma V- ja HV -railoissa saa olla enintään 50°, kun levypaksuus on yli 4 mm. /1/
- Monipalkkohitsauksessa palkojen välisenä lämpötilana käytetään huoneenlämpötilaa (+20 °C). /1/
- Hitsattavat levypinnat pidetään puhtaina, kuivina ja vähintään huoneenlämpötilassa, jolloin esikuumennusta ei tarvita. /1/
- MAG-hitsauksessa käytetään lujuusluokan 89 (vähintään 890 MPa) umpilankaa, jonka halkaisija on 1,0 mm standardin EN 16834:2007 (Hitsausaineet. Hitsauslangat, hitsaussauvat ja hitsiaineet lujien terästen kaasukaarihitsaukseen. Luokittelu) mukaisesti. /1/
- *Standardi EN 18276:2006 (Hitsausaineet. Täytelangat lujien terästen MAG-täytelankahitsaukseen ja suojakaasuttomaan täytelankahitsaukseen. Luokittelu) määrittelee vastaavasti täytelangalla hitsauksen (ei mainintaa Ruukin ohjeistuksessa).*

3.1 UMPILANGAT

3.1.1 Union X 90

Union X 90 on luokittelun G 89 6 M Mn₄Ni₂CrMo mukainen kohtalaisesti seostettu umpilanka nuorrutettujen hienorakeisten rakenneterästen MAG -hitsaukseen. Erinomaisen luja hitsimetalli matalassa lämpötilassa kun hitsataan seoskaasulla. Hyvä vastustuskyky kylmähälkeämistä vastaan langan puhtaudesta johtuen. Käytetään nostureissa ja autoteollisuudessa. Hitsausvirta DC+. Suojakaasu M₂ ja M₃.

Lanka	C (%)	Si (%)	Mn (%)	Cr (%)	Ni (%)	Mo (%)
Union X90	0,1	0,8	1,8	0,35	2,3	0,6

Lanka	Rp0,2 (MPa)	Rm (MPa)	A5 (%)	KV +20C (J)	KV -40C (J)	KV -60C (J)
Union X90	890	950	15	90	-	50

3.1.2 Union X 96

Union X 96 on luokittelun G 89 5 M Mn₄Ni_{2,5}CrMo mukainen kohtalaisesti seostettu umpilanka nuorrutettujen hienorakeisten nosturi- ja ajoneuvoteollisuuden rakennerästen hitsaukseen. Hyvä muodonmuutoskyky huolimatta erittäin suuresta lujuudesta. Hyvä vastustuskyky kylmähalkeamista vastaan langan puhtaudesta johtuen. Hitsausvirta DC+. Suojakaasu M2.

Lanka	C (%)	Si (%)	Mn (%)	Cr (%)	Ni (%)	Mo (%)
Union X96	0,12	0,8	1,9	0,45	2,35	0,55

Lanka	Rp0,2 (MPa)	Rm (MPa)	A5 (%)	KV +20C (J)	KV -40C (J)	KV -50C (J)
Union X96	930	980	14	80	-	50

3.1.3 Böhler X 90-IG

Böhler X 90-IG on luokittelun G 89 6 M Mn₄Ni₂CrMo mukainen matalaseostettu umpilanka lujien (Rp min. 890 MPa), lämpökäsiteltyjen, hienorakeisten rakennerästen hitsaukseen. Mikrooseostuksesta johtuen lanka omaa erinomaisen muokkautumiskyvyn ja sillä on hyvä vastustuskyky halkeamia vastaan korkeasta lujuudesta huolimatta. Hyvä iskuenergia kylmissä lämpötiloissa aina -60°C asti. Suojakaasu Ar + 15-25% CO₂.

Lanka	C (%)	Si (%)	Mn (%)	Cr (%)	Ni (%)	Mo (%)
Böhler X 90-IG	0,1	0,8	1,8	0,35	2,25	0,6

Lanka	Rp0,2 (MPa)	Rm (MPa)	A5 (%)	KV +20C (J)	KV -40C (J)	KV -50C (J)	KV -60C (J)
Böhler X 90-IG	915	960	20	130	-	-	47

3.1.4 OK Aristorod 89

OK Aristorod 89 on luokittelun G 89 4 M Mn₄Ni₂CrMo mukainen kuparoimaton matalaseostettu umpilanka ultralujien terästen hitsaukseen vaativiin kohteisiin. Soveltuu myös kohteisiin, joissa vaaditaan matalanlämpötilan iskutietoisuutta. Langalla voidaan hitsata korkeilla virta-arvoilla, ilman häiriöitä langansyötössä, vähemmällä roiskeilla ja vakaalla valokaarella. Tämä aikaansaadaan uudella ASC pintakäsittelyllä (Advanced Surface Characteristics). Suojakaasu M21.

Lanka		C (%)	Si (%)	Mn (%)	Cr (%)	Ni (%)	Mo (%)	V (%)	Cu (%)	Al (%)	Ti (%)
	min	0,08	0,6	1,6	0,25	2,1	0,45				
OK AristoRod 89	max	0,12	0,9	2,1	0,45	2,3	0,65	0,03	0,15	0,03	0,15

Lanka	Rp0,2 (MPa)	Rm (MPa)	A5 (%)	KV +20C (J)	KV -40C (J)	KV -50C (J)	KV -60C (J)
OK AristoRod 89	920	1000	18	-	60	-	-

3.1.5 Fliess ED-FK 1000

Fliess ED-FK 1000 on luokittelun G Mn₄Ni₂CrMo mukainen kuparipinnoitettu umpilanka lujien hienorakeisten rakenneterästen hitsaukseen, esim. S890QL. Myötölujuusluokka jää hieman alkuperäisten määrittelyjen ulkopuolelle, mutta lanka otetaan kuitenkin vertailuun mukaan.

Lanka	C (%)	Si (%)	Mn (%)	Cr (%)	Ni (%)	Mo (%)
Fliess ED-FK 1000	0,09	0,8	1,8	0,31	2,2	0,55

Lanka	Rp0,2 (MPa)	Rm (MPa)	A5 (%)	KV +20C (J)	KV -40C (J)	KV -50C (J)	KV -60C (J)
Fliess ED-FK 1000	885	940	14	70	-	-	47

3.1.6 Midalloy ER120S-G

Midalloy ER120S-G on luokittelun G 89 4 M Mn₄Ni₂CrMo mukainen kohtalaisesti seostettu kuparipinnoitettu umpilanka MAG –hitsaukseen. Langalla voidaan hitsata HY-100 (R_m > 689 MPa) tyyppisiä ja vastaavia teräksiä. Hitsi omaa korkean lujuuden kuten myös matalan lämpötilan sitkeyden. Hitsillä on hyvä vastustuskyky kylmähalkeamia vastaan. Sitä käytetään suurissa ajoneuvoissa ja nosturien valmistuksessa, kuten myös suuren lujuuden paineestioissa ja joissain lämpökäsitellyissä teräksissä.

Lanka	C (%)	Si (%)	Mn (%)	Cr (%)	Ni (%)	Mo (%)	V (%)	Cu (%)	Al (%)	Ti (%)	Zr (%)
Midalloy ER120S-G	0,09	0,8	1,9	0,4	2,15	0,55	0,004	0,13	0,01	0,08	0,012

Lanka	Rp0,2 (MPa)	Rm (MPa)	A5 (%)	KV +20C (J)	KV -40C (J)	KV -50C (J)	KV -60C (J)
Midalloy ER120S-G	890	950	16	-	66	-	-

3.1.7 Midalloy ER4130

Midalloy ER4130 on matalaseostettu umpilanka MAG –hitsaukseen. Sitä ei ole luokiteltu standardin mukaan. Sillä voidaan hitsata erittäin lujia matalaseostettuja teräksiä, sekä työkaluteräksiä, kuten AISI 4130, 4140, 4150 ja 4340. Voidaan käyttää joissain tapauksissa myös AISI 8620 hitsaukseen. Hitsi omaa korkean lujuuden myös hitsattuna ja sillä on myös riittävä sitkeys (15%). Suojakaasu Ar + 25% CO₂.

Lanka	C (%)	Si (%)	Mn (%)	Cr (%)	Ni (%)	Mo (%)	V (%)	Cu (%)	Al (%)	Ti (%)	Zr (%)
Midalloy ER4130	0,31	0,25	0,52	0,92	0,05	0,2	0,004	0,21	0,016		0,004

Myötölujuus	896 MPa	620 MPa	1172 MPa
Murtolujuus	1000 MPa	758 MPa	1227 MPa
Venymä % - kovuus RC	11% - 32 RC	20% - 26 RC	7% - 40 RC
Tila	A	B	C

A: PWHT (hits. jälk. myöstö) 620°C (1150°F), normalisointi 845°C (1550°F) ja päästö 566°C (1050°F)

B: PWHT 620°C (1150°F)

C: PWHT 620°C (1150°F), normalisointi 900°C (1650°F) ja päästö 430°C (800°F).

Mekaanisiin ominaisuuksiin on suuri vaikutus esilämmityksellä, palkojen välisellä lämpötilalla ja myöstöllä.

Normaali esilämmitys 204°C (400°F) ja palkojen välinen lämpötila 430°C (800°F). Hidas hitsauksen jälkeinen jäähtyminen estää halkeamien syntymisen. Viimeinen lämpökäsittely määrittelee fysikaaliset ominaisuudet.

3.1.8 Elgamatic 138

Elgamatic 138 on luokittelun G Mn₄Ni₂CrMo mukainen kuparipinnoitettu umpilanka MAG -hitsaukseen. Langalla on tarkoitettu hitsattavan erittäin lujia nuorrutettuja teräksiä, joiden minimi myötölujuus on 900 MPa, mutta voidaan hitsata myös 960 MPa myötölujuuden teräksiä, jos 5-10% alilujuus sallitaan. Suojakaasuna suositellaan seoskaasua Ar + 20% CO₂, koska näin saadaan parempi murtumissitkeys matalissa lämpötiloissa ja korkeampi lujuus. Voidaan kuitenkin käyttää myös pelkkää CO₂:sta. Hitsausvirta DC+. Kaasun virtaus 7-10 l/min.

Lanka	C (%)	Si (%)	Mn (%)	Cr (%)	Ni (%)	Mo (%)	V (%)	Cu (%)	Al (%)	Ti (%)	Zr (%)
Elgamatic 138	0,09	0,8	1,9	0,3	2,2	0,55	0,03	0,25	0,1	-	0,1

Lanka	Rp0,2 (MPa)	Rm (MPa)	A5 (%)	KV +20C (J)	KV -20C (J)	KV -40C (J)	KV -50C (J)	KV -60C (J)
Elgamatic 138	910	960	17	-	80	60	-	-

3.1.9 Lincoln LNM MoNiCr

LNM MoNiCr on luokittelun G 89 4 M Mn₄Ni₂CrMo mukainen niukkaseosteinen umpilanka lujien myötölujuudeltaan 890 MPa terästen hitsaukseen. Lanka omaa hyvät iskutkeysarvot vielä -60°C:ssa. Suojakaasu M21 (Ar + 15-25% CO₂) ja C1 (100% CO₂). hitsattavat materiaalit ovat hienoraeteräksiä.

Lanka	C (%)	Si (%)	Mn (%)	Cr (%)	Ni (%)	Mo (%)	V (%)	Cu (%)	Al (%)	Ti (%)	Zr (%)
LNM MoNiCr	0,09	0,8	1,8	0,3	2,2	0,55	-	-	-	-	-

Lanka	Rp0,2 (MPa)	Rm (MPa)	A5 (%)	KV +20C (J)	KV -20C (J)	KV -40C (J)	KV -50C (J)	KV -60C (J)	KV -110C (J)
LNM MoNiCr	890	950	15	-	-	70	-	50	-

3.2 TÄYTELANGAT

3.2.1 Stein-Megafil 1100 M

Stein-Megafil 1100 M on luokittelun T 89 4 Mn₂Ni₁CrMo M M 1 H₅ mukainen metallitäytelanka ilman kuonaa hitsattaessa Ar-CO₂ seoskaasulla. Käyttökohteita ovat nosturit, koneet, säiliöt ja laitekonstruktio. Hyvä uudelleensyntytyys kylmälläkin langalla, sopii hyvin robottihitsaukseen. Ideaali käyttää lyhytkarta ja kuumakarta. Erinomainen ilmaraon silloittamiseen juuren hitsauksessa. Korkea hyötysuhde ekonomisissa tuotteissa korkean lujuuden hienorakeisissa rakenneteräksissä. Vakaat mekaaniset ominaisuudet hitsimetalliin saadaan hitsattaessa korkeintaan lämmöntuonnilla 10 kJ/cm. Hitsausvirta DC+. Suojakaasu M21.

Lanka	C (%)	Si (%)	Mn (%)	Cr (%)	Ni (%)	Mo (%)	Rp0,2 (MPa)	Rm (MPa)	A5 (%)	KV +20C (J)	KV -20C (J)	KV -40C (J)
Stein-Megafil 1100 M	0,07	0,5	1,5	0,8	2,6	0,6	960	980	14	-	55	47

3.2.2 Stein-Megafil 807 M

Stein-Megafil 807 M on luokittelun T 89 o Z M M 1 H₅ mukainen metallitäytelanka ilman kuonaa hitsattaessa Ar-CO₂ seoskaasulla. Käyttökohteita ovat teräkset, koneet, säiliöt ja laitekonstruktiot. Hyvä uudelleensyntytyks kylmälläkin langalla, sopii hyvin robottihitsaukseen. Ideaali käyttää lyhytkaarta ja kuumakaarta. Erinomainen ilma-raon silloittamiseen juuren hitsauksessa. Stein-Megafil 807 M hitsimetalli voidaan lämpökäsitellä. Hitsausvirta DC+. Suojakaasu M21.

Lanka	C (%)	Si (%)	Mn (%)	Cr (%)	Ni (%)	Mo (%)	Rp0,2 (MPa)	Rm (MPa)	A5 (%)	KV +20C (J)	KV -20C (J)	KV -40C (J)
Stein-Megafil 807 M	0,05	0,6	1,3	1,2	2,3	0,6	890	940	15	47	-	-

3.2.3 Stein-Megafil 807 B

Stein-Megafil 807 B on luokittelun T 89 o Z B M 3 H₅ mukainen korkeaemäksinen jauhetäytelanka hitsattavaksi Ar-CO₂ seoskaasulla. Käyttökohteita ovat koneet, säiliöt, laitekonstruktiot ja tehtaet. Erittäin matalasta vetytitoisuudesta johtuen äärimmäisen hyvä vastustuskyky halkeamia vastaan. Voidaan hitsata taloudellisesti virumisen kestäviä CrMo -teräksiä. Sopii myös korjaushitsaukseen. Pieni roiskehäviö. Stein-Megafil 807 B hitsimetalli voidaan lämpökäsitellä.

Lanka	C (%)	Si (%)	Mn (%)	Cr (%)	Ni (%)	Mo (%)	Rp0,2 (MPa)	Rm (MPa)	A5 (%)	KV +20C (J)	KV -20C (J)	KV -40C (J)
Stein-Megafil 807 B	0,07	0,3	1,3	1,2	2,0	0,6	890	940	15	47	-	-

3.2.4 Stein-Megafil 745 B

Stein-Megafil 745 B on luokittelun T 89 4 Mn₂Ni₁CrMo B M 3 H₅ mukainen korkeaemäksinen jauhetäytelanka hitsattavaksi Ar-CO₂ seoskaasulla. Käyttökohteita ovat nosturit, koneet, säiliöt, laitekonstruktiot ja tehtaet. Erittäin matalasta vetytitoisuudesta johtuen äärimmäisen hyvä vastustuskyky halkeamia vastaan. Voidaan hitsata taloudellisesti lujia teräksiä ja matalan lämpötilan sitkeyden omaavia hienoraeteräksiä, joiden myötölujuus on yli 890 MPa (R_{p0,2} > 890 MPa). Pieni roiskehäviö. Vakaat mekaaniset ominaisuudet hitsimetalliin saadaan hitsattaessa korkeintaan lämmöntonnulla 12 kJ/cm. Hitsausvirta DC+. Suojakaasu M21.

Lanka	C (%)	Si (%)	Mn (%)	Cr (%)	Ni (%)	Mo (%)	Rp0,2 (MPa)	Rm (MPa)	A5 (%)	KV +20C (J)	KV -20C (J)	KV -40C (J)	KV -60C (J)
Stein-Megafil 745 B	0,05	0,4	1,6	1,0	1,8	0,6	890	940	15	-	55	47	-

3.2.5 Filarc PZ6149

Filarc PZ6149 on luokittelun T 89 5 Z B M 2 H5 mukainen jauhetäytteinen asentohitsauslanka, jolla hitsataan myötölujuudeltaan 890 MPa teräksiä. Suojakaasuna käytetään Ar/CO₂ seoskaasua. Hyvä iskutikeys -50°C. Liitosvirheen mahdollisuus PF asentohitsauksessa voidaan välttää hitsattaessa sekakaarialueella, koska näin saadaan kuumempi kaari ja syvämpi tunkeuma kuin tavallisesti täytelangoilla hitsattaessa lyhytkaarialueella. Muut asennot kannattaa hitsata kuumakaarialueella. Helppo kuo-
nan irtoaminen. 1,0mm langanpaksuus on hyvä hitsattaessa putkia 5G asennoissa, sisältäen hyvän juuren hitsauksen. Hyvä juuripalko saadaan aikaiseksi keraamista juuritukea käyttäen. Kaikilla hitsausparametreilla hitsimetalli vetypitoisuus jää H5 luokan alle.

4 Lisäainelankojen vertailu

Lujien terästen ($R_{p0,2} > 890$ MPa) hitsaukseen tarkoitettuja hitsauslisäaineita löytyi yllättävän laaja kirjo eri valmistajilta. Näiden lankojen kartoittaminen on tehty kirjallisuusselvityksenä eri langanvalmistajien suositusten ja ohjelehtisten perusteella. Myös joitain lankoja on löydetty teräsvalmistajien suosituksista, mutta niitä ei kovin laajasti ollut saatavilla. Johtunee terästen uutuusasteesta, jolloin laajoja ohjeistuksia ei vielä ole tehty. Seuraavat vertailut on tehty koostumusten ja mekaanisten ominaisuuksien perusteella. Tiedot on kerätty taulukoihin, joista nähdään eroavaisuudet eri lankojen osalta. Taulukkojen tietoihin pitää suhtautua varauksella, koska ne ovat langanvalmistajien tavoite/suositusarvoja, jolloin eroavaisuutta todellisiin arvoihin voi esiintyä esimerkiksi eri valmistuserien välillä.

4.1 UMPILANGAT

Taulukko 1. Umpilankojen kemialliset koostumukset.

Lanka		C (%)	Si (%)	Mn (%)	Cr (%)	Ni (%)	Mo (%)	V (%)	Cu (%)	Al (%)	Ti (%)	Zr (%)
Union X90		0,1	0,8	1,8	0,35	2,3	0,6	-	-	-	-	-
Union X96		0,12	0,8	1,9	0,45	2,35	0,55	-	-	-	-	-
Böhler X 90-IG		0,1	0,8	1,8	0,35	2,25	0,6	-	-	-	-	-
OK AristoRod 89	min	0,08	0,6	1,6	0,25	2,1	0,45					
	max	0,12	0,9	2,1	0,45	2,3	0,65	0,03	0,15	0,03	0,15	0,03
Fliess ED-FK 1000		0,09	0,8	1,8	0,31	2,2	0,55	-	-	-	-	-
Midalloy ER120S-G		0,09	0,8	1,9	0,35	2,15	0,55	0,004	0,13	0,01	0,08	0,012
Midalloy ER4130		0,31	0,25	0,52	0,92	0,05	0,2	0,004	0,21	0,016	0,004	
Elgamatic 138		0,09	0,8	1,9	0,3	2,2	0,55	0,03	0,25	0,1	-	0,1
LNM MoNiCr		0,09	0,8	1,8	0,3	2,2	0,55	-	-	-	-	-

Taulukko 2. Umpilankojen mekaaniset ominaisuudet.

Lanka	Rp0,2 (MPa)	Rm (MPa)	A5 (%)	KV +20C (J)	KV -20C (J)	KV -40C (J)	KV -50C (J)	KV -60C (J)
Union X90	890	950	15	90	-	-	-	50
Union X96	930	980	14	80	-	-	50	-
Böhler X 90-IG	915	960	20	130	-	-	-	47
OK AristoRod 89	920	1000	18	-	-	60	-	-
Fliess ED-FK 1000	885	940	14	70	-	-	-	47
Midalloy ER120S-G	890	950	16	-	-	66	-	-
Midalloy ER4130 *A*	896	1000	11	-	-	-	-	-
Elgamatic 138	910	960	17	-	80	60	-	-
LNM MoNiCr	890	950	15	-	-	70	-	50

Standardi SFS-EN ISO 16834:2007 ”Hitsausaineet. Hitsauslangat, hitsaussauvat ja hitsausaineet lujien terästen kaasukaarihitsaukseen. Luokittelu” määrittelee lujien terästen hitsaukseen käytettävien umpilankojen koostumusrajat ja mekaanisten ominaisuuksien vaatimusrajat. Alla oleva taulukko on koottu standardista löytyvistä taulukoista.

Taulukko 3. Standardin SFS-EN ISO 16834:2007 mukainen koostumuksen ja mekaanisten ominaisuuksien luokittelu.

Puhtaan hitsiaineen lujuusominaisuuksien tunnus (Myötölujuuteen ja 47 J:n iskuenergiaan perustuva luokittelu)				Puhtaan hitsiaineen tai hitsausliitoksen iskukitkeyden tunnus					
Tunnus	Vähimmäismyötölujuus ^a MPa	Murtolujuus MPa	Vähimmäismurtovenymä ^b %	Tunnus	Lämpötila vähimmäiskeskiarvoiskuenergialle 47 J ^{a, b} tai 27 J ^b °C				
55	550	640...820	18	Z	Ei vaatimuksia				
62	620	700...890	18	A ^a tai Y ^b	+20				
69	690	770...940	17	0	0				
79	790	880...1 080	16	2	-20				
89	890	940...1 180	15	3	-30				
				4	-40				
				5	-50				
				6	-60				
^a Myötölujuutena käytetään alemmaa myötörajaa (R _{0,2}). Jos myötömistä esiintyy, muuten käytetään 0,2-rajaa (R _{p0,2}). ^b Mittapituus on viisi kertaa sauvan halkaisija.				^a ks. 4.3A ^b ks. 4.3B					
Kemiallisen koostumuksen tunnus (Myötölujuuteen ja 47 J:n iskuenergiaan perustuva luokittelu)									
Tunnus	Kemiallinen koostumus, % (paino-%) ^{a, b}								
	C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Mo	Cu
Mn4Ni2CrMo	0,12	0,60...0,90	1,60...2,10	0,015	0,018	1,80...2,30	0,20...0,45	0,45...0,70	0,30
Mn4Ni2,5CrMo	0,13	0,50...0,80	1,60...2,10	0,015	0,018	2,30...2,80	0,20...0,60	0,30...0,65	0,30
^a Jos ei määritetty: Ti ≤ 0,10, Zr ≤ 0,10 ja Al ≤ 0,12. Teräksessä olevan jäänneoksidipitoisuuden, mukaan lukien pinnoite, pitää täyttää annetut arvot. ^b Yksittäiset arvot taulukossa tarkoittavat enimmäisarvoja.									

Standardin mukaiset arvot kemiallisen koostumuksen osalta täyttyvät kaikilla umpilangoilla. Sen sijaan puhtaan hitsiaineen vähimmäislujuusominaisuudet eivät täyty kaikkien osalta. Fliess ED-FK 1000 langalle ilmoitetaan vähimmäismyötölujuudeksi $R_{p0,2} > 885 \text{ MPa}$, mikä ei standardin mukaan riitä, vaan myötölujuuden pitäisi olla $> 890 \text{ MPa}$. Tällä perusteella tätä lankaa ei voida standardin mukaisissa kohteissa käyttää, mutta tähän vertailuun se on mukaan kuitenkin otettu.

Pääasiallisesti koostumuksen ja mekaanisten ominaisuuksien välillä ei ole suuria eroja. Poikkeuksena voidaan pitää standardisoimatonta Midalloy 4130 lankaa, mutta se on mukana koska sen mekaaniset ominaisuudet täyttyvät. Kemiallisen koostumuksen osalta eroavaisuuksia haettaessa voidaan nähdä Union X96 langan korkea hiilipitoisuus (0,12%, mikä on standardin maksimi), sekä saman langan korkein kromipitoisuus 0,45. Union X96 omaa myös hieman keskiarvoa korkeamman nikkelpitoisuuden. Esabin OK AristoRod 89 lanka on myös maksimi-arvoissa samoissa Union X96 langan kanssa, mutta Esab ilmoittaa koostumuksen suureholla hajonnalla. Muiden lankojen osalta ei voida nähdä silmiinpistäviä eroavaisuuksia.

Suurimmat arvot mekaanisten ominaisuuksien vertailussa omaa myötölujuuden osalta Union X96 (930 MPa), murtolujuudessa OK AristoRod 89 (1000 MPa) ja venymässä Böhler X 90-IG (20%). Parhaimmat ominaisuudet iskutkeyden osalta huoneenlämpötilassa on Böhlerin X 90-IG langalla (130J). Muiden lankojen iskutkeydet täyttävät standardin vaatimukset.

Heikoimmat standardin puitteissa olevat mekaanisten ominaisuuksien arvot myötö- ja murtolujuuden osalta on Union X90, Midalloy ER120S-G ja LNM MoNiCr langoilla ($R_{p0,2} = 890 \text{ MPa}$ ja $R_m = 950 \text{ MPa}$). Huonoin arvo venymän osalta löytyy standardin mukaisista langoista Union X96:lta, johtunee korkeasta hiilipitoisuudesta?

4.2 TÄYTELANGAT

Taulukko 4. Täytelankojen kemialliset koostumukset ja mekaaniset ominaisuudet.

Lanka		C (%)	Si (%)	Mn (%)	Cr (%)	Ni (%)	Mo (%)	Rp0,2 (MPa)	Rm (MPa)	A5 (%)	KV +20C (J)	KV -20C (J)	KV -40C (J)	KV -50C (J)
Stein-Megafil 1100 M		0,07	0,5	1,5	0,8	2,6	0,6	960	980	14	-	> 55	> 47	-
Stein-Megafil 807 M		0,05	0,6	1,3	1,2	2,3	0,6	890	940	15	> 47	-	-	-
Stein-Megafil 807 B		0,07	0,3	1,3	1,2	2,0	0,6	890	940	15	> 47	-	-	-
Stein-Megafil 745 B		0,05	0,4	1,6	1,0	1,8	0,6	890	940	15	-	> 55	> 47	-
Filarc PZ6149	min	0,06	0,3	1,6	0,8	2,0	0,4							
	max	0,1	0,5	2,0	1,1	2,6	0,6	890	950	14	-	> 47	-	> 35

Standardi SFS-EN ISO 18276:2006 ”Hitsausaineet. Täytelangat lujien terästen MAG-täytelankahitsaukseen ja suojakaasuttomaan täytelankahitsaukseen. Luokittelu”, luokittelee lujien terästen hitsaukseen käytettävien täytelankojen kemialliset koostumusrajat ja mekaanisten ominaisuuksien minimivaatimukset. Alla oleva taulukko on koottu standardista löytyvistä taulukoista. Liitteestä 1 voi nähdä täytelankojen standardin mukaisen nimeämistavan, että mitä mikäkin merkintä luokittelussa tarkoittaa. Standardista löytyy lisäksi muita tarkempia tietoja.

Taulukko 5. Standardin EN ISO 18276 mukainen mekaanisten ominaisuuksien ja koostumuksen luokittelu.

Puhtaan hitsiaineen lujuusominaisuuksien tunnus (myötölujuuteen ja 47 J:n iskuenergian perustuva luokittelu)				Puhtaan hitsiaineen iskusitkeysominaisuuksien tunnus	
Tunnus	Vähimmäis-myötölujuus ^a MPa	Murtolujuus MPa	Vähimmäismurtovenymä ^b %	Tunnus	Lämpötila, jossa vähimmäisiskuenergian vaatimus on 47 J ^a tai 27 J ^b °C
55	550	640...820	18	Z	Ei vaatimuksia
62	620	700...890	18	A ^a tai Y ^b	+20
69	690	770...940	17	0	0
79	790	880...1 080	16	2	-20
89	890	940...1 180	15	3	-30
				4	-40
				5	-50
				6	-60
				7	-70
				8	-80

^a Myötölujuutena käytetään aiempaa myötörajaa (R_{m}), jos myötämistä esiintyy, muuten käytetään 0,2-rajaa ($R_{p0,2}$).
^b Mittapituus on viisi kertaa koesauvan halkaisija.

^a Myötölujuuteen ja 47 J:n iskuenergian perustuva luokittelu (ks. 4.3A).
^b Murtolujuuteen ja 27 J:n iskuenergian perustuva luokittelu (ks. 4.3B).

Puhtaan hitsiaineen kemiallisen koostumuksen tunnus (myötölujuuteen ja 47 J:n iskuenergian perustuva luokittelu)									
Tunnus	Kemiallinen koostumus, % ^{a, b}								
	C	Mn	Si	P	S	Ni	Cr	Mo	V
Z	Jokin muu sovitettu koostumus								
MnMo	0,03...0,10	1,4...2,0	0,90	0,020	0,020	0,3	0,2	0,3...0,6	0,05
Mn1Ni	0,03...0,10	1,4...2,0	0,90	0,020	0,020	0,6...1,2	0,2	0,2	0,05
Mn1,5Ni	0,03...0,10	1,1...1,8	0,90	0,020	0,020	1,3...1,8	0,2	0,2	0,05
Mn2,5Ni	0,03...0,10	1,1...2,0	0,90	0,020	0,020	2,1...3,0	0,2	0,2	0,05
1NiMo	0,03...0,10	1,4	0,90	0,020	0,020	0,6...1,2	0,2	0,3...0,6	0,05
1,5NiMo	0,03...0,10	1,4	0,90	0,020	0,020	1,2...1,8	0,2	0,3...0,7	0,05
2NiMo	0,03...0,10	1,4	0,90	0,020	0,020	1,8...2,6	0,2	0,3...0,7	0,05
Mn1NiMo	0,03...0,10	1,4...2,0	0,90	0,020	0,020	0,6...1,2	0,2	0,3...0,7	0,05
Mn2NiMo	0,03...0,10	1,4...2,0	0,90	0,020	0,020	1,8...2,6	0,2	0,3...0,7	0,05
Mn2NiCrMo	0,03...0,10	1,4...2,0	0,90	0,020	0,020	1,8...2,6	0,3...0,6	0,3...0,6	0,05
Mn2Ni1CrMo	0,03...0,10	1,4...2,0	0,90	0,020	0,020	1,8...2,6	0,6...1,0	0,3...0,6	0,05

^a Yksittäiset arvot taulukossa ovat enimmäisarvoja.
^b Cu ≤ 0,3 ja Nb ≤ 0,05

Standardin mukaiset arvot mekaanisten ominaisuuksien ja kemiallisen koostumuksen osalta täyttyvät kaikilla täytelangoilla. Mekaaniset ominaisuudet ovat parhaat lujuimmalla 1100 langalla, kuten arvata saattoi. Muiden lankojen mekaaniset ominaisuudet ovat lähes identtiset.

Kemiallisissa koostumuksissa on kaikissa hieman eroa keskenään, kuten pitää ollakin, koska nämä on saman valmistajan hieman erilaisia lankoja. Filarc ilmoittaa ala- ja ylärajat pitoisuuksissa, jotka vaihtelee muiden lankojen kesken minimi ja maksimipitoisuuksien välillä.

Lähteet

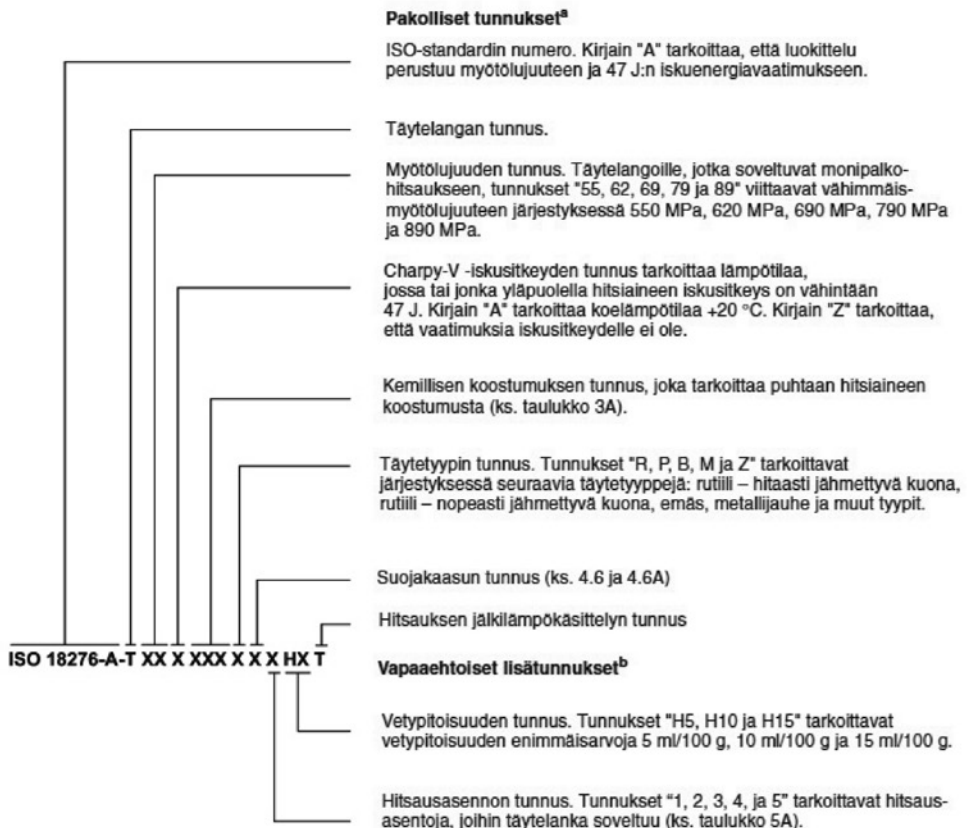
Optim QC rakenneteräkset, Ruukin ohjelehti, www.ruukki.fi, (4.4.2013)
Welding Weldox and Hardox, SSAB ohjelehti, www.ssab.com, (4.4.2013)

A.1 ISO 18276-A

Täytelankojen standardin ISO 18276 mukainen luokittelutapa, joka perustuu myötölujuuteen ja 47 J:n iskuenergiaan, on esitetty kuvassa A.1.

A.2 ISO 18276-B

Täytelankojen standardin ISO 18276 mukainen luokittelutapa, joka perustuu murtolujuuteen ja 27 J:n iskuenergiaan, on esitetty kuvassa A.2.



^a Näiden tunnusten yhdistelmä muodostaa täytelangan luokittelun.

^b Nämä tunnukset ovat vapaaehtoisia eivätkä ole osa pakollista täytelangan luokittelua.

Täytelankojen luokittelutapa, joka perustuu myötölujuuteen ja 47 J:n iskuenergiaan

Kirjallisuusselvityksen tavoitteena on kartoittaa kaupallisesti saatavilla olevia myötölujuudeltaan yli 890 MPa olevia hitsauslisäaineita ($R_{p0,2} > 890$ MPa). Selvityksen tavoitteena on tehdä vertailevaa tutkimusta löytyvien lankojen koostumuksien, mekaanisten ominaisuuksien ja muiden teknisten vaatimusten osalta. Hitsauskokeet tehdään MAG-hitsauksena ja aineenkoetus standardin mukaisin menetelmäkokein. Aineenkoetustuloksista tehdään eri lisäaineilla valmistettujen liitosten mekaanisten ominaisuuksien vertaileva testaus.