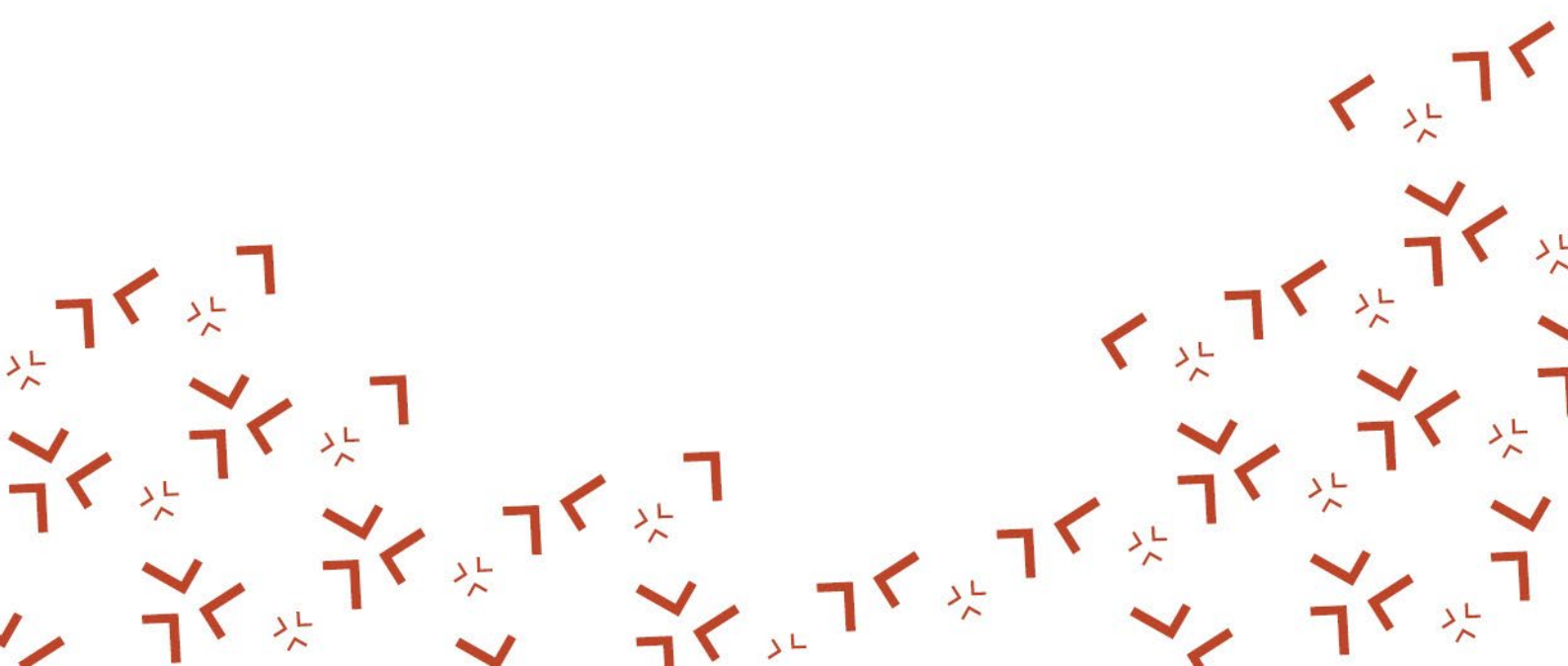


Tämä on alkuperäisen artikkelin rinnakkaistallenne (kustantajan versio).

Rinnakkaistallenteen sivuasettelut ja typografiset yksityiskohdat saattavat poiketa alkuperäisestä julkaisusta.

Käytä viittauksessa alkuperäistä lähdettä:

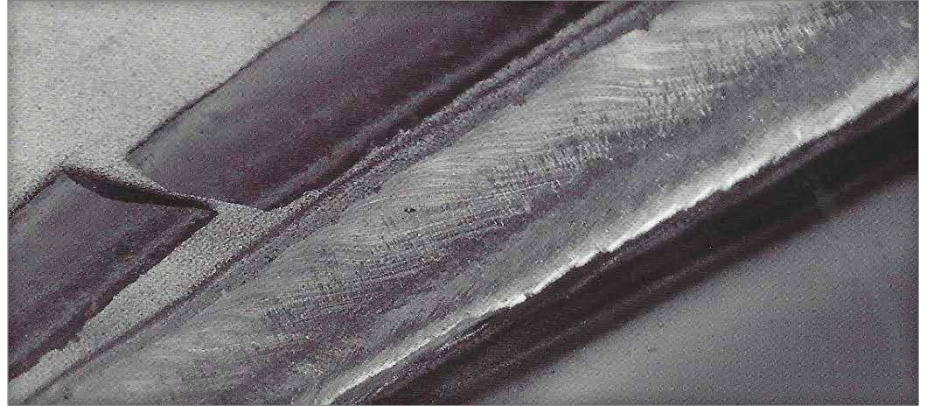
Kauppi, T. 2024. Ruostumattomat hitsit ja Schaeffler-diagrammit. Hitsaustekniikka. 76 (4), 28-31.



# HITSAUSMETALLURGIAA, OSA 10: Ruostumattomat hitsit ja Schaeffler-diagrammit

■ Timo Kauppi

Ferriittidiagrammien käyttö on hitsauskoordinoijan perustaitoja, kun hän arvioi ruostumattomien terästen hitsiin syntyvää mikrorakennetta. Oli kyseessä sitten austeniittisen tai austeniittis-ferriittisen ruostumattoman teräksen hitsin ferriittipitoisuuden tai eripariiliitokseen syntyvän mikrorakenteen arviointi. Ensimmäisessä tapauksessa on useimmiten kyse kuumahalkeilun estämisestä ja jälkimmäisessä pääsääntöisesti korroosionkestävyyden ja sitkeyden varmistamisesta.



Ruostumattomien terästen hitsimetallin mikrorakennetta voidaan tarkastella erilaisilla ferriittidiagrammeilla, joista vanhin nykyisin käytössä oleva on vuonna 1949 Anton Schaefflerin julkaisema diagrammi, jota kutsutaan ns. Schaeffler-diagrammi. Muita diagrammeja ovat mm. DeLong-, Eppy- ja WRC-diagrammit.

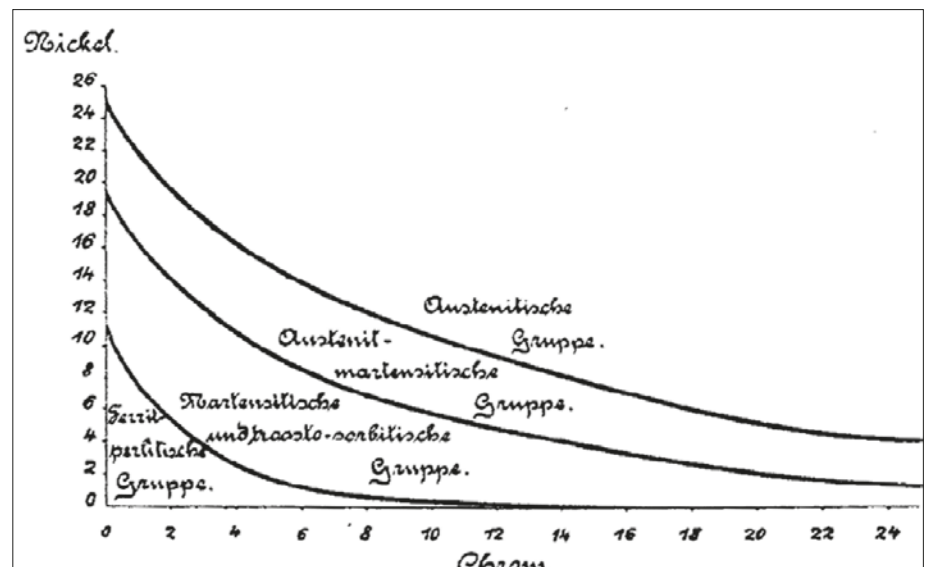
Ruostumattomien terästen mikrorakennetta ennustavia diagrammeja kehitettiin Saksassa jo 1920 ja 1930-luvuilla. Näitä olivat Straußin ja Maurerin diagrammi vuodelta 1920 (kuva 1) ja siitä edelleen kehitetyt, vuonna 1939 julkaistut Schererin, Riedrichin ja Hochin diagrammit (kuva 2). Näissä diagrammeissa esitettiin ruostumattomien terästen mikrorakenteita x-y-graafissa, jossa x-akselilla oli teräksen kromipitoisuus ja y-akselilla nikkelpitoisuus.

Amerikkalainen Anton Schaeffler kehitti saksalaisten diagrammien pohjalta uudentyyppisen ferriittidiagrammin, johon liittyvää tutkimustyötä hän teki vuosina 1945-1949 työskennellessään Arcos Corporation yrityksen palveluksessa. Schaefflerin diagrammi perustuu kromi- ja nikkeliäkvivalentteihin, jotka lasketaan kaavoista:

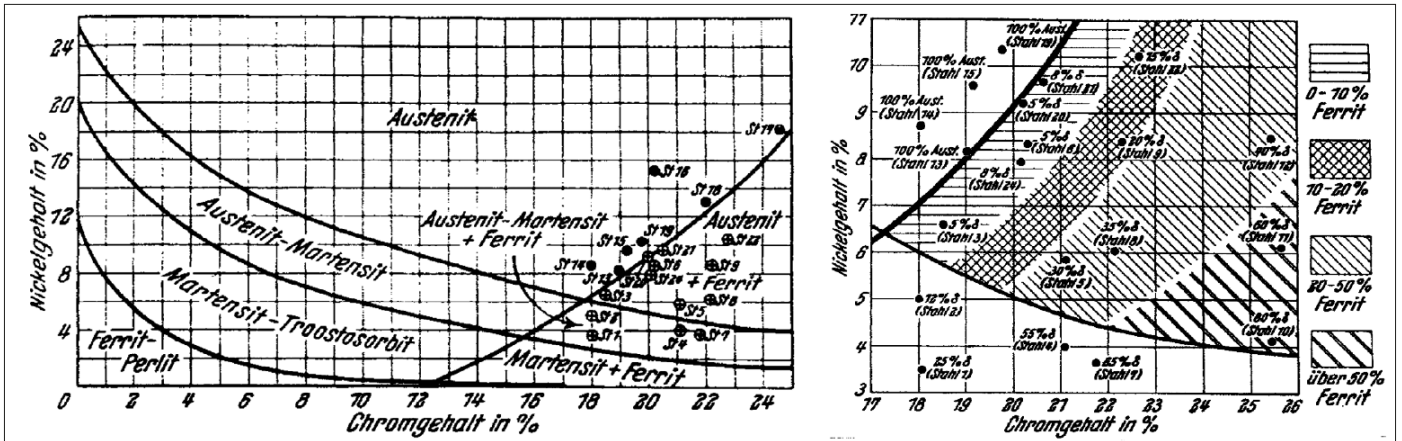
$$Cr_{eq} = \%Cr + 0,5\%Mo + 1,5\%Si + 0,5\%Nb \quad [1]$$

$$?_{eq} = \%Ni + 30\%C + 0,5\%Mn \quad [2]$$

Periaatteena diagrammin käytössä on se, että tarkasteltavan perus- ja lisäaineen kemiallisesta koostumuksesta lasketaan kromi- ja nikkeliäkvivalenttien kaavojen avulla lukuarvot, joiden perusteella määritetään niille pisteet diagrammissa. Ku-



Kuva 1. Strauß & Maurerin diagrammi (Guiraldenq & Dupare 2017, 3).



Kuva 2. Schererin, Riedrichin ja Hochin diagrammit (Guiraldenq & Dupare 2017, 4).

vassa 3 nähdään esimerkki tästä. Siinä on tarkasteltu haponkestävän teräksen AISI 316L (EN 1.4404) teräksen hitsaus- haponkestävällä lisäaineella ER316L. Hitsattavan perusaineen sijainti diagrammissa on esitetty keltaisella ja lisäaineen vihreällä pisteellä. Kun perus- ja lisäaineen pisteet yhdistetään janalla, määräytyy syntyvän hitsiaineen pisteen sijainti janalla sekoittumisasteen perusteella. Periaatteena tässä on jakaa perus- ja lisäaineet yhdistävä jana kymmeneen osaan eli 10 % välein, jolloin hitsiaineen piste sijoitetaan asianmukaiseen kohtaan, joka kuvan 3 tapauksessa vastaa 30 %:n sekoittumisastetta.

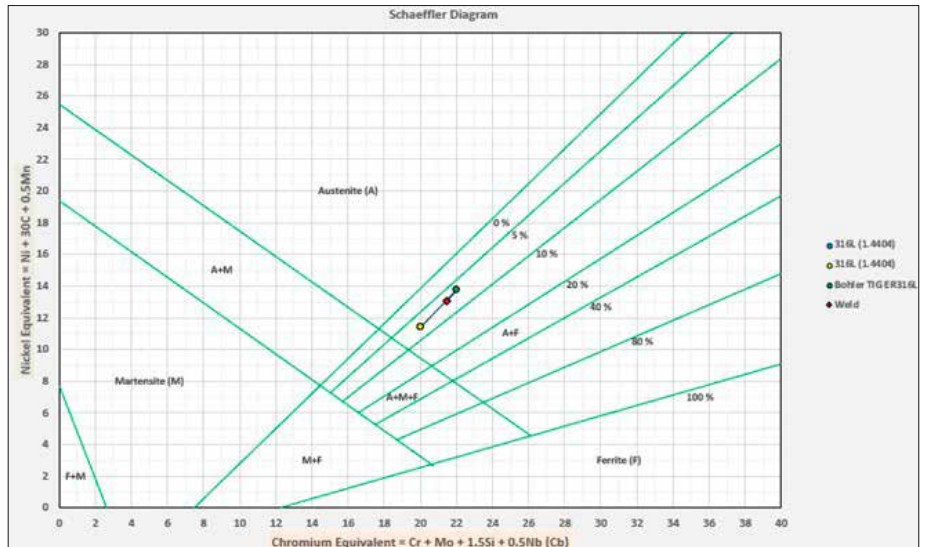
Alkuperäinen Schaeffler-diagrammi on jo vanhentunut ferriittipitoisuuden määrittämiseen, koska on monta tarkempaakin diagrammia, joita esiteltiin edellä. Diagrammia käytetään kuitenkin edelleen paljon ”musta/ruostumaton teräs” eripariilitosten lisäaineen valintaan. Sen etu on myös, että alueet ulottuvat ruostumattomista teräksistä myös seostamattomiin ja niukkaseosteisiin teräksiin saakka. Se antaa ”ison kuvan” asiasta. Se on edelleen havainnollinen ja käytössä ruostumattomien terästen yleisissä tarkasteluissa.

DeLong toi mikrorakenediagrammeihin suuren parannuksen vuonna 1973 (kuva 4). Diagrammi edustaa lähinnä vain austeniittisiä teräksiä, mikä sallii tarkemman hitsiaineen ferriittipitoisuuden analysoinnin. Lisäksi hän otti tyypin mukaan Ni-ekvivalenttilausekkeeseen, koska typpi on voimakas austeniitin muodostaja. DeLong diagrammin kromi- ja nikkeli-ekvivalentit lasketaan kaavoista:

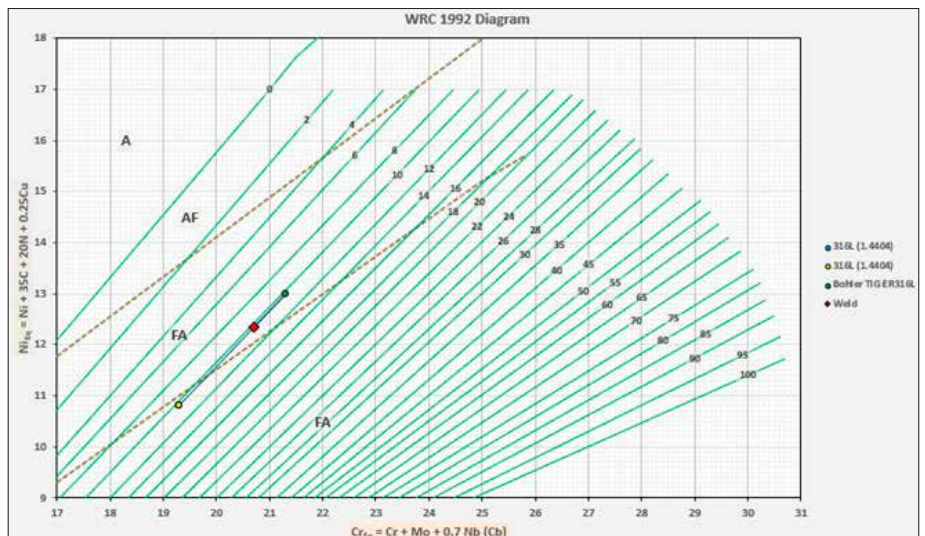
$$Cr_{eq} = \%Cr + 0,5x\%Mo + 1,5x\%Si + 0,5x\%Nb \quad [3]$$

$$?_{eq} = \%N + 30x\%C + 30x\%N + 0,5x\%Mn \quad [4]$$

Kun halutaan määrittää ferriittipitoisuus austeniittisessä hitsiaineessa, niin nykyään käytetään siihen etupäässä WRC-1992 diagrammia, jonka avulla voidaan analysoida tarkimmin hitsiaineen mikrorakenne. Kun pitää määrittää ja antaa ferriittipitoisuus (ferriittiluku FN) austeniittiselle tai austeniittis-ferriittiselle lisäaineelle, se tehdään nykyään tämän diagrammin avulla. Se soveltuu koko ferriittipitoisuusalueelle 0-100 FN. Kromi- ja nikkeli-ekvivalentit lasketaan nyt kaavoista:



Kuva 3. Schaefflerin diagrammi.



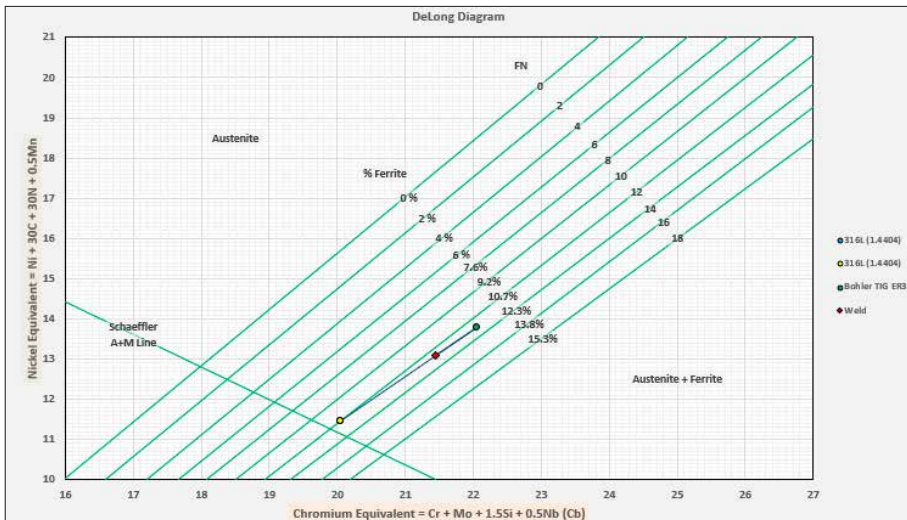
Kuva 4. WRC-1992 diagrammi.

elle 0-100 FN. Kromi- ja nikkeli-ekvivalentit lasketaan nyt kaavoista:

$$Cr_{eq} = \%Cr + \%Mo + 0,7x\%Nb \quad [5]$$

$$?_{eq} = \%N + 35x\%C + 20x\%N + 0,25x\%Cu \quad [6]$$





Kuva 4. DeLong diagrammi.

Name	C	Si	Mn	Cr	Ni	Mo	Nb	Ti	N	Cu	Co	W
Metrode Zeron 100XKS	0.030	0.500	0.900	25.000	9.300	3.600			0.230	0.700		0.700
S31254 (6%Mo)	0.010			20.000	18.000	6.100			0.200			
S32205 Duplex (22%)	0.020			22.000	5.700	3.100			0.170			
S32304 Duplex	0.020			23.000	4.800	0.300			0.100			
S32750 Duplex (25%)	0.020			25.000	7.000	4.000			0.270			
Foxcore 2209-T0	0.024	0.700	0.900	22.800	8.900	3.200			0.140			
Foxcore 2209-T1	0.030	0.600	0.920	22.640	9.000	3.090			0.150			
Cromacore DW 329 AP	0.020	0.800	1.300	22.900	9.200	3.000			0.100			
Shieldbright 2209	0.030	0.350	0.900	22.500	9.200	3.200			0.160			
Metrode Ultramet 904L	0.020	0.550	1.200	20.500	25.000	4.600	0.020		0.090			
P355QH1	0.170	0.280	1.230	0.120	0.040	0.004				0.050		

Kuva 5. "Data"-välillehti.

## Ferriittidiagrammit internetissä

Internetissä löytyy muutama verkkosivusto, jossa voi tehdä tarkastelua eri ferriittidiagrammeilla. Monipuolisin näistä on Migal.Co sivusto (<https://www.migal.co/en/service/welding-calculators>), jossa on tarjolla Schaeffler, DeLong ja WRC-1992 diagrammit. Sivustossa on myös monia muita hitsauskoordinoijalle hyödyllisiä laskentatyökaluja. Hankaluus näiden käytössä on usein siinä, että kemialliset koostumukset pitää syöttää käsin eikä niitä saa tallennettua myöhempää käyttöä varten. Näin myös Migal.Co -diagrammeissa.

Internetistä on löydettävissä myös MS Excelissä toimivia ferriittidiagrammin työkirjoja. Yksi parhaista on Kevin Millicanin vuonna 2012 julkaisema Schaeffler.xlsm ([https://www.millican.info/www/files\\_view.php?editid1=2&](https://www.millican.info/www/files_view.php?editid1=2&)). Siitä parannettu ja käyttäjäystävällisempi versio on saatavissa verkossa hakusanalla "Ferrite Calc."

xlsm". Tarkastellaan seuraavassa sen käyttöä eripariitoksen tarkastelussa.

Työkirjassa on neljä välillehtä: "Schaeffler", "WRC 1992", "DeLong" ja "Data". "Data" välillehdellä (kuva 5) on valmis perus- ja lisäainekirjasto, jota voi täydentää lisäämällä uuden perus-/lisäaineen kemiallisen koostumuksen luettelon lopussa olevalle ensimmäiselle tyhjälle riville. "Schaeffler"-välillehdellä tehdään hitsattavien perusaineiden ja lisäaineen valinta "Material"-otsikon alla olevien solujen A4, A5 ja A6 alasvetovalikoista (kuva 6). Samalla välillehdellä määritellään sekoitumisaste soluihin C4 ja C5 kirjoittamalla niihin haluttu luku, joka kuvan tapauksessa on 15 %. Tämän jälkeen tulokset ovat tarkasteltavissa kaikissa diagrammeissa (kuvat 7–9).

Työkirjalla on helppoa ja nopeaa tehdä lisäaineen valintaa, kun hallitsee perusteet sen tekemiseen. Periaatehan on se, että hitsin mikrorakenne ei saa "osua"

haitalliselle alueelle. Tätä asiaa on käyty yksityiskohtaisesti läpi "Hitsauksen materiaalioppi" kirjasarjan osassa 2B luvussa "Eripariitokset ja niiden hitsattavuus".

Käydään läpi yksi esimerkki, jossa haetaan lisäaine hienoraeteräksen S420ML ja EN 1.4401 (X5CrNiMo17-12-2) väliselle TIG-eripariitokselle. Jollei ko. teräksiä tai haluttua lisäainetta löydy työkirjassa olevasta kirjastosta, niin ensimmäisenä toimenpiteenä on syöttää puuttuva teräs/lisäaine koostumuksineen "data" -välillehden ensimmäiselle tyhjälle riville. Tässä tapauksessa kokeillaan lisäaineksi ESAB haponkestävää OK Tigrod 316L TIG-lankaa. Käytetään sekoitumisasteena "worst case" skenaariota eli 40 %. Kuvan 10 perusteella hitsin mikrorakenne on austeniittis-martensiittisella (A+M) alueella eli se on hauras ja lisäainevalinta on väärä. Lisä-

Material	Dilution	C
316L (1.4404)	15 %	0.020
Carbon Steel	15 %	0.100
Avesta ER309L	70 %	0.020
201LN	40 %	0.032

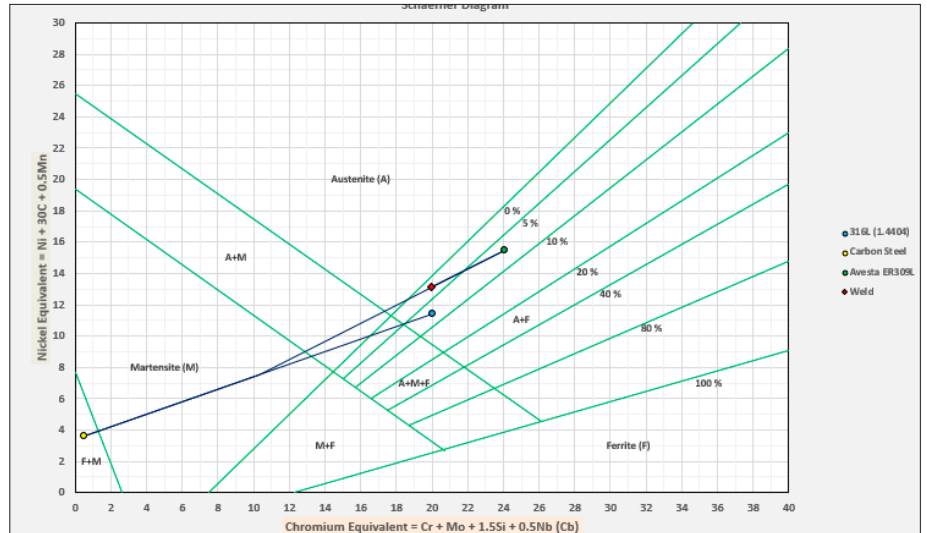
Kuva 6. "Schaeffler"-välillehden perus- ja lisäaineen valinnan alasvetovalikko.

aineen piste pitäisi olla enemmän oikealla ja ylhäällä. Kokeillaan seuraavaksi yliseostettua haponkestävää lankaa ER309MoL, joka on valittu kuvaan 11. Valinta on hyvä, koska suurimmallakin sekoittumisasteella ollaan turvallisesti austeniittis-ferriittisellä (A+F) alueella.

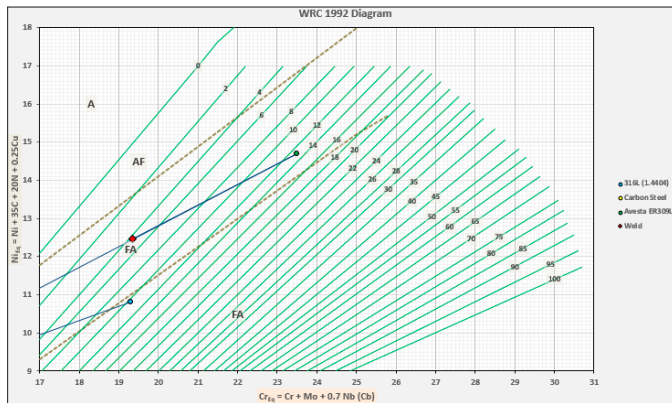
**Lähteet**

Guiraldenq P & Duparc O. H. 2017. The genesis of the Schaeffler diagram in the history of stainless steel. Metall. Res. Technol. 114, 613 (2017). DOI: 10.1051/metal/2017059.

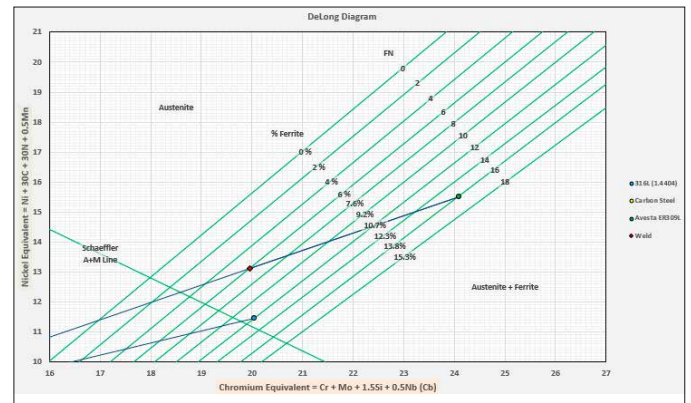
**Timo Kauppi**  
IWE, IWI-C, TkL  
Oulun yliopisto / Lapin AMK  
timo.kauppi@lapinamk.fi



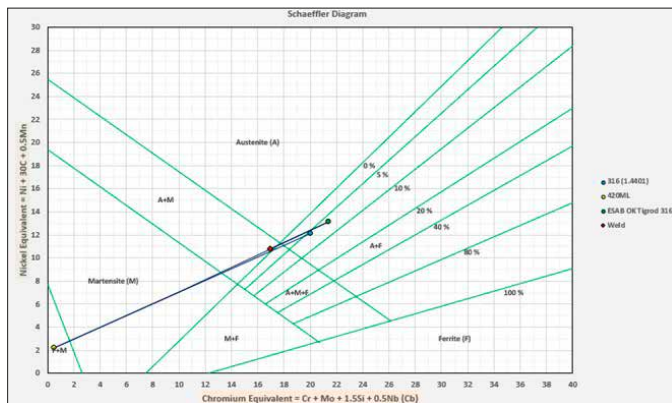
Kuva 7. Schaeffler-diagrammi, haponkestävän AISI 316L ja hiiliteräksen välinen eripariiliitos sekä lisäaine haponkesrävä ER309L.



Kuva 8. WRC 1992-diagrammi, AISI 316L ja hiiliteräksen välinen eripariiliitos, lisäaine yliseostettu ruostumaton ER309L.



Kuva 9. DeLong-diagrammi, AISI 316L ja hiiliteräksen välinen eripariiliitos, lisäaine yliseostettu ruostumaton ER309L.



Kuva 10. Hitsin mikrorakenne hienoraeteräs S420ML ja haponkestävä /EN 1.4404 (X5CrNiMo17-12-2)-eripariiliitoksessa, hitsausprosessi 141, lisäaine haponkestävä 316L, sekoittumisaste 40 %.

