



Joonis 2.19 Katsekeha nr 1, XRD analüüs, punane – keevis ja hall – põhimetall,  $\gamma$ -Fe ja  $\alpha$ -Fe tippnihe (ingl k Peak shift)

**Selgitus:** XRD analüüs näitab 2 faasi: austeniitne ja ferriitne. Keevitusõmbluses on vähem austeniiti kui põhimaterjalis.

## 2.5 KOKKUVÕTE, JÄRELDUSED JA TULEVASED UURINGUD

Antud uurimistöö põhiosas käsitletakse kahte kõrgleegeritud roostevaba terast ja nende võimalikud ehk olemasolevad keevitustehnoloogia lahendused ettevõttes ESTANC ASis. Samuti oli oluliselt ka vaadelda maailma metallurgia- ja keevituse lisaainete juhtivatelt tootjatelt soovitusi vajaliku katsekeevitamiste teostamiseks. Keevituse lisamaterjalide analüüs sealhulgas praktilised katsetused ettevõttes õigete keevitusparameetrite otsingu kohta näitasid, et soovitatud keevituse parameetrid keevituse lisaainete tootjatelt on sarnased ja ulatuses umbes +/- 15% ning neid võib rakendada mis iganes traadi kaubamargiga kasutades 131 (MIG), 135 (MAG) ja 121 (SAW) keevituse protsessi ja kaitsegaasi Ar99.9% ja Ar+2%CO<sub>2</sub> sõltuvalt keevitatud põhimaterjali margist 254 SMO (EN nr 1.4547) või Super Duplex (EN nr 1.4410). Keevituse lisamaterjalide keemiliste koostiste analüüs näitas väikest erinevust erinevate traatide vahel ulatuses umbes 10%.

Praktiliseks osaks ja uuringute teostamiseks on keevitatud 30 plaati kolmes paksuse diapasaonis – 5, 8 ja 10 mm-i, mis on kõige laiemalt kasutatavad ettevõttes.

254 SMO põhimaterjali keevitamiseks on kasutatud kombineeritud keevitusprotsess – juurel 131 ja täites 121 kasutades kaitsegaasi Ar99.9%, aga Super Duplex-iks plaat 5 mm-i on keevitatud teise keevitusprotsessiga – 135 ja kaitsegaasis Ar+2%CO<sub>2</sub>. Kõik valitud kasutatavad keevitusparameetrid on samasugused.

Mittepurustava kontrolli käigus on kasutatud kaks kontrolli meetodit – röntgen ja penetrant. Põhikatsekehadel röntgen avastas 2 põhidefekt - poorsus ja pragu keset õmbluses, mis on iseloomulik kui 254 SMO (EN nr 1.4547)-le nii Super Duplex (EN nr 1.4410)-le vastavalt tehtud põhidefektide ülevaatusel. Penetrant katse ka leidis pragunemist õmbluse keskel. Kokkuvõttes 70% põhikatsekehadest 254 SMO-st ja 50% Super Duplexi-st sisaldavad defekte, mis ei ole lubatud vastavalt EN ISO 5817 (klass B) standardile. Jäänud osa katsekehadest on saadetud purustava kontrolli laborile, kus viiakse vajalikud purustamise katsed läbi vastavalt keevitustehnoloogia atesteerimise EN ISO 15614-1 standardi nõuetele.

Purustava kontrolli paindekatse tulemused näitasid, et valmistatud plaadid põhimaterjalist 254 SMO-st plaat paksusel 5 mm on edukalt katset läinud, kuid 8 ja 10 mm-i on katsetamise käigus murdud, mis ei ole lubatud. Esialgne võimalik põhjus võib olla põhimaterjali habras struktuur.

Super Duplex-ist katsekehade paindekatse on teostatud ainult paksusele 8 ja 10 mm-i, mis on edukalt õnnestunud. Paksusele 5 mm-i ei saanud läbi viia paindekatset, kuna esialguses antud katsekeha oli pragunemisega õmbluse sees, mida eelnevalt näitas mittepurustav röntgenkatse. Täpsemaks uuringuks oli tehtud makrolihvimine, mis näitas defekti nr 401 - kokkusulamatus (EN ISO 5817, klass B) ja selle suurust 0.8 mm-i asukohaga juureõmbluses, mis ei ole lubatud.

Katsekehade osad sealhulgas 5 mm-i (Super Duplex) ja 8 ja 10 mm-i (254SMO), mis ei ole paindekatse läbi läinud olid saadetud SEM ja XRD analüüsile, et välja selgitada, mis põhjusel tekkis võimalik habras struktuur, millest hoiatab Shaeffler DeLong diagrammi ette.

254SMO-I SEM- ja XRD analüüs avastas, et antud katsekehadel on üks austeniitne faas kui keevismetallis nii põhimaterjalis. Vastavalt XRD analüüsile on leitud ainult austeniitne K12 faas ja teisi faase ei ole leitud. Keevisõmbluse plastselt murdunud ala juurel on keemilises koostises tekkinud suhteliselt vähe Nb ja Mo eraldumist (3,41 % Nb ja 8,52 % Mo), sarnaselt hapralt murdunud alale - Nb ja 7,9 % Mo. Nb ja Mo sisaldus on suurem hapralt murdunud alas ja keevise tardumise käigus tekkinud kuumpragudes. Hapra struktuuri uurimisel kuumpragudes on alad, kus on tekkinud suur Nb-i segregatsioon ja suure tõenäosusega on see kogu keevise ulatuses arvestades metalli tahkumise iseloomu (vaata Nb 11% ja Mo 4 %). Elementide

segregatsioon on põhjustatud tahkumise protsessist vedel faas -

$\gamma$  (austeniit)+  $\delta$  (ferriit). Pärast tardumist  $\delta$  (ferriit)  $\rightarrow$   $\gamma$  (austeniit). Toatemperatuuril on austeniitne struktuur, mida näitas ka XRD analüüs. Aeglane jahtumine põhjustab keemiliste elementide segregatsiooni. Seda võib ära hoida kiirem jahtumine.

Järelduses on soovitatud kasutada madalamat soojussisestust, mis tagab kiirema jahtumise ja mis omakorda hoiab ära elementide segregatsiooni.

Super Duplex-il SEM- ja XRD analüüs avastas, et makrostruktuuris on kokkusulamatus juureõmblusel, mis viitab poorsusele ja kõrgele hapniku sisaldusele. XRD analüüs näitas, et põhimaterjal ja keemisõmbluses on võrdne kodus ferriiti ja austeniiti ning nende kogused vastavad ka tingimustele. Mingeid teisi faase ei ole leitud. Järelduses on soovitatud kasutada suuremat soojussisestust juureõmbluse keevitamisel, et tagada piisav kokkusulamine.

Lisaks uuringuks poorsuse põhjuse väljaselgitamiseks oli keevitatud lisakatsekehad, kus varasem kombineeritud keevitusprotsess 131 ja 121 ehk 135 ja 131 oli jagatud eraldi protsessiks ning kasutatud keevitamiseks. Mittepurustav kontroll röntgenkatse näitas, et poorsus tuleb keevitusprotsessist 131 ja 135, aga purustav kontroll tuleb teha tulevastest uuringutes, et välja selgitada, miks keevitusprotsessides 131 ja 135 tekib poorsust.

Antud uurimistöö tulemused ei soovi kasutada kombineeritud keevitusprotsessid kombinatsioonis 131+121 ehk 135+121 ettevõttes ESTANC AS enne tekitava praagi täieliku põhjuse väljaselgitamist.

Antud uurimistöö lõpliku lahendamiseks tulevikus võib aidata eritarkvara ThermoCalc, mis on ettenähtud faaside diagrammide arvutamiseks sealhulgas faasi kineetika simulatsiooni ehk simuleerida erinevaid muutmisi.

## **2.6 SUMMARY, CONCLUSION AND FUTURE DEVELOPMENT**

The main focus of this research is to consider two high alloyed stainless steels and their possible or existing welding technology solutions at ESTANC AS. It was also important to look at recommendations by world's manufacturers-leaders in metallurgical and welding consumable production industries and to conduct the necessary test welding. Analysis of welding consumables, including production tests to find the right welding parameters in the company, showed that the recommended welding parameters from welding consumable manufacturers are approximately +/- 15% and can be used to any wire brand using welding process 131 (MIG), 135 (MAG) and 121 (SAW) and shielding gas Ar99.9% and Ar + 2% CO<sub>2</sub> depending on the

welded base material brand 254 SMO (EN No 1.4547) or Super Duplex (EN No 1.4410).

Analysis of the chemical composition of the welding consumables showed a small difference of about 10% between the different wire.

In practical part and for research purposes were welded 30 plates in three thickness ranges - 5, 8 and 10 mm, which are the most widely used in the company. The 254 SMO base material is welded using a combined welding process – for the root 131 and for filling 121 using Ar99.9% shielding gas, but Super Duplex 5 mm is welded with another welding process - 135 and shielding gas Ar + 2% CO<sub>2</sub>. All selected welding parameters are the same.

For non-destructive testing (NDT) is used two testing methods - X-ray (RT) and Penetrant (PT). X-rays on the main specimens found 2 main defects - porosity and hot cracking in the center of the weld seam, which is typical defect characteristic of 254 SMO (EN no. 1.4547) and Super Duplex (EN no. 1.4410) at inspection of main defects. Penetrant test also found a crack in the middle of the weld seam. In total, 70% of the main test specimens from 254 SMOs and 50% of the Super Duplex contain defects that are not permitted according to EN ISO 5817 (Class B). The remainder of the test specimens have been sent to destructive laboratory, where occur the required destructive tests in according to requirements of standard EN ISO 15614-1, which uses for the certification of welding technology.

The results of the bending test are showed that the plates made from 254 SMO base material with a thickness of 5 mm had successfully passed the test, but 8 and 10 mm were broken during the testing, which was not allowed. The initial possible cause may be the fragile structure of the base material.

Super Duplex test specimens have been bend tested only for thicknesses of 8 and 10 mm, which have been successful. The bending test is not proved unsuccessful for thickness of 5 mm because the initially given test specimen was cracked by inside the seam, as previously demonstrated by a non-destructive X-ray test. For more detailed examination was done macroexamination, which is showed a defect No 401 – lack of fusion (acc. to EN ISO 5817, class B) and its size at a 0.8 mm root seam, which is not allowed.

Parts of test specimens including 5 mm (Super Duplex) and 8 and 10 mm (254SMO) have not passed the bend test, then were sent for SEM and XRD analysis to determine the cause of the possible fragile structure that Shaeffler DeLong warns in front of the chart.

At 254SMO, SEM and XRD analysis found that weld has failure at bend test from the main weld, root of the weld has no issues. XRD analysis show one austenitic phase at parent material and main weld. Ductile failure area (dimple) at root has uniform