Ari Mourujärvi
Valmet Technologies Oy

Valun käytön seminaari

29.10.2026

Valmet’s foundry in Jyväskylä

- Long history, starting from 1948
- Approximately 60 highly skilled employees
- Leading-edge technology
- **Products:** Heavy weight castings for paper and board, marine, food industry and other heavy industry
- **Typical casting jobs:** rolls, shafts, cylinders, flanges, bearing pedestals and frames





https://www.valmet.com/industries/foundry/

Main castings produced in the foundry

- Heavy weight and large hand-molded castings
- Capacity to produce castings weighting up to 100 tonnes
- World deepest casting pit: 17.5 meters
- Maximum crane capacity up to 140 tonnes
- Shaft and shell-type castings with thick walls



Competencies and expertise

Demanding heavy spheroidal graphite iron (GJS) castings with full machining, heat and surface treatment and assembly capabilities

© Valmet | Valmet's foundry in Jyväskylä

Technical capabilities

- Two production lines and a melting shop:
  1. **Floor molding**
     - Self-hardening sand molding (furan sand)
     - Complex design and heavy wall section castings
  2. **Pit molding**
     - Cement molding / furan sand molding
     - Long shafts, cylinder and roll shells
  3. **Melting shop**
     - Four electric melting furnaces (10 tonnes, 12 tonnes, 2 x 40 tonnes)

- ISO 9001:2015, ISO 14001:2015 and ISO 45001:2018
- Certificated manufacturer of European Pressure vessel directive 2014/68/EU and on standard EN764-5:2014
- Certificated manufacturer of LR for marine casting components (LR2516447WA)

In brief

Cast materials:

- Grey cast irons
  - EN-1561:2022 EN-GJL-200 – 350
- Spheroidal cast irons
  - EN-1563:2018
  - EN-GJS-400-18 – EN-GJS-800-2
- Solid solution strengthened ferritic grades
  - EN-GJS-450-18, EN-GJS-500-14, EN-GJS-600-10

Technical capacity:

- Floor molding 10 000 t/a
- Pit molding 14 000 t/a
- Max dimensions of shells and shafts 17.5 m / 100 t
- Max weight of hand-molded casts 70 t
- Max dimensions of heat treatment 3 m x 3 m x 16 m

© Valmet | Valmet's foundry in Jyväskylä

FATIGUE PROPERTIES OF HEAVY SECTION GJS-600-10 CAST IRON CASTINGS

Ari Mourujärvi[a,b*] , Joona Vaara[c] , Jarkko Laine[c], Oskari Ryti[d], Kalle Jalava[e], Juhani Orkas[b,e]

[a]Valmet Technologies Oy, Finland; [b]Department of Mechanical Engineering, Aalto University, Espoo, Finland; [c]Wärtsilä Finland Oy, Vaasa Finland; [d]Suomen Materiaalitutkimus Oy; [e]Materials Science and Environmental Engineering, Tampere University, Tampere, Finland

*ari.mourujarvi@valmet.com, corresponding author

INTRODUCTION

- Liuoslujitetut valuraudat (SSF-DI) sisällytettiin EN-1563 vuonna 2011
- SSF-DI etuja ovat hyvä valettavuus sekä mekaanisten ominaisuuksien yhdistelmä verrattuna perinteisiin valurautalaatuihin ja suhteellinen matalat valmistuskustannukset
- Seinämän paksuudesta riippumatta SSF-DI mikrorakenne on täysin ferriittinen muokaten mikrorakenteesta sitkeän, tasaisen kovuisen ja helposti koneistettava. Lisäksi $R_{p0.2}/R_m$ ja sitkeys ovat korkeammat kuin saman lujuusluokan ferriittis-perliittisen ja perliittisen valurautalaatujen.
- Koska SSF-DI-laadut on kehitetty vasta suhteellisen hiljattain, niitä koskevaa kokeellista tutkimustietoa erityisominaisuuksista on vielä rajallisesti saatavilla. SSF-DI-laatujen väsymisominaisuuksia on kuitenkin tutkittu useissa tutkimuksissa [1, 8–15]. Tutkimukset osoittavat, että SSF-DI-laatujen väsymislujuus on korkeampi kuin perinteisten ferriittisten ja ferriittis-perliittisten pallografiittirautojen samalla vetolujuustasolla. Mikrorakenteellisten virheiden, kuten mikrohuokosten tai epämuodostuneiden grafiittipallojen, havaittiin toimivan väsymissäröjen alkamiskohtina.

© Valmet

INTRODUCTION

- Vaikka pallografiittirautojen väsymisominaisuuksia on tutkittu laajasti ja ne ovat olleet jatkuvan tutkimuksen kohteena [1, 8–12, 14–19, 21, 22, 25–36], vain harvoissa tutkimuksissa on tarkasteltu paksuseinäisten, raskaiden SSF-DI-valuosien väsymisominaisuuksia [10, 12–14, 18, 23, 33]. Näissä tutkimuksissa on käsitelty pääasiassa hieman alhaisemman piipitoisuuden omaavaa laatua GJS-500-14. Ainoastaan Bauer ym. [14] ovat tutkineet paksuseinäisten, raskaiden GJS-600-10-valujen väsymisominaisuuksia.
- Tässä tutkimuksessa tarkastellaan seinämäpaksuuden vaikutusta valukappaleiden väsymisominaisuuksiin tilanteessa, jossa kappaleille on ominaista pitkä jähmettymisaika. Lisäksi tutkimuksessa arvioidaan Murakami-Endo-mallin soveltuvuutta EN-GJS-600-10 -laadun väsymisrajan alarajan ennustamiseen tapauksissa, joissa mikrohuokoiset ovat hallitseva virhetyyppi ovat paksuseinäisille valuille.

EXPERIMENTAL PROCEDURE

- Tutkittu valurautalaatu suunniteltiin vastaamaan standardin EN 1563:2018 mukaista laatua EN-GJS-600-10.
- Furaanihiekkamuotti sisälsi kuusi valuonkaloa:
  - 2 × Ø50 mm, Ø100 mm, Ø200 mm, Ø300 mm ja Ø400 mm.
  - Tässä tutkimuksessa tarkasteltiin halkaisijaltaan Ø200 mm, Ø300 mm ja Ø400 mm olevia valukappaleita.

Table 1. Chemical composition of the studied material (w-%), carbon equivalent (CE), and carbon equivalent (CEL).

C	Si	Mn	P	S	Mg	CE	CEL
2.97	4.02	0.28	0.033	0.009	0.048	4.32	3.99

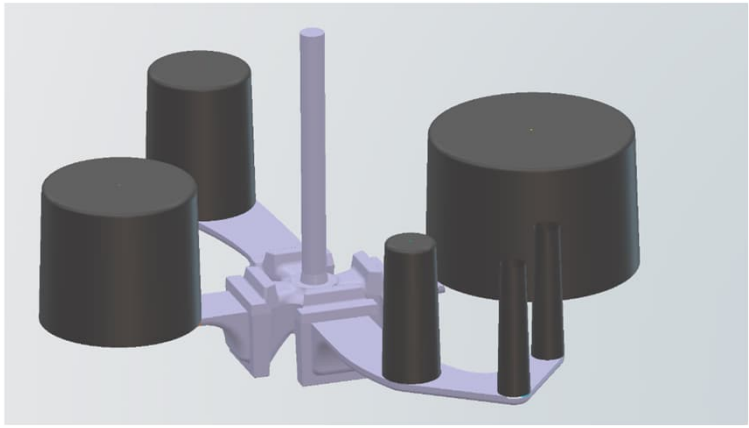


Fig. 1 *Gating system of castings*

© Valmet

EXPERIMENTAL PROCEDURE

Väsymiskokeet

- Väsymiskokeet tehtiin pyörötaivutusväsymiskokeina (R = -1, f = 100 Hz).
- Jännitystasot valittiin porrastusmenetelmän periaatteiden mukaisesti

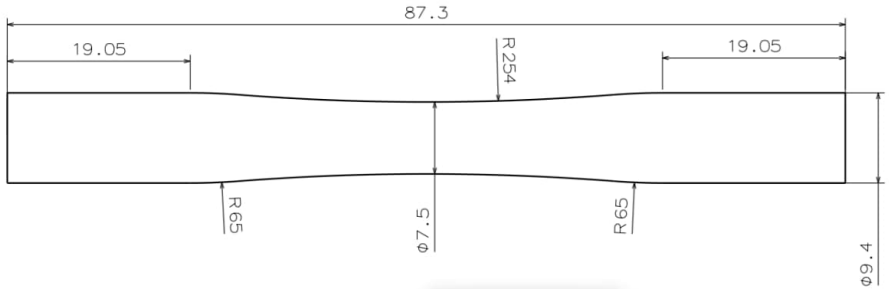


Fig. 3 *Fatigue test bar*

© Valmet

EXPERIMENTAL PROCEDURE

Mikrorakenneanalyysi

- Mikrorakenteita tutkittiin optisella mikroskoopilla (OM) käyttäen 50-kertaista suurennusta.
- Tarkasteltavia ominaisuuksia olivat grafiittipallojen palloutumisaste, grafiittipallojen tiheys, grafiittipallojen koko sekä näytteissä esiintyvät grafiittipalloryppäät.
- Analyysiin ei sisällytetty hiukkasia, joiden koko oli alle 10 µm. Mikäli kahden grafiittipallon välinen etäisyys oli pienempi kuin pienemmän pallon halkaisija, ne luokiteltiin samaksi grafiittipalloryppääksi.
- Lopuksi näytteet syövytettiin 4 % Nital-liuoksella, jotta voitiin tarkastella matriisin faasirakennetta ja sen rakenneosia.

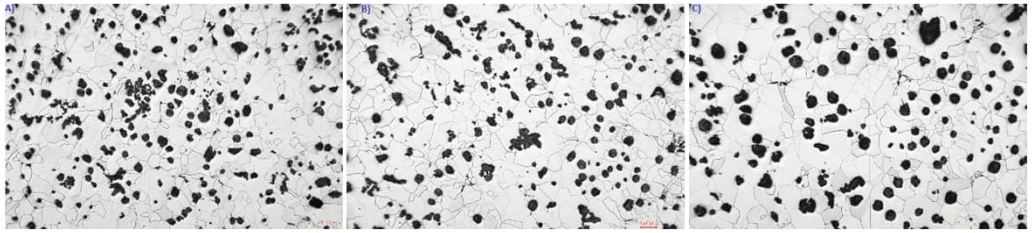


Fig. 4 *Microstructure of castings a) D200, b) D300 and c) D400, etched 4% Nital. Magnification 50x*

© Valmet

EXPERIMENTAL PROCEDURE

Pyyhkäisyelektronimikroskopia (SEM)

- Murtopintoja tutkittiin pyyhkäisyelektronimikroskoopilla (SEM), jotta voitiin paikantaa väsymissäröjen todennäköiset alkamiskohdat sekä arvioida havaittujen virheiden tyyppi.
- Virheiden koko arvioitiin Murakamin esittämän tehollisen pinta-alan menetelmän ($A_e$ff) avulla, jossa virheen koko määritetään virheen näkyviä äärimuotoja jouheasti myötäillen.

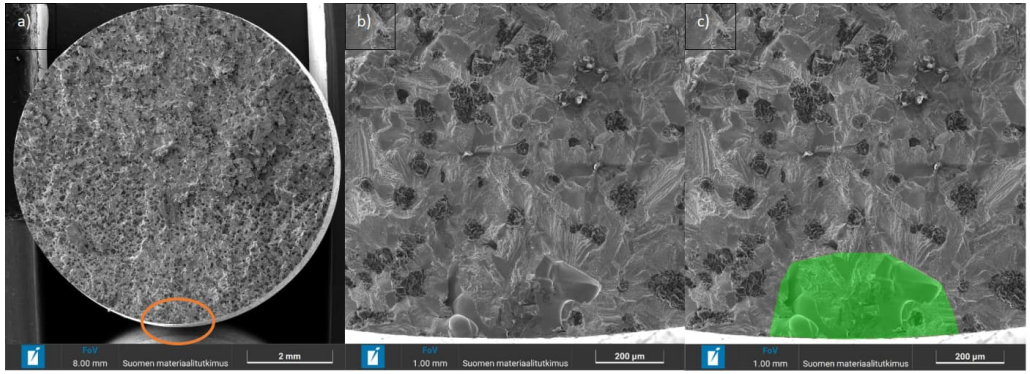


Fig. 5 *SEM photos of the fracture surface. Figure a) general view of the fracture surface and the initiation site of the fatigue crack; Figure b) a close-up image of the initiation site of the fatigue crack, Figure c) defined effective area (A_{eff}) of the defect of the initiated fatigue crack. Sample D300-2-6*

© Valmet

EXPERIMENTAL PROCEDURE

- Väsymimurtuman kolme vaihetta
  - Särön ydintyminen
  - Väsymissärön kasvu
  - Nopea loppumurtuminen

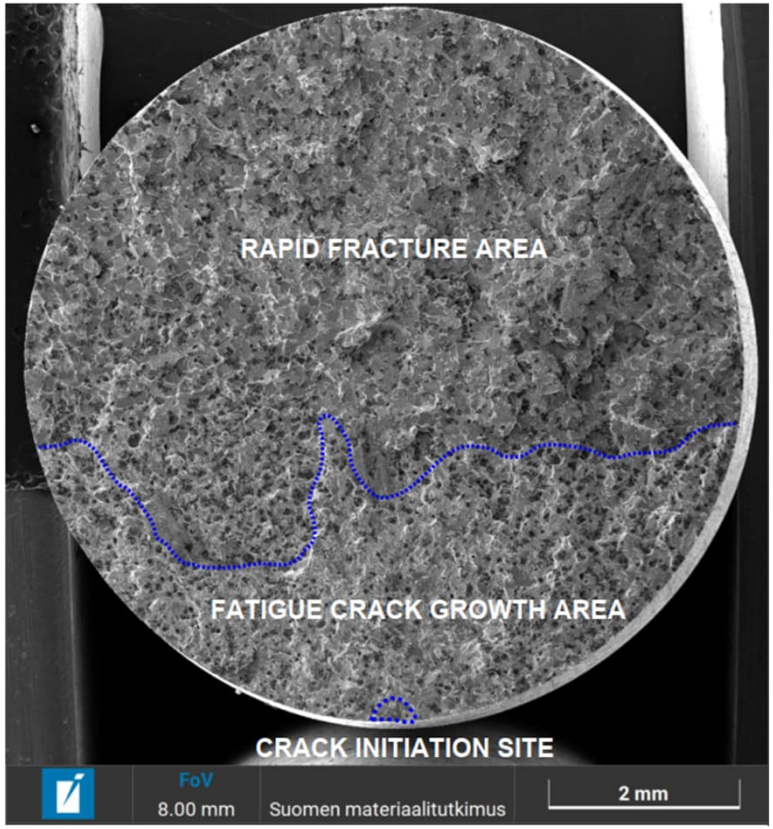


Figure 7. General view of three phase of crack growth: initiation site of fatigue crack, growth area of fatigue crack and rapid fracture area of fatigue crack of sample D300-2-6.

© Valmet | Author / Title

EXPERIMENTAL PROCEDURE

- Kovuusmittaukset
- Väsymiskoenäytteiden metallimatriisin Vickers mikrokovuus mitattiin väsymiskoenäytteiden päistä.
- Näytteiden päät katkaistiin, hiottiin ja kiillotettiin ennen mittauksia. Käytetty kuormitus oli 0,1 kgf, kaikki painaumat kuvattiin
- Kustakin näytteestä tehtiin yli 15 painaumaa, ja grafiittipallojen kohdalle osuneet painaumat jätettiin huomiotta.
- Mitattuja suureita olivat keskimääräinen Vickersin kovuus HV0,1 (eli normaalijakaumaa kuvaava keskiarvo) sekä kovuuden keskihajonta.

Table 2. Mechanical properties

Category	0.2% Proof Strength [MPa]	Ultimate Tensile Strength [MPa]	Elongation to fracture [%]	Reduction of area at fracture [%]	Mean Vickers hardness of matrix [HV]	Nodularity (%)	Nodule count λ [1/mm²]	Graphite fraction [%]
D200	449	556	12.7	10.4	293	69	82	12.4
D300	446	537	9.0	6.5	271	68	60	11.8
D400	443	525	6.5	3.8	271	68	51	11.9

© Valmet

RESULTS

SN-Curve

- Tulokset esitetään kolmessa seinämäpaksuusluokassa: D200, D300 ja D400. Kirjain D viittaa valukappaleen halkaisijaan, ja numero ilmaisee valukappaleen nimellishalkaisijan.
- Tulokset osoittavat väsymiskoetulosten hajonnan olevan melko vähäistä kaikilla tutkituilla jännitysamplitudeilla. Tämä voi osittain johtua kiillotettujen väsymiskoesauvojen epätasalaatuisuudesta, mutta todennäköisesti pääasiallinen syy on väsymissärön käynnistäneen virheen koko. Virheiden koko vaihteli näytteiden välillä.

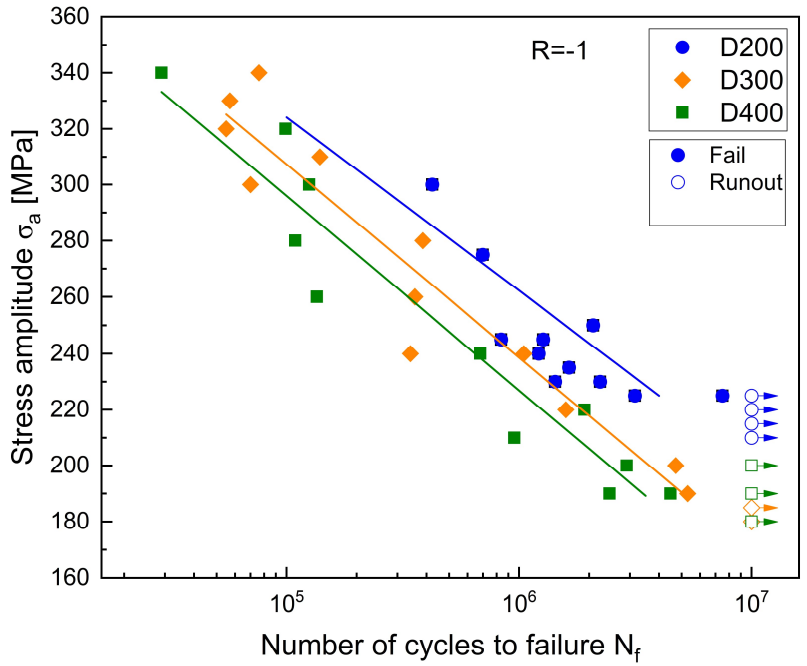


Fig. 8 *S-N curves for castings D200, D300, and D400; R=-1*

© Valmet

RESULTS

Matrix’s Vickers hardness

- D200-, D300- ja D400-näytteiden keskimääräiset kovuusarvot olivat 293 HV, 271 HV ja 271 HV.

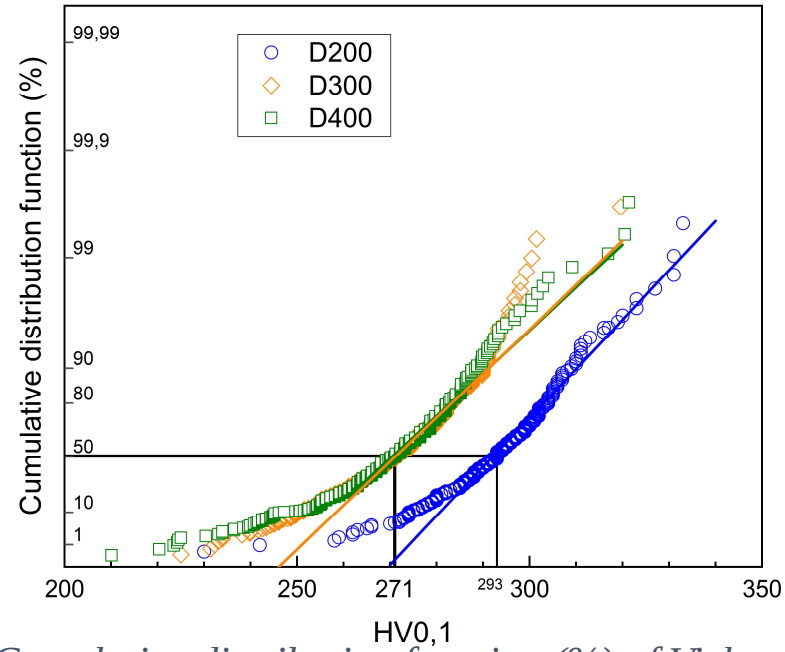


Fig. 9 *Cumulative distribution function (%) of Vickers hardness of matrix*

© Valmet

RESULTS

Normalized stress amplitude

- Missään tutkituista kategorioista ei havaittu murtumaa, kun suhde σ_a/σ_w < 1.
- Tulokset osoittavat, että $\sqrt{area}$ -malliin perustuva arviointi antaa tälle valurautamateriaalille konservatiivisen ennusteen väsymisrajasta, kun tarkastellaan väsymisikää N_f = 10^7 sykliä.
- Toisin sanoen mitä suurempi materiaalissa oleva virhe ($\sqrt{area}$) on, sitä enemmän se heikentää väsymislujuutta. Vastaavasti matriisin suurempi kovuus (H_V). parantaa materiaalin kykyä hidastaa väsymissärön kasvamista.

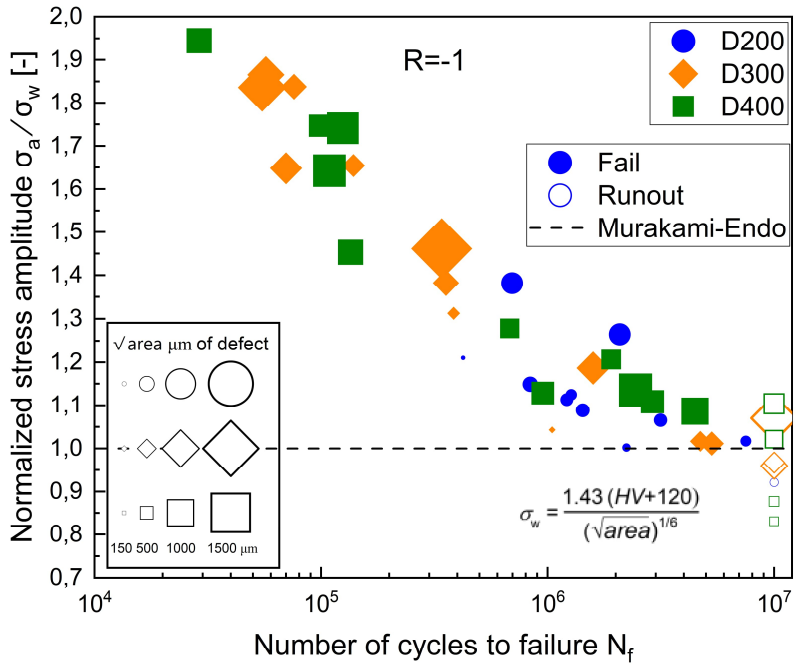


Fig. 10 *Modified S-N data of Normalized stress amplitude* $^{\sigma_a}/_{\sigma_w}$

© Valmet

RESULTS

Probability of failure

- Kuvassa 11 esitetään murtumatodennäköisyys jännitysamplitudin, σ_a, kumulatiivisena jakaumafunktiona, valukappaleille D200, D300 ja D400.
- Väsymisrajojen odotusarvot ja standardipoikkeamat olivat:
  - D200: 218 MPa ja 21 MPa
  - D300: 190 MPa ja 25 MPa
  - D400: 191 MPa ja 25 MPa

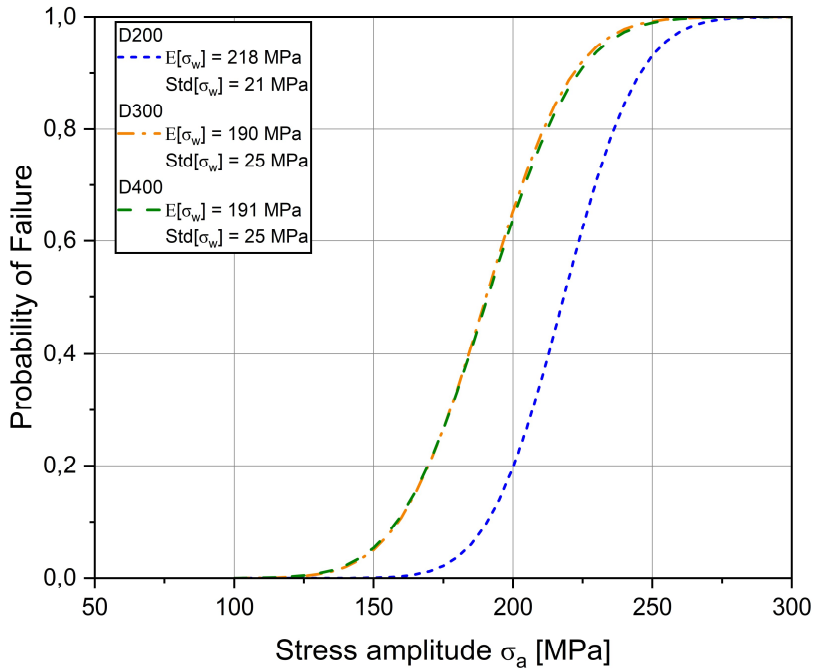


Fig. 11 *Probability of failure at a stress amplitude of σ_a, R=-1*

© Valmet

RESULTS

Extreme value statistic

- D300- ja D400-ryhmien näytteissä mikrohuokoisten/virheiden koko, $\sqrt{area}$, olivat yhtä suuri tai suurempi kuin D200-ryhmän näytteissä

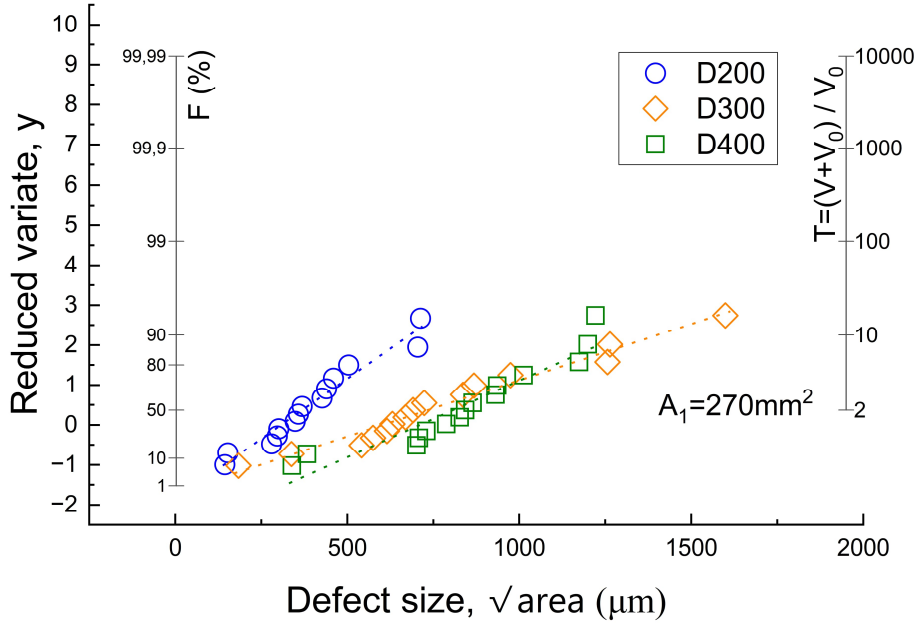


Fig. 12 *Extreme value statistic distributions of* $\sqrt{area}_{max}$ *for the largest microshrinkage cavity of the fracture surface of fatigue test bars Ø200 mm, Ø300 mm, and Ø400 mm EN-GJS-600-10 castings*

© Valmet

RESULTS

Extreme value statistic

- Kuva 13 osoittaa, että D200 valuaihion mikrohuokoiset ovat huomattavasti suurempia kuin yksittäiset grafiittipallot. Sen sijaan grafiittipalloklustereiden koko on samaa suuruusluokkaa kuin mikrohuokoisten silloin, kun $\sqrt{area} \leq 438\mu m$.
- Kun vikakoon $\sqrt{area}$ on välillä 438–713 µm, mikrohuokoiset muodostavat hallitsevan virhetyypin, ja niiden koko ylittää grafiittiklustereiden koon.

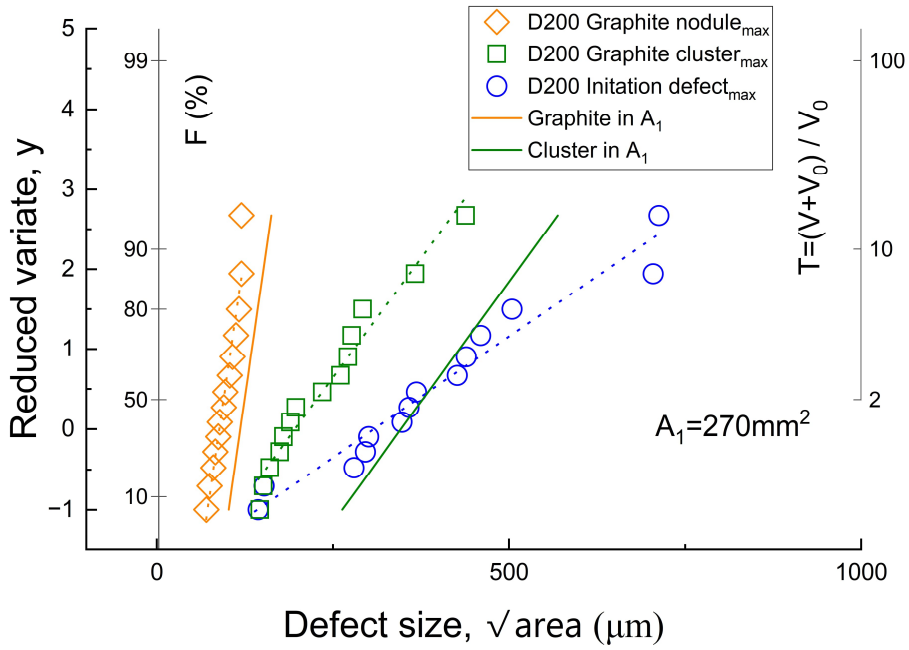


Fig. 13 *Extreme value statistic distribution of $\sqrt{area}_{max}$ for maximum microshrinkage cavity, graphite nodule size, and graphite cluster size of Ø200 mm EN-GJS-600-10 castings*

© Valmet

RESULTS

Extreme value statistic

- Kuva 14 osoittaa, että D300 valuaihion mikrohuokoiset olivat huomattavasti suurempia kuin grafiittipallot.

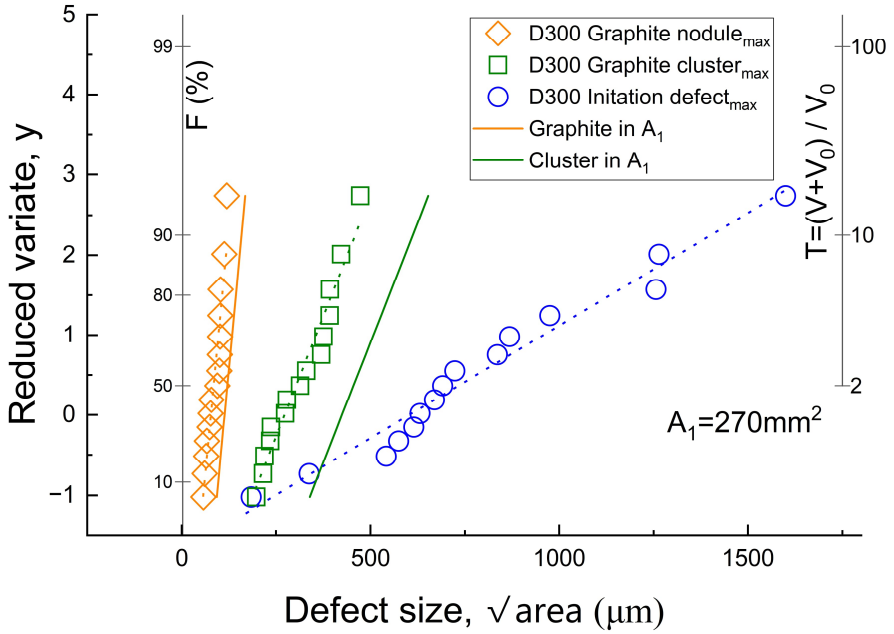


Fig. 14 *Extreme value statistic distribution of* $\sqrt{area}_{max}$ *for maximum microshrinkage cavity, graphite nodule size, and graphite cluster size of Ø300 mm EN-GJS-600-10 castings*

© Valmet

RESULTS

Extreme value statistic

- Kuva 15 osoittaa, että D400 valuaihion mikrohuokoiset olivat huomattavasti suurempia kuin grafiittipallot.

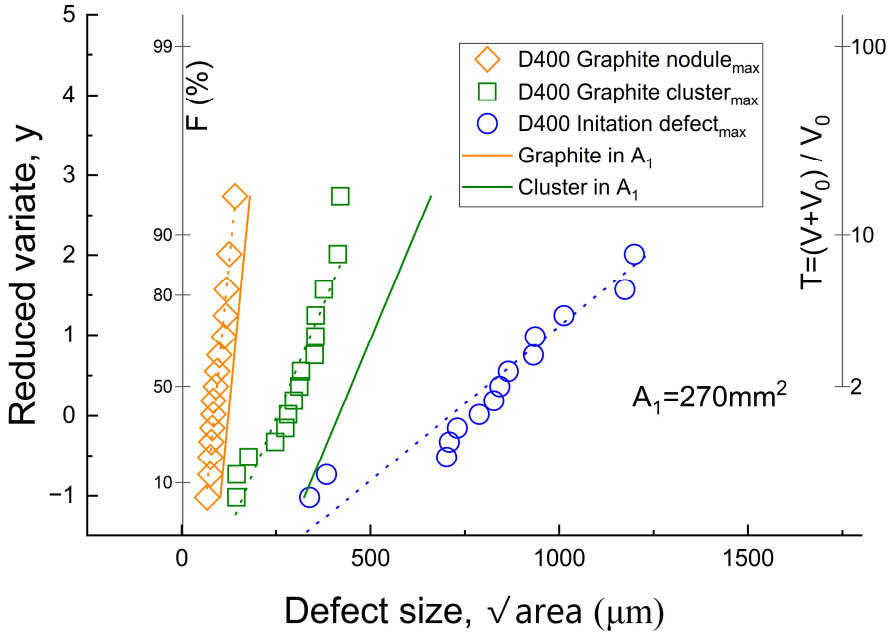


Fig. 15 *Extreme value statistic distribution of* $\sqrt{area}_{max}$ *for maximum microshrinkage cavity, graphite nodule size, and graphite cluster size of Ø400 mm EN-GJS-600-10 castings*

© Valmet

RESULTS

Kitagawa-Takahashi

- Kuvan 17 perusteella Murakami-Endo-malli soveltui hyvin tutkittujen näytteiden väsymislujuuden alarajan arviointiin. D200- ja D400-ryhmissä kaikki tulokset olivat mallin ennusteen mukaisia tai sen yläpuolella, mutta D300-ryhmässä kolme näytettä murtui mallin ennustetta alemmalla väsymiskuormalla.

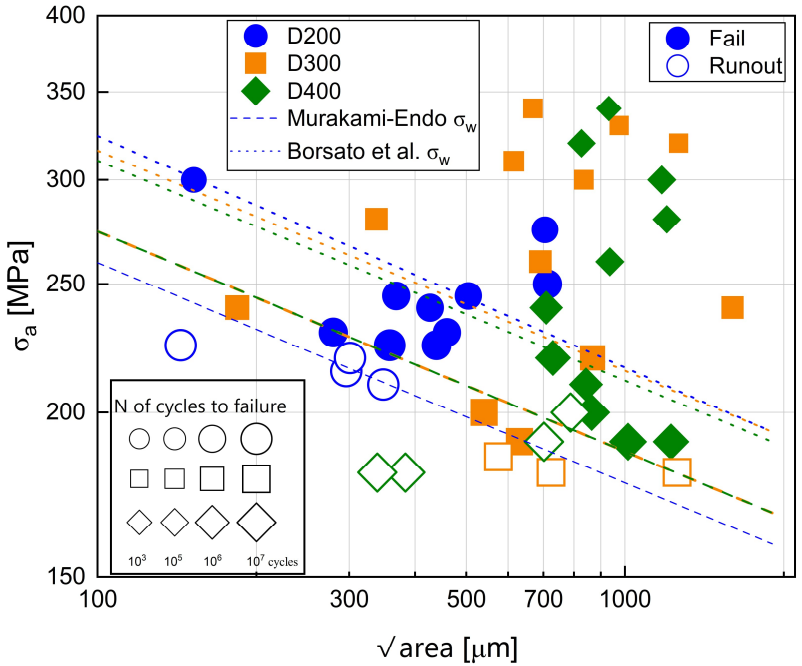


Fig. 17 *Kitagawa-Takahashi diagram*

© Valmet

RESULTS

Correlation of graphite nodule count and maximum defect

- Borsaton tutkimusaineisto on esitetty samassa kuvassa vertailun mahdollistamiseksi. Tulokset tukevat selvästi heidän havaintojaan ja johtopäätöksiään.
- Mikrohuokoisuuden koko voidaan ennustaa pallotiheyden perusteella

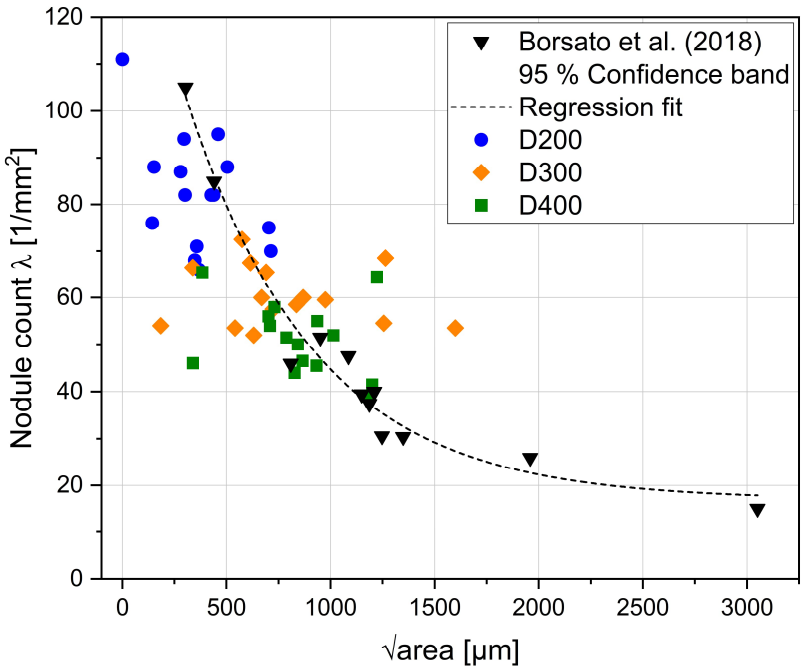


Fig. 18 *Correlation of graphite nodule count [1/mm²] and maximum defect* $\sqrt{area}$ *[µm]*

© Valmet

CONCLUSIONS

- Valukappaleen poikkileikkauksen koko ja jähmettymisaika vaikuttavat väsymislujuuteen
- Hidas jähmettyminen johtaa suurempiin grafiittipalloihin, grafiittipalloryppäisiin ja mikrohuokoisten kokoon.
- Murakami-Endon $\sqrt{area}$ -mallin todettiin ennustavan konservatiivisesti väsymisrajan alarajaa. Kaikkien väsymiskokeiden tulokset sijoittuivat mallin ennusteen yläpuolelle tai enintään ±10 %:n poikkeaman sisälle ennustetusta alarajasta. Näin ollen matriisin kovuus (HV) ja vikakokoa kuvaava $\sqrt{area}$ -arvo voidaan tunnistaa tärkeimmiksi tutkittavan materiaalin väsymisrajaa määrääviksi parametreiksi.
- Mikrohuokoisuus oli virhetyyppi, joka määräsi tutkittujen materiaalien väsymisrajan.
- Tutkimuksessa tunnistettiin yhteys pallotiheyden sekä särön ydintymisen aiheuttaneiden suurimpien mikrohuokoisen koon ($\sqrt{area}$) välillä. Tulokset tukevat hyvin Borsato et. al. (2018) esittämiä aikaisempia havaintoja.
-

© Valmet


Valmet
FORWARD