

Lappeenranta University of Technology
Department of Mechanical Engineering
Laboratory of Fatigue and Strength

AN ASSESSMENT OF FATIGUE STRENGTH OF LOAD CARRYING
WELDED JOINTS WITH LACK OF PENETRATION

The subject of the thesis has been approved by the Department Council of the
Department of Mechanical Engineering on 4th October 2006.

Supervisor: Professor Gary Marquis

Instructors: Dr. Timo Björk & Dr. Timo Nykänen

Lappeenranta, 20th November 2006

Ahti Oinonen

Abstract

Lappeenranta University of Technology
 Department of Mechanical Engineering
 Laboratory of Fatigue and Strength

Author: Ahti Oinonen
 Title: An Assessment of Fatigue Strength of Load Carrying
 Welded Joints with Lack of Penetration
 Year: 2006

Master's Thesis
 65 Pages, 37 Figures, 8 Tables and 5 Appendices

Keywords: Fatigue crack growth, Fatigue strength, Fracture mechanics,
 Lack of penetration, Welded joint

It is well-known fact that welded structures subject to cyclic fatigue loading fail at the welded connections. Professional design and modern manufacturing methods of full penetration welds have virtually eliminated fatigue cracks in the welded structures. Nevertheless, increasing the fatigue strength of the load carrying welded joints by a strict full penetration requirement is an uneconomical alternative. Quality specifications of critical welds have to contain definite inspection and rejection criteria for the full penetration welds.

The scope of this thesis was to study the effects of the geometrical variables on fatigue strength of the load carrying welded joints. An attention was focused mainly on the design variables which have effect on fatigue cracking from a weld root. The existing fatigue design guidelines based on experimental $S-N$ curves give quite general instructions for the fatigue assessment of the welded joints. Therefore, completely new parametric equations for the allowable threshold value of the nominal stress range, $\Delta\sigma_{th}$, were derived in order to avoid growth of the fatigue cracks from the root side of welds. In addition, fatigue classes (FAT) of the weld root side for each joint type were calculated. The obtained results of the fatigue classes were compared with the results calculated by the existing design rules. For additional references, several three-dimensional (3D) fatigue analyses were calculated. The published experimental data was used to help understand a unique fatigue behavior of welded joints and relevance of the recommended material constants.

The fatigue strength of the load carrying welded joints with lack of penetration was determined by using the linear elastic fracture mechanics (LEFM). The maximum hoop stress theory was exploited to predict a direction of the crack growth. For a given welded material and set of test conditions, the crack growth behavior was described by the relationship between cyclic crack growth rate, da/dN , and range of the stress intensity factor, ΔK , i.e. by Paris' law. Numerical integration of the Paris' equation was carried out automatically by the computer simulation program FRANC2D/L. The obtained results can be used for calculating FAT in each case. Calculation of $\Delta\sigma_{th}$ was based on the range of the stress intensity factor of the initial crack and the threshold stress intensity factor range, ΔK_{th} . If the value of ΔK is less than ΔK_{th} , no root crack growth is expected. An as-welded condition was assumed and no crack initiation period was considered. The results of analyses can be assistance to designers making considered decisions regarding the effect of variation of the geometrical parameters of the as-welded joints based on fatigue strength.

Tiivistelmä

Lappeenrannan teknillinen yliopisto
Konetekniikan osasto
Rakenne- ja lujuustekniikan laboratorio

Tekijä: Ahti Oinonen
Aihe: Kuormaa kantavien vajaatunkeumaisten hitsausliitosten
väsymisljuuksien arviointi
Vuosi: 2006

Diplomityö
65 sivua, 37 kuvaa, 8 taulukkoa ja 5 liitettä

Hakusanat: hitsausliitos, murtumismekaniikka, särön kasvu, vajaa tunkeuma,
väsymisljuuus

On yleisesti tiedossa, että väsyttävän kuormituksen alaisena olevat hitsatut rakenteet rikkoutuvat juuri hitsausliitoksista. Täyden tunkeuman hitsausliitoksia sisältävien rakenteiden asiantunteva suunnittelu ja nykyaikaiset valmistusmenetelmät ovat lähes eliminoineet väsymisvauriot hitsatuissa rakenteissa. Väsymisljuuden parantaminen tiukalla täyden tunkeuman vaatimuksella on kuitenkin epätaloudellinen ratkaisu. Täyden tunkeuman hitsausliitoksille asetettavien laatuvaatimuksien on määriteltävä selkeät tarkastusohjeet ja hylkäämisperusteet.

Tämän diplomityön tarkoituksena oli tutkia geometrinen muuttujien vaikutusta kuormaa kantavien hitsausliitosten väsymisljuuteen. Huomio kiinnitettiin pääasiassa suunnittelu- ja valmistusmuuttujiin, joilla on vaikutusta väsymisvaurioiden syntymiseen hitsauksen juuren puolella. Nykyiset määräykset ja standardit, jotka perustuvat kokeellisiin tuloksiin; antavat melko yleisiä ohjeita hitsausliitosten väsymismitoituksesta. Tämän vuoksi muodostettiin kokonaan uudet parametriset yhtälöt sallitun nimellisen jännityksen kynnysarvon vaihteluvälillä, $\Delta\sigma_{th}$, laskemiseksi, jotta vältettäisiin hitsausliitosten juuren puoleiset väsymisvauriot. Lisäksi, jokaiselle liitostyypille laskettiin hitsin juuren puolen väsymisluokat (FAT), joita verrattiin olemassa olevilla mitoitusohjeilla saavutettuihin tuloksiin. Täydentäviksi referensseiksi suoritettiin useita kolmiulotteisia (3D) analyysejä. Julkaistuja kokeellisiin tuloksiin perustuvia tietoja käytettiin apuna hitsausliitosten väsymiskäyttäytymisen ymmärtämiseksi ja materiaalivakioiden määrittämiseksi.

Kuormaa kantavien vajaatunkeumaisten hitsausliitosten väsymisljuuus määritettiin käytämällä elementtimenetelmää. Suurimman pääjännityksen kriteeriä hyödynnettiin murtumiskäyttäytymisen ennakoimiseksi. Valitulle hitsatulle materiaalille ja koeolosuhteille murtumiskäyttäytymistä mallinnettiin särön kasvunopeudella da/dN ja jännitysintensiteettikertoimen vaihteluvälillä, ΔK . Paris:n yhtälön numeerinen integrointi suoritettiin FRANC2D/L tietokoneohjelmalla. Saatujen tulosten perusteella voidaan laskea FAT tutkittavassa tapauksessa. $\Delta\sigma_{th}$ laskettiin alkusärön jännitysintensiteettikertoimen vaihteluvälillä ja kynnysjännitysintensiteettikertoimen, ΔK_{th} , perusteella. ΔK_{th} arvoa pienemmällä vaihteluvälillä särö ei kasva. Analyyseissä oletuksena oli hitsattu jälkikäsittelemätön liitos, jossa oli valmis alkusärö hitsin juuressa. Analyyseiden tulokset ovat hyödyllisiä suunnittelijoille, jotka tekevät päätöksiä koskien geometrisiä parametreja, joilla on vaikutusta hitsausliitosten väsymisljuuteen.