

До
Наставно научниот совет на

Машинскиот факултет Скопје
Универзитет “Св. Кирил и Методиј“

Предмет: Пријава на тема за магистерска работа

Наслов на темата: Теоретска и нумеричка анализа на механизмот на иницирање на микропрснатини во метална структура

Институт: Заварување и заварени конструкции

Кандидат: Дончева Елисавета, дип. маш. инж.

Ментор: Вон. проф. д-р Горѓи Ациев

Образложение на темата

Праксата покажува дека повеќето од отказите на инженерските компоненти е поврзано со појавата на микропрснатини. За да може да се исполнат конструктивните барања, често се изработуваат компоненти кои може да содржат жлебови и/или отвори, каде што нивото на локално оптоварување е повисоко отколку просечното оптоварување заради концентрацијата на напоните. Исто така, заварените врски кои се неопходни за спојување при производство и монтажа на конструкции, посебно кај опремата под притисок, се произведуваат и работат во сложени металуршки услови, под влијание на околината и напони кои водат до разни механизми на оштетување како што е појавата и развојот на прснатини.

Лом настанува кога макро прснатината ќе ја достигне критичната должина и компонентата нема да може да го издржи оптоварувањето. Со цел да се обезбеди поголемо разбирање за интегритетот на инженерските компоненти, ваквото однесување на материјалите како резултат на нивните микроструктурни карактеристики, и покрај големиот развој на механиката на лом и науката за материјалите, привлекува и понатаму големо внимание. Од особен интерес претставува изучувањето на феноменот на иницијација и стабилен развој на прснатините на микроструктурно ниво, со оглед на тоа дека и иницијацијата и стабилниот развој на прснатината во материјалите е од многу локален карактер и се одвива на микроструктурно ниво. Хемискиот состав, металуршките фази, микроструктурните димензии, процесните и површински обработки можат значително да го променат однесувањето на малите прснатини, вклучувајќи ги промените кои настануваат поради влијанието на температурата и средината на експлоатација.

Поврзаноста помеѓу физичките механизми на деформирање и микроструктурата на материјалот, наметнува претставување и проучување на законитости на зависност на однесувањето на материјалите од насоченоста на кристалната решетка, имајќи ја предвид анизотропноста на еластичната деформација на отделните кристални зрна, како и дислокациско движење помеѓу рамнините на лизгање. Кај поликристалните метали, еласто-пластичната деформација во голема мера зависи и од ефикасноста на границите на зрната кои претставуваат бариери за пренесување на лизгањето.

Ова истражување треба да даде прилог кон квалитативното и квантитативното разбирање на механизмот на развојот на деформацијата и иницирањето на микропрснатини кои му претходат на стабилниот развој на прснатина или на нестабилниот при отказ на еден материјал.

Експерименталните истражувања играат важна улога во обезбедување на интегритет кај заварените врски, но поради многу високата цена на чинење на овие испитувања, нумеричкиот пристап е добро дојден пред сè поради многуте предности кои ги овозможува, и е во согласност со духот на

современото време и претставува моментален интерес на светско ниво на голем број реномирани истражувачки центри, особено од аспект на моделирање на микроструктурно ниво.

По истражување на изворите на литература заради анализа на досегашните искуства во оваа област на интерес, утврден оптимален модел за симулирање на структурата е “Воронова поделба (тесалација)” со која се симулира создавањето на микроструктурата при кристализација и термичките циклуси низ кои минува секундарната микроструктура, особено кај мартензитот кој е избран како најпогодна и репрезентативна микроструктура во заварените врски за ова анализа.

Инженерските материјали се поликристални материјали и не се изотропни, при што одделните кристални зрна се анизотропни, а големиот број на зрна се случајно ориентирани. Особините на секое од металните зрна зависат од типот и ориентацијата на кристалната решетка. Во таа насока, особините на поликристалните материјали чии зрна не се бесконечно мали, но се најмалку помали за еден ред од редот на големината на волуменот на материјалот, зависат од однесувањето на секое одделно зрно.

Вороновата поделба претставува одлично решение за генерирање на репрезентативен волуменски елемент со случајно ориентирана поликристална структура, како основа за понатамошна симулација на дистрибуцијата на напонот и неговото влијание врз развојот на деформацијата и појавата и однесувањето на прснатините.

Напонската распределба се анализира преку методот на конечни елементи во еласто-пластичното подрачје на материјалот. Појавата на непрекината прснатина се симулира со дефинирање на потенцијална рамнина на прснатината (рамнина на лизгање или рамнина на најголеми смолкнувачки напони) во секое одделно зрно и нејзино влијание на деформацијата и концентрацијата на напонот во соседните зрна.

Нумеричкиот модел има за цел да ја прикаже зависноста на распределба на смолкнувачки напони и деформација од ориентацијата на зрната, големината на зрната и големината на оптоварувањето. Согласно изложеното, за да создадениот математички модел стане применлив за целите на ова истражување, неопходно е да се дефинираат следните аспекти:

- Кристалните зрна во микроструктурата да се моделираат прецизно со сите детали (примена на Воронова поделба, случајна ориентација на зрната)
- Да се земе предвид вистинското анизотропно однесување на оптоварените зрна со моделирање на анизотропноста (матрица на крутост)
- Граничните услови при кои се формира пластичната зона и/или доаѓа до појава на иницијални микропрснатини се што поблиску до реалните (напон пресметан со примена на теорија на механиката на континуум и пренесен на проучуваниот проблем).

Ова се прашања и предизвици кои се актуелни и од аспект на научно-истражувачката работа, но исто така се и барање од апликативна гледна точка, односно е неопходно нивно истражување и дефинирање заради нивна имплементација во актуелните пристапи и методологии во оцената на преостанатиот век и интегритет на одговорните конструкции како што е опремата под притисок.

Цели на истражување

Практичната примена на механиката на лом е од нејзиниот сам почеток базирана на интерпретација на нејзините параметри, од една страна тие го претставуваат оптоварувањето и геометријата на конструкцијата, а од друга страна ги претставува особините на материјалите и нивната отпорност на развој на прснатините.

Развиени се повеќе пристапи и процедури, но сепак полето на истражување е широко и недоволно покриено во поглед на микроструктурно ниво како и со оглед на брзиот развој на нови материјали со зголемена цврстина заради олеснување на конструкциите и заштеда на материјал, потоа развојот на современи процеси, конструкции и постројки.

Со оглед дека иницијацијата и развојот на прснатините во материјалите е од многу локален карактер кој се одвива на микроструктурно ниво, ова истражување ќе бидат фокусирано кон подетално проучување на локалните феномени на микроструктурата, за која цел ќе се премине кон развој на математички модел со кој ќе се направи обид да се моделира иницијацијата на микропрснатини во услови на статичко оптоварување во хомоген материјал.

Цел на ова истражување е да даде прилог на досегашните научни и апликативни достигнувања од областа на механиката на лом и интегритетот на конструкциите, во подобро разбирање на ломната

отпорност и однесување на заварените врски со прснатина во металот на заварот и прснатина во зоната под влијание на топлината. Ова подразбира широк спектар на придобивки: детално детерминирање на основните особини на основниот материјал, основните особини на заварената врска како сложен материјален систем, подобрување на експерименталните методи за одредување на ломната жилавост и параметрите на механиката на лом, разработка и оптимирање на нумерички модели за симулирање на реалното однесување на конструкциите во услови на присуство на прснатина.

Методологија во истражувањето

Се анализира еден репрезентативен волумен во однапред дефиниран поликристален метал (на пример ЗВТ на заварена врска) во кој се опфатени сите карактеристики на микроструктурата како што се механички особини на кристалните зрна, големината на зрната и нивната ориентација. За обликување на металографски одредени микроструктурни големина се применува Вороновиот алгоритам за генерирање на вештачки микроструктури. Вештачката микроструктура треба да е што поблиска на реалната односно да има иста почетна големина на зрната и исти механички особини, во овој случај тоа е мартензитот, како типична микроструктура присутна во заварени врски и склона кон појава на микро, односно макро прснатини. Генерираните зрна во просторот се распоредени случајно, така што и нивната ориентација е случајна. Положбата на вороновите точки се генерира по случаен метод, а потоа тие точки се основа за поделба на просторот во рамнината, односно генерирање на зрната при што границата помеѓу две зрна е секогаш еднакво оддалечена од соседните точки. На вака моделирана микроструктура со земање предвид на кристалографската ориентација на секое зрно можно е преку нумеричкиот модел со методот на конечни елементи да се симулира деформацијата на најоптовареното зрно. Кога зрното ќе се деформира на смолкнување под 45° во однос на главните оски на кристалот, тогаш се врши прераспределба на оптоварувањето на соседните зрна. На тој начин сукцесивно се следи ширењето на пластичната зона околу вратот на прснатината.

Резултатите кои се добиваат се споредуваат со теоретските сознанија за иницирањето и пропагацијата на прснатините и резултатите добиени при експериментални испитувања на други истражувања кои ја обработуваат проблематиката поврзана со отпорноста на лом на материјалите.

Очекувани резултати

Се очекува да се постигне:

- Одредување на влијанието на големината и ориентацијата на кристалните зрна во микроструктурата на хомоген анизотропен материјал врз интегритетот на материјалите и заварените врски
- Дефинирање на нумерички модел за еласто-пластична анализа со конечни елементи за симулирање на појава на микропрснатини како есенцијален механизам при отказ на материјали и конструкции.
- Воспоставување или надградба на постоечки процедури и методологии за оцена на интегритетот на конструкциите со прснатина, со вградување на критериуми за иницијација и развој на микропрснатини при појава на лом.

Ментор

Вон. проф. д-р Ѓорѓи Аџиев

Литература

1. Ulrich Krupp, Fatigue Crack Propagation in Metals and Alloys - Microstructural aspects and Modelling Concepts, 2007.
2. Brückner-Foit, A., and Huang, X., Numerical simulation of micro -crack initiation of martensitic steel under fatigue loading, Int. J. Fatigue. Vol. 28, pp. 963–71, 2006.
3. Suresh, S., Fatigue of materials, 2nd version, Cambridge, 1998.
4. Brückner-Foit, A., Meyer, S., Möslang, A. and Diegele, E., Stochastic simulation of fatigue damage evolution in a martensitic steel, FATIGUE 2002, Stockholm, 2002.
5. Schwalbe K., Basic engineering methods of fracture mechanics and fatigue, 2001.
6. Huang, X., Wu, X.R., Ding, Ch. and Hu, B.R., Small Crack propagation behavior of a forged titanium alloy Ti -6Al -4V, FATIGUE 2002, Stockholm, 2002.
7. Gong, B., Wang, Z. and Wang, Z., Cyclic deformation behavior and dislocation structures of [001] copper single crystals -I cyclic stress -strain response and surface feature, Acta Mater., Vol. 45, No. 4, pp. 1365–77, 1997.
8. Pohl, K., Mayr, P., and Macherauch, E., Persistent slip bands in the interior of a fatigued low carbon steel, Scripta Metallurgica, Vol. 14, pp. 1167–69, 1980.
9. Meyer, S., Brückner -Foit, A., Möslang, A., A stochastic simulation model for micro -crack initiation in a martensitic Steel, Computational Materials Science, Vol. 26, pp. 102–10, 2003.
10. Ren, Z. -Y., Zheng, Q. -S., A Quantitative study of minimum sizes of representative volume elements of cubic polycrystals—numerical experiments, J. Mech. & Phy. Solids, Vol. 50, pp. 881 – 93, 2002.
11. Ahmadi, A. and Zenner, H., Simulation of microcrack propagation for different load sequences, FATIGUE 2002, Stockholm, 2002.
12. Weyer S., Fröhlich A., Riesch-Oppermann H., Cizelj L., Kovac M., Automatic finite element meshing of planar Voronoi tessellations, Engineering Fracture Mechanics Vol. 69, pp. 945–58, 2002.
13. Andersson, J., The influence of grain size variation on metal fatigue, Int. J. Fatigue, Vol. 27, pp. 847–52, 2005.
14. Chingshen Li, On the interaction among stage I short cracks, slip band and grain boundary, International J. of Fracture, 1990.
15. J.V. Carstensen , T. Magnin, Characterisation and quantification of multiple crack growth during low cycle fatigue, International J. of Fatigue, 2001.
16. Kim, H.J., Kim, Y.H. and Morris Jr., J.M., Thermal mechanisms on grain and packet refinement in a lath martensitic Steel, ISI J International, Vol. 38, No. 11, 1998.
17. Guo, Z., Sato, K., Lee, T. -K. and Morris, Jr., J.W., Ultrafine grain size trough thermal treatment of lath martensitic steels, Ultrsfine Grained Materials, TMS 2000, eds., Rajiv S. Mishra, S.L. Semiatin etc., pp. 51–62, 2000.
18. Watanabe, O., Zbin, H.M. and Takenouchi, E., Crystal plasticity: micro -shear banding in polycrystals using Voronoi tessellation, Int. J. Plasticity, Vol. 14, No.8, pp. 771 –789, 1998.
19. Ameen, M., Computational Elasticity, Theory of elasticity and finite and boundary element methods, Alpha Science Int. Ltd., pp. 68–77, 2005.
20. Hunsche, A. and Neumann, P., Quantitative measurement of persistent slip band profiles and crack initiation, Acta Metallurgica, Vol. 34, pp. 207–17, 1986.
21. T.L. Anderson, Fracture mechanics - Fundamentals and application, 1995.
22. H.Vehoff, A. Nykyforchyn, R.Metz, Fatigue crack nuleation at interfaces, Materials Science & Engineering, 2003.