



КОЕФИЦИЕНТ НА КОНЦЕНТРАЦИЯ В ЗАВАРЕНИ ЧРЕЗ ТРИЕНЕ И РАЗМЕСВАНЕ АЛУМИНИЕВИ СПЛАВИ

Иван Коларов
ikolarov@vtu.bg

*Висше транспортно училище „Тодор Каблешков“
София, ул. „Гео Милев № 158
РЕПУБЛИКА БЪЛГАРИЯ*

***Ключови думи:** коефициент на концентрация, заварени чрез триене и размесване алуминиеви сплави*

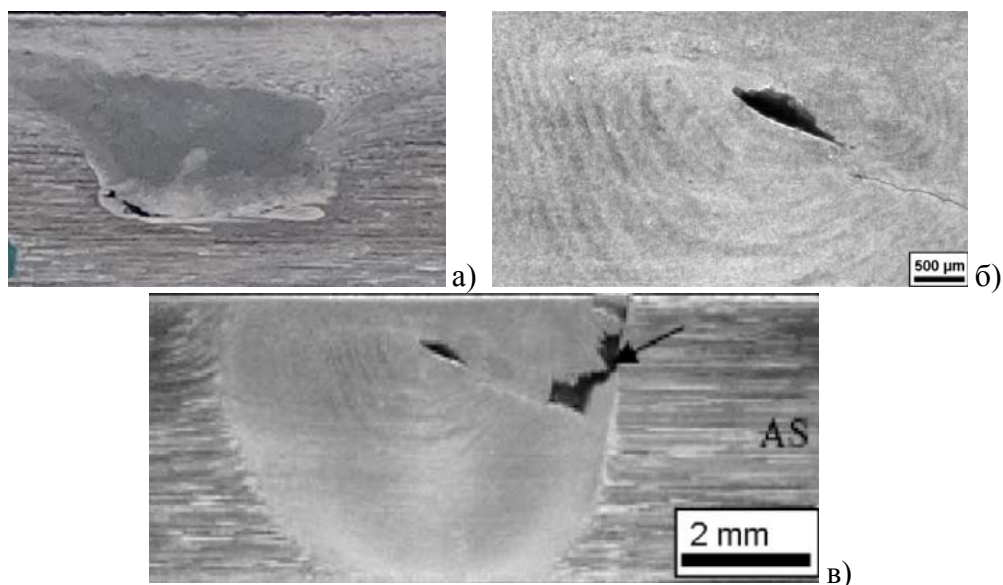
***Резюме:** В работата е изследван коефициентът на концентрация в челен заварен чрез триене и размесване шев между плоски образци от алуминиева сплав 6061, възникващ от наличието на нецялостности в шева. Изследването е проведено в средата на специализирани инженерни продукти с възможност за получаване на напрегнато състояние чрез задаване на геометрични размери и външно натоварване на детайли и на еластични свойства на материала, от който те са изработени. В опитен образец последователно са моделирани нецялостности с форма на напречното сечение, разположение и ориентация спрямо външното натоварване, регистрирани експериментално на реални образци чрез визуален метод. Допълнително, в процеса на моделиране формата на нецялостностите е идеализирана. Изследването е проведено за шев с плоски стени, формирани в процеса на технологична изработка и със структура, близка до тази на заваряваните елементи. Измерено е в софтуерна среда напрежението в участъци около нецялостностите. Отчетено е максималното еквивалентно напрежение и са получени концентрациите на напрежение в тези зони. Установени са стойности за коефициента в диапазона 2.4 – 2.7. Получените резултати са илюстративни и следва да бъдат отчитани по принцип при конструиране на заварени чрез триене и размесване алуминиеви сплави.*

ВЪВЕДЕНИЕ

В процеса на заваряване чрез фрикционен ротационен инструмент едновременно възникват термодинамични взаимодействия на загряване и охлаждане, както и пластифициране на материала от инструмента и смесване. В този процес материалът не се разтопява до течено състояние. Поради факта, че съединението се реализира под точката на топене на метала, за тази технология типични технически отклонения за заварените съединения от вида възникване на пори или горещи пукнатини не са характерни. Въпреки загряването на метала за съединението не е характерно значителна промяна на структурата. Типични технически отклонения за тази технология е неслепване на материала в отделни участъци, в т.ч. възникване на кухини поради

изменения в режима на заваряване, напр. грешки на оператора, подаване на недостатъчно количество материал в зоната на шева и др. [1, 2].

Типично отклонение в заваръчния шев е получаване на надлъжна кухина в резултат на отклонения в движението на изпълнителния инструмент. Получава се т.н. тунелен дефект. Изображения на такива кухини са показани на фиг. 1 [1, 2], като това на 1 а) е получено при размесване чрез триене на слой в плосък образец от сплав Al 6061 [1], а тези от фиг. 1 б) и в) – в заваръчен шев между образци от алуминиеви сплави [2]. Видно е, че нецялостностите имат неправилна форма, а ориентацията им е под известен ъгъл спрямо оста на движение на инструмента (на снимките оста е вертикална и не е показана). В едно относително малко пространство може да са разположени една или повече нецялостности. Също така нецялостност от тунелен тип може да се комбинира с друг вид нецялостност (напр. фиг. 1 б). Размерността на нецялостностите също може да варира. В случая се регистрират нецялостности между 0.5 и 2 mm. В зависимост от технологията за безразрушителен контрол в зависимост от чувствителността на метода съществува праг на минималния значим размер, под който се затруднява регистрацията на нецялостности [3]. Следователно в отговорни заварени съединения нецялостности и контролирани за вътрешни нецялостности чрез безразрушителни методи е възможно да не бъдат регистрирани тези под прага на чувствителност.



фиг. 1. Типични изображения на нецялостности в заваръчен шев чрез триене и размесване в алуминиеви сплави.

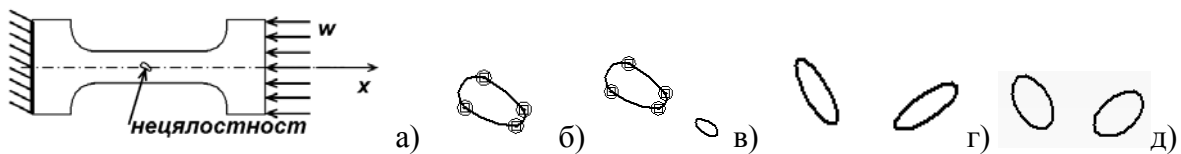
При заваряване чрез триене и размесване е възможно възникване и на друг тип нецялостности, като в специализираната литература основен акцент се поставя на причините за тяхното възникване [1, 2] и при необходимост те могат да бъдат разгледани допълнително. От конструктивна гледна точка последствията от тях са подобни тези от тунелен тип, като значими фактори за якостта на изделието са големината и разположението на нецялостностите.

Задача на настоящата работа е да изследва големината на коефициента на концентрация в заваръчен чрез триене и размесване шев между алуминиеви сплави в резултат на нецялостности от тунелен вид, възникващи в резултат на прилаганата технология. Внимание се отделя на единични или групови нецялостности с размери до 2 mm.

ПОСТАНОВКА ЗА РЕШАВАНЕ НА ЗАДАЧАТА

Изследването е проведено чрез инженерен анализ на еквивалентното натоварване в опитен образец с една или повече тунелни нецялостности, ориентирани спрямо типичната посока на натоварване за челен заваръчен шев. За целта са използвани инженерни софтуерни продукти за моделиране и якостен анализ на машинни елементи. В образеца се премахва следата от инструмента от изработката, с което се избягва влиянието на допълнителни концентратори на напрежение в изследваното сечение. Материалът за изработка на шева е с близък по структура състав до този на основния материал, като са пренебрегнати забелязани [1] известни разлики в микротвърдостта между тях.

Форма на образеца е показана на фиг. 2 а). Той се състои от два еднакви елемента с формиран между тях заварен шев. Образецът е моделиран от алуминиева сплав Al 6061 с дебелина на опасното сечение 4 mm и дължина 50 mm. В средната част са моделирани нецялостности с близка до елиптична форма от вида, показани на фиг. 2 б). Радиусите на криви на са в рамките на 0.11 - 1.5 mm. Най-малкото разстояние между нецялостностите на фиг. 2 в) е 0.76 mm. Максималният размер на елипсите от фиг. 2 г) и д) е 1.82 mm, а разстоянието между тях е 1.47 mm. Кухините с две нецялостности са разположени в различни равнини по отношение на направлението на външното натоварване, подобно на показаните резултати от фиг. 1. Съществена разлика между тях е в радиуса на кривина в участъка на голямата ос.



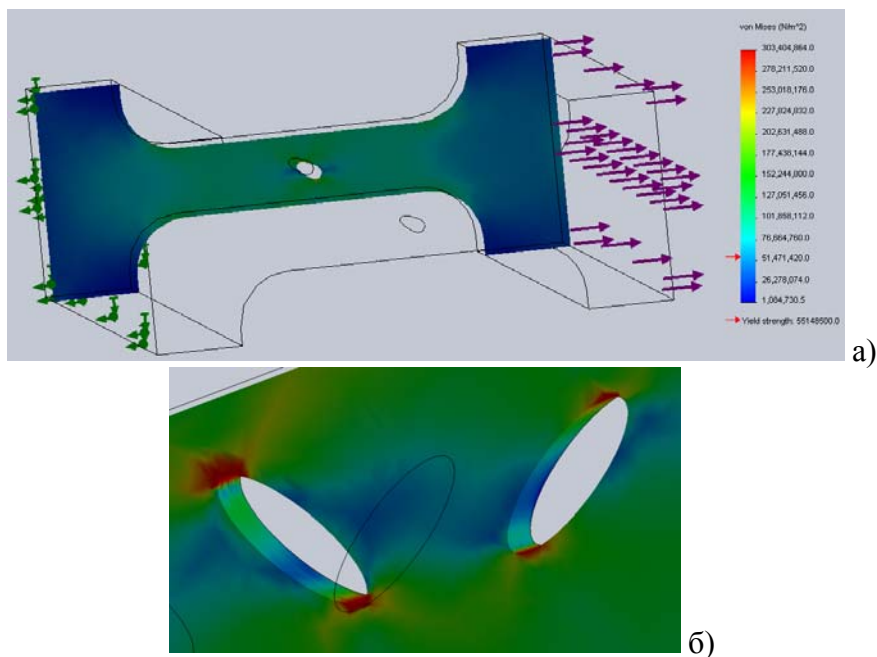
фиг. 2. Изображение на опитния образец и формите на моделираните нецялостности

Опитният образец е запънат неподвижно в едната опорна повърхнина и натоварен по срещуположната повърхнина с разпределен товар w , създаващ напрежение на опън с големина 90.4 MPa в целия обем на участъка за разположение на нецялостността. Измерено е еквивалентното напрежение около моделираните нецялостности и е изчислен диапазонът за изменение на коефициентите на концентрации K_{σ} .

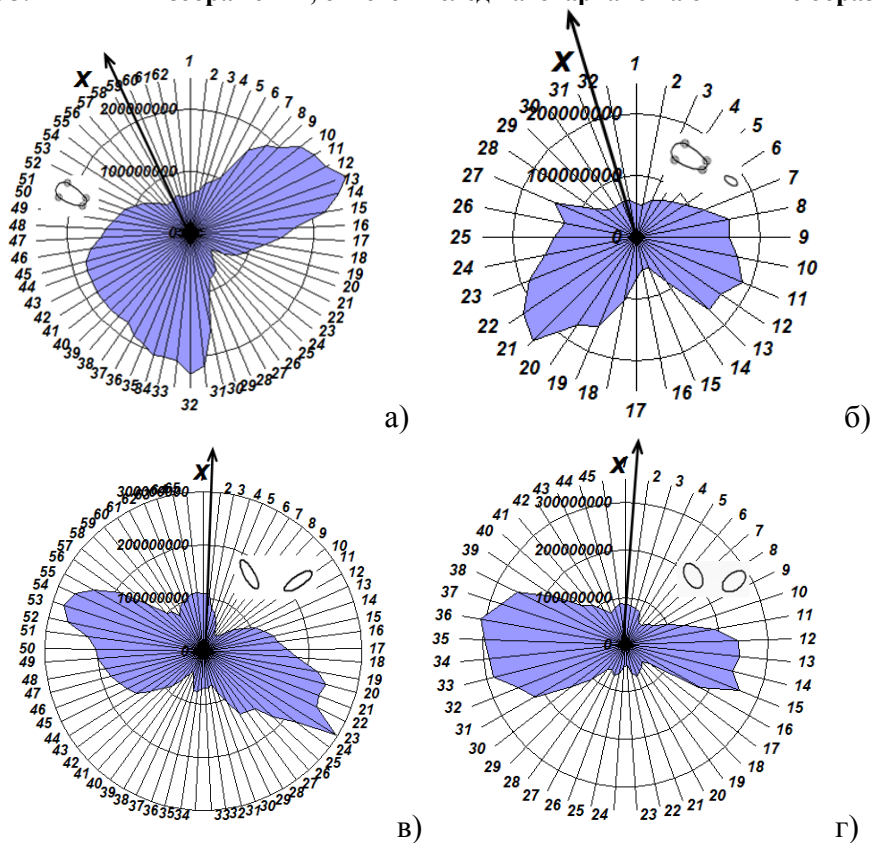
РЕЗУЛТАТИ ОТ ИЗСЛЕДВАНЕТО

На фиг. 3 а) и б) е показана типични изображения, отчетени след натоварване на опитните образци с нецялостности от вида показани на фиг. 2 б) и г), определени при еднакъв мащаб на цветоата скала.

Напрегнатото състояние около нецялостностите е показано на фиг. 4 . На диаграмите са означени чрез символи вида на нецялостностите, за които се отнасят в съответствие с показаните нецялостности на фиг. 2. Диаграмите са получени чрез измерване на еквивалентното напрежение в компютърна среда в равномерно около профила на нецялостностите. На диаграмите е поставена и оста, по която се реализира натоварването на образците.



фиг. 3. Типични изображения, отчетени след натоварване на опитните образци.



фиг. 4. Типични диаграми на напрегнатото състояние в зоната около нецялостностите.

ИЗВОДИ

В резултат от изследването на образците с различни по големина и форма нецялостности от елиптична или близка форма се установяват максимални коефициенти на концентрация K_{σ} в диапазона 2.4 – 2.7. Не се установява ясна взаимовръзка между близко разположените нецялостности и напрегнатото състояние. Отчетена е разлика за K_{σ} между отделните варианти в размер 0.3, която е несъществена и може да се дължи на други фактори, например: отслабване на

сечението, възникване на напрежения на огъване следствие на несиметричност на сечението и др. Не се установява взаимна връзка между радиуса на кривина на нецялостностите и стойностите на напрежението.

Получените резултати са илюстративни и следва да бъдат отчитани по принцип при конструиране на заварени чрез триене и размесване алуминиеви сплави.

ЛИТЕРАТУРА:

[1] KONDOFF C., V. DYKOVA, R. DIMITROVA, Y. HADJITODOROV, R. ZAEKOVA. Layer Formation on 6061 Aluminum Alloy after FSP. International Journal “NDT Days”. Volume IV. ISSN: 2603-4018 eISSN: 2603-4646.

[2] Kumar, K., S. Kailas. The role of friction stir welding tool on material flow and weld formation. Materials Science and Engineering A, 2008.

[3] Миховски М. Комплексно използване на безразрушителните методи за изследване на структурата и физикомеханичните свойства на метални материали. Дисертация за присъждане на научната степен „доктор на техническите науки”, Институт по механика и биомеханика – БАН, София, 1991.

[4] Коларов И. НАПРЕГНАТО СЪСТОЯНИЕ В ЗАВАРЪЧЕН ШЕВ С ЛИНЕЕН И ТОЧКОВ КОНЦЕНТРАТОР. Научно списание „Механика, Транспорт, Комуникации”. том 18, брой 3/1, 2020 г. ISSN 1312-3823 (print) ISSN 2367-6620 (online)

***Благодарности:** Работата е създадена при разработване на научноизследователски проект «Коефициент на концентрация в заварени съединения в транспортното машиностроене и внедряване на резултатите в лекционна зала “Машинни елементи”», подкрепен от МОН.*

CONCENTRATION COEFFICIENT IN FRICTION STIR WELDED ALUMINUM ALLOYS

Ivan Kolarov
ikolarov@vtu.bg

***Todor Kableshkov University of Transport
Sofia, 158 Geo Milev Str.
THE REPUBLIC OF BULGARIA***

***Key words:** stress concentrator concentration factor; friction stir welded aluminum alloys.*

***Abstract:** The coefficient of concentration in friction stir welded flat samples of aluminum alloy 6061 was studied in the work, that appear in result of imperfections in the weld. The research is carried out by specialized engineering products for obtaining a stress in machine elements by setting the geometric dimensions and external load and elastic properties of the material from which they are made. The imperfections has been modeled with the shape and orientation according to the real imperfections in samples. In additional, the shape of imperfections is idealized. The research was carried out for a weld with flat walls formed in the process of production and with a structure very similar to that of the welded elements. The stress in the areas around the imperfections was measured in a software environment. The maximum equivalent stress is taken into account and the stress concentrations in these zones are obtained. Values for the coefficient in the range 2.4 - 2.7 have been calculated. The results obtained are illustrative and should be taken into account generally construction of friction stir welded aluminum alloys.*