



Investigation of the Fatigue Strength and Development of Cracks in Duplex Steel 2507

Georgi GEORGIEV, Yaroslav ARGIROV, Diyan DIMITROV

Technical University of Varna, Bulgaria
e-mails: gogo28@abv.bg, laroslav.1955@abv.bg, dimitrov.diyana@gmail.com

Abstract

The fatigue life of the duplex stainless steel 2507 is investigated. The vibration fatigue test at constant amplitude is carried out. Specimens are clamped on a shaker and excited at a near resonance frequency. Specimen length is chosen as to fit resonance frequency in the range 50-60Hz. A computer simulation of the fatigue loading is carried out. Two series of specimens are tested. First set is raw material and second set are from specimens welded in the stress concentrator area. From the results obtained, Woeller's curve is built. Raw samples show fatigue limit about 460MPa at 10^6 cycles. Contrary, welded specimens continue to fail beyond 10^6 cycles and the fatigue limit 254MPa is obtained at 10^7 cycles. Structural tests were carried out in the broken area and the development of the crack was investigated.

Keywords: duplex steel, stainless steel, vibration fatigue.

Изследване уморната якост и развитието на пукнатини на дуплексна стомана 2507

Георги ГЕОРГИЕВ, Ярослав АРГИРОВ, Дилян ДИМИТРОВ

1. Въведение

Дефицитността на никела ограничава производството на аустенитни стомани. В аустенитно феритните корозионноустойчиви стомани (т. нар. дуплексни или двуфазови), хромът е от 17 до 22 %, а никелът е ограничен до 5÷10 %. Допълнителни легиращи елементи са титанът и молибденът, а също азотът, волфрамът, медта и др. Аустенитно-феритните стомани в сравнение с аустенитните имат по-високи механични свойства ($R_m=600\div700$ МПа; $R_{p0,2}=450\div550$ МПа; $A=30$ % и $Z=50$ %); те са по-евтини, тъй като съдържат по-малко никел, имат 1,5-2 пъти по-висока якост и по-слабо изразена склонност към междукристална корозия [1].

Препоръчва се изделия от аустенитно-феритни стомани да се експлоатират при температури не по-високи от 350°C за предпазване от окрежкостяване в резултат на структурни промени. Тези стомани се използват широко в различни отрасли на техниката, особено в химическото машиностроене, хранително-вкусовата и металургичната промишленост, в корабостроенето, авиацията и др. [2].

2. Разглеждан проблем

В статията основно се разглежда проблемът, свързан с уморната якост на дуплексна стомана 2507, както на основния материал, така и в зоната на заваряване на същата стомана. Тази стомана намира широко приложение в химическата промишленост, а също така при морски съоръжения и различни конструкции, контактуващи с морска среда.

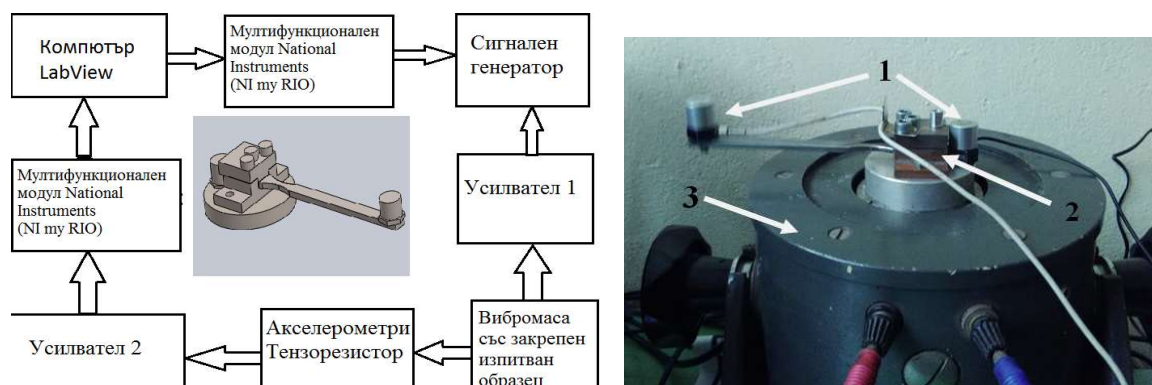
Ясно може да бъде разграничено поведението при циклична умора на материалите с обемно центрирана кубична (ОЦК) решетка и материалите със стенно центрирана кубична (СЦК) решетка. В конкретния случай ситуацията е по-сложна и не напълно изследвана, в случая имаме в наличност двуфазен материал с две коренно различни кристални решетки. Аустенитна – СЦК кристална решетка и феритна – ОЦК решетка. Структурата се оказва нехомогенна.

3. Цел изследователски методики и резултати

Целта на изследването е определяне на уморната якост на стомана 2507 в основния материал и в зоната на заваряване.

3.1 Методика на провеждания експеримент

Експериментът на вибрационна умора (огъване по симетричен цикъл $R=-1$) е проведен в лаборатория „Съпротивление на материалите“ на ТУ-Варна. За целта се подготвят образци тип греда с хемисферичен концентратор в единия край. Образецът се закрепва на електродинамичен актуатор като конзолна греда така че, концентратора да остане близо до фиксирания край на образца. За проследяване процесите при теста и регистриране брой на циклите се използват акселерометри (1) монтирани в свободния край на образца и на масата на електродинамичния актуатор, фиг.1. За да се постигнат високи амплитудни напрежения се възбуждат хармонични трептения с честота близка до честотата на фундаменталната форма на трептене. Дължината на образца е подбрана така че, фундаменталната собствена честота да е в диапазона 50-60Hz (съобразена с възможностите на електродинамичния актуатор) [3]. Амплитудата на натоварването се подбира в зависимост от избраната стъпка от експерименталния план

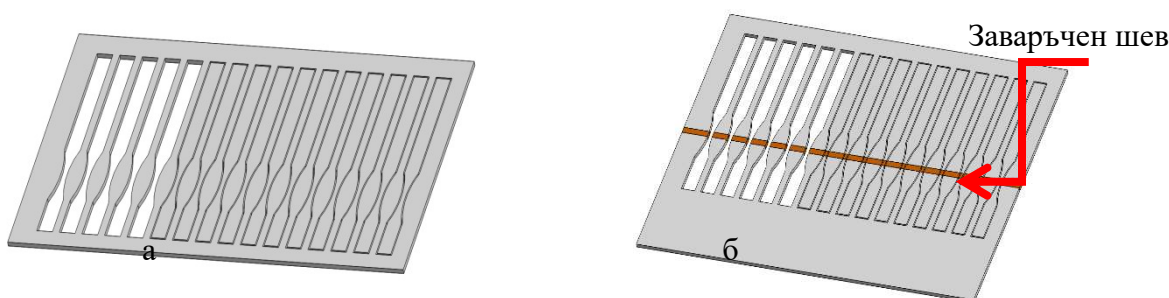


Фиг.1. Схема на установката за определяне уморната якост на материала

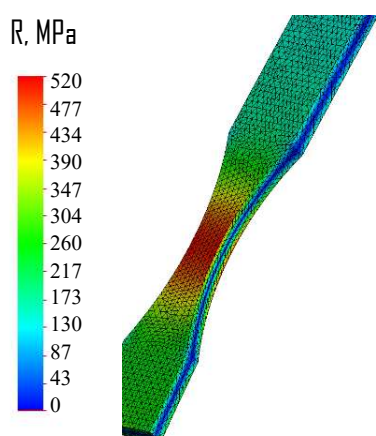
Заварените и незаварените образци са изрязани от листовата стомана SAF2507 с дебелина 3mm и размери 350mm на 200mm. Изрязани са две заготовки по подобен начин, като едната от тях се разделя допълнително на две равни части и се заварява електродъгово двустранно с електроди ESAB ОК 68.82. Целта е получаване на проби, заварени в зоната на разрушаване. При заварените проби двете плочи са притиснати в четирите ъгъла за да се избегне деформирането им. Заваръчният шев е допълнително шлифован. В краен вид пробите се получават чрез изрязване с лазер, с цел да се избегне термичния ефект по крайчените стени (фиг. 2 а, б).

3.2 Симуляционен анализ на провеждания експеримент

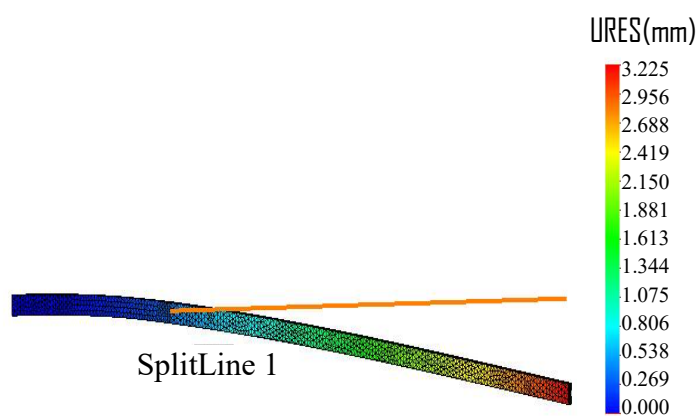
На умора бяха подложени 18 незаварени и 10 заварени образци от стомана SAF2507. За незаварените образци, проведените уморните изпитания бяха в диапазона 240MPa – 715MPa, а заварените проведените изпитания бяха в интервала 240MPa – 370MPa. Изследвана е границата на умора в рамките, $10^4 - 10^7$ цикъла. Предварително е проведено симуляционно изпитание на програмният продукт Solidworks. Пресметнатата резонансната честота е 54Hz. Избрано е натоварване от 520MPa, с което е проведена симулацията фиг.3.



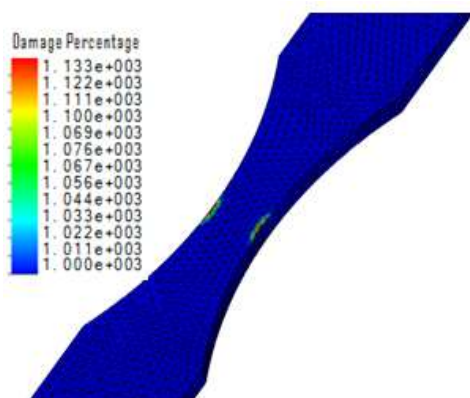
Фиг.2. Изрязани на плазма: (а) незаварени (б) заварени образци.



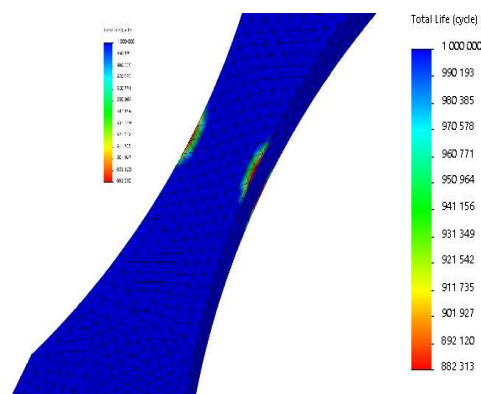
Фиг.3. Амплитуда на напреженията в образца



Фиг.4. Амплитуда на вертикалното преместване на образца



Фиг.5. Центрове на зараждане на пукнатина



Фиг.6 Уморна якост на материал при 520MPa ~ 880 000 цикъла.

При така зададената стойност на натоварване на (фиг.4, 5 и 6) са показани съответно максималната амплитуда и максимална дълговечност на образеца в центровете на зараждане на пукнатината

3.3 Резултати от проведените експерименти

Резултатите от изпитване на умора на незаварени и заварени образци са представени в таблица 1 и 2 съответно. Неразрушените образци са отбелязани с зелен цвят.

При незаварените образци в диапазона от 240 до 485МРа всички образци успешно преминаха границата от 10^7 цикъла. Изключение прави образец номер 15, който впоследствие е изследван по-подробно. Особеното тук е, че няма плавен преход между 10^6 и 10^7 цикъла като натоварвания над 495МРа разрушават образеца в диапазона до 10^6 , а натоварвания само с 10МРа по-малко (485) удължават живота на образците до минимум 10^7 цикъла. Докато при заварените образци имаме плавен преход от 10^4 до 10^7 . При тях в диапазона до 240МРа няма образуване на уморни фрактури, образецът успешно преминава заложената граница от 10^7 цикъла.

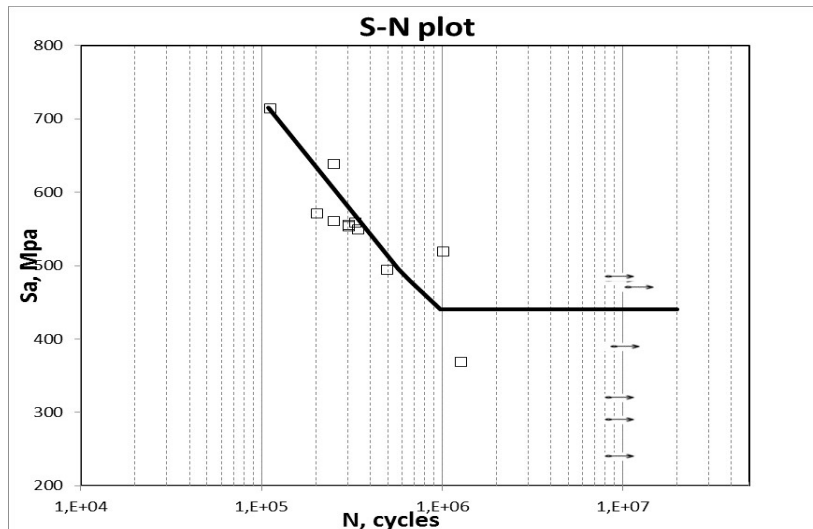
Табл.1. Незаварени образци, подложени на умора.

Незаварени образци		
№	Натоварване(Мра)	Брой цикли(N)
1	715	110000
2	640	247474
3	572	200000
4	562	250000
5	560	326000
6	557	300887
7	555	300000
8	550	339933
9	520	998770
10	495	491350
11	485	10000000
12	480	10000000
13	470	12911614
14	390	10720780
15	370	1295716
16	320	10000000
17	290	10000000
18	240	10000000

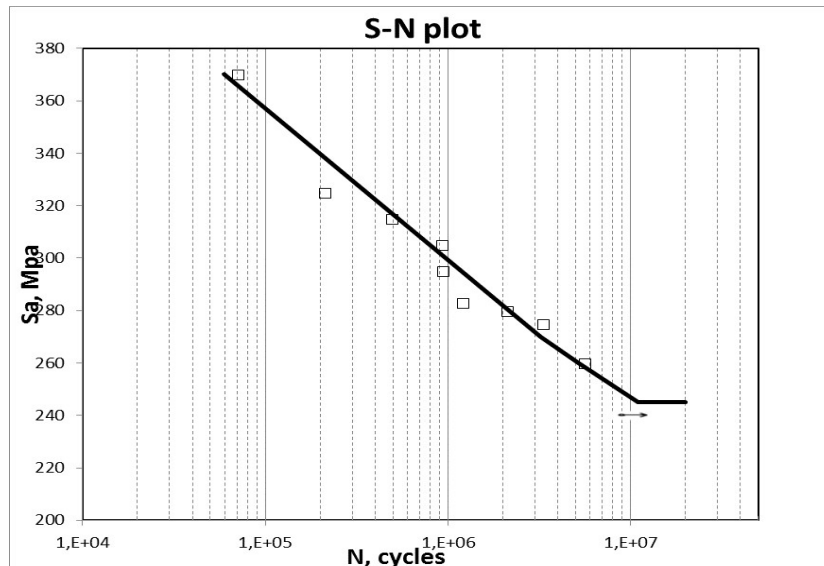
Табл.2. Заварени образци, подложени на умора.

Заварени образци		
№	Натоварване(Мра)	Брой цикли(N)
1	370	70000
2	325	209358
3	315	493000
4	305	924012
5	295	937817
6	283	1197318
7	280	2101326
8	275	3296488
9	260	5567643
10	240	10753446

Показани са кривите на Вюлер на заварените и незаварени образци (фиг.6 и 7). Неразрушените образци по време на уморните изпитания са представени с допълнителни стрелки. При незаварените образци може да се отчете граница на умора при 10^6 цикъла около 460МРа. Заварените образци продължават да се разрушават и след 10^6 цикъла и границата на умора определена при 10^7 цикъла е 245МРа.



Фиг.6. Крива на Вюлер за незаварени образци.



Фиг.7. Крива на Вюлер за заварени образци

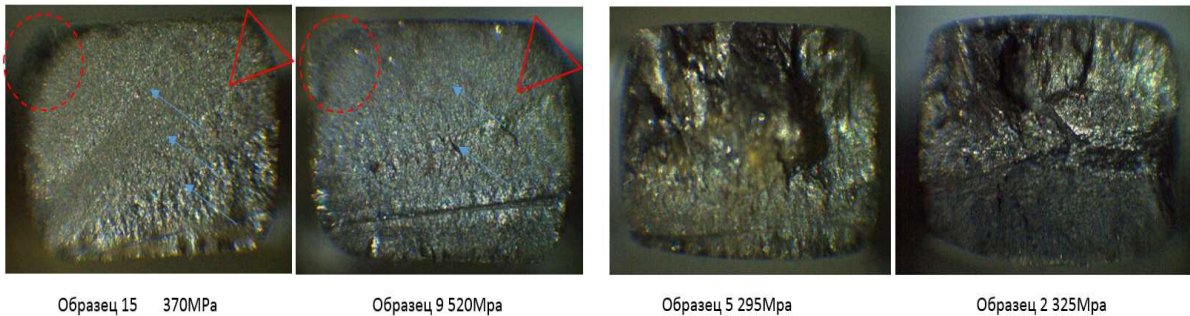
3.4 Макроструктурни изследвания

Целта на макроструктурните изследвания е да се фиксира съотношението между лома и долома, както и да се определи фокусът на зараждащата се пукнатина. На фиг. 8 са показани 2 незаварени образца в различни диапазони на натоварване. При разгледаните проби ясно е разграничим моделът на образуване на пукнатината, като винаги се забелязва втори фокус. Двата фокуса са отбелязани с червени фигури (кръг и триъгълник). На фиг. 9 са показани 2 заварени образца.

3.5 Дискусия

Преобладаващо пукнатините се зараждат в зоните с ясно изразени линии на приплъзване в аустенитните зърна. При феритните фазови граници на повърхността много рядко се наблюдава зараждане на повърхностни пукнатини. Тези наблюдения са само частично в съгласие с работата на Chaï [4] с няколко дуплексни стомани. Пукнатините се зараждат изключително под повърхността. Якостта на двете фази

аустенит и ферит в дуплексни корозионноустойчиви стомани силно се изменя в зависимост от разтворения азот във стенно центрираната кубична решетка на аустенитната фаза. Следователно, структурата на дуплексните стомани може силно да променя механичната реакция на двете фази. Още по-неясен е проблемът, свързан с развитието на пукнатината в зоната на заваряване на този тип стомани.



Фиг.8. Ломове на незаварени образци

Фиг.9. Ломове на заварени образци

Заклучение

- Установена е методика за подготовка и проби от дуплексна за провеждане на циклично натоварване, чрез лазерно изрязване, избягвайки повърхностните зони на термично влияние;
- Установена е методика за подготовка и проби от заварена дуплексна стомана за провеждане на циклично натоварване;
- Установени са и анализирани резултатите от проведените циклични натоварвания и построени кривите на Вюлер за изследвания материал;
- От проведените фрактографски изследвания са установени два фокуса на пукнатината, които се развиват паралелно;
- Проведен е симулационен анализ и е сравнен с получените експериментални резултати.

Литература

1. Gunn R.N., ed. Duplex stainless steels: microstructure, properties and applications. Woodhead Publishing, 1997.
2. Alvarez-Armas I., S. Degallaix-Moreuil, eds. Duplex stainless steels. John Wiley & Sons, 2013.
3. Димитров, Д.М., В.А. Чириков, Ж.Димитров. Изследване на уморната дълготрайност на тънки пластини от стомана 40х. Научни известия на НТСМ, Година XXIII, Брой 2: 165. 2015. DOI: 10.13140/RG.2.2.33366.86083
4. Chai G. Fatigue behaviour of duplex stainless steels in the very high cycle regime. International journal of fatigue 28.11 (2006): 1611-1617.