

ВЪЗНИКВАНЕ НА ДЕФОРМАЦИОННИ ЕФЕКТИ В ПОВЪРХНОСТНАТА УЯКЧЕНА ЗОНА НА ТЪНКИ ПЛАСТИНИ ОТ ВИСОКОЛЕГИРАНИ СТОМАНИ ПОДЛОЖЕНИ НА ОПЪН

Руси Русев, ЖивкоДимитров, Пламен Петров

Abstract: Interrupted plastic deformation, known as the effect of Savar - Mason (1837.) or Portevin–Le Chatelier(1932.), according McReynolds after testing causes in metallic specimen elastic waves that are probably to have a major influence on the formation effects on the deformation surface after applying the various loadings. From other hands in terms of solid state physics, after obtaining the tensile stress these deformation effects are expressed in mesobands of local deformation. Consideration this question from two different positions gives reason to assume that the occurrence of local deformation and fracture of surface-hardened specimens not a random sample nature and is related to the frequency modulation of plastic deformation, determined by the mechanical properties and geometric parameters of the layer and the base material.

Key words: mechanical properties, deformation effects, mesoscale band.

Въведение:

Тенденцията към интегриране физиката на твърдото тяло с механиката на твърдото деформируемо тяло и материалознанието, води до необходимостта от нов подход за класификация на структурите [1]:

- макроструктура (вид на лома, дендритен и полиедричен строеж);

- мезоструктура (структура вътре в зърното, дислокациите и тяхното разпределение, полигони, техните размери и ориентация);

- микроструктура (рентгеноструктура, точкови дефекти, размери и тип на кристалната решетка).

Важен въпрос от гледна точка на механиката е определянето на вероятностния механизъм за получаването и разпространението на локалните ивици на пластична деформация. Реално протичащите процеси на деформацията получена при възникване на опънови напрежения, представляват колективно движение на дефектите в кристалната решетка и самоорганизация на тези дефекти при взаимодействието им със структурата на материала. На практика това се изразява в появата на линии на Людерс-Чернов по повърхността на изпитвания образец, което

се дължи на ефекта на прекъснатата пластична деформация.

Това представлява редуване в диаграмата на опън на участъци с еластична и пластична деформация и се нарича ефект на *Савар - Масон* (1837г.) или *Портевен - Льо Шателие*(1932г.). Едно от обясненията за този ефект се основава на механизма, който действа на дислокациите при преодоляване на облака от примесни атоми в основната матрица, т.е. необходимостта от по-голямо напрежение за придвижването им. Логично е да се предположи, че този ефект ще бъде по-ясно изразен в системите с малка енергия на дефектите в подреждането.

Изследвайки ефекта на прекъснатата пластична деформация, проявяващ се като скокообразна пластична деформация, *МакРейнолдс* е стигнал до извода, че вследствие приложеното опъново напрежение в образеца възникват самостоятелни еластични вълни, които се зараждат по оста на образеца и се разпространяват към повърхността[1].

Генерирането на вълната се провокира от опъновите напрежения и представлява цилиндрична еластична вълна, и независимо от сечението на изпитвания образец, възниква

по надлъжната му ос и се разпространява до страничните повърхности, отразява се от тях, събира се отново по оста на образца, след което започва нов цикъл. [2].

При изпитване на статичен опън разрушаването на основния материал и на повърхностно азотирани високо легирани тънки пластинни е съпроводено с получаването и развитието на дефекти в субструктурата, самоорганизацията им на мезониво и разпространението по локални деформационни ивици.

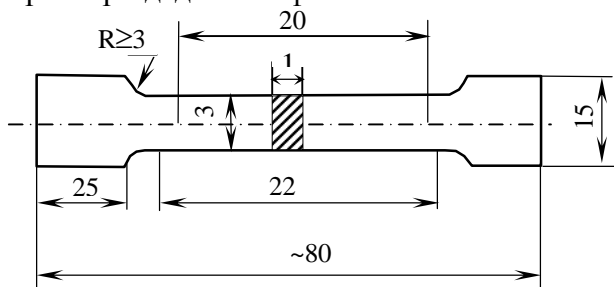
Целта на настоящото изследване:

Определяне възникването и развитието на дефекти на субструктурно ниво в основната матрица на стомана AISI 316 и в уякчената зона на стомана X2CrMoSiS 18-2-1;

Методични особености:

Изпитването на опън е проведено на образци подложени на: йонно азотиране за образец от стомана X2CrMoSiS 18-2-1 и газово карбонитриране за образец от стомана AISI 316.

След азотирането е получен наситен слой с дебелина около 30µm и средна повърхностна твърдост 1168 HV5 за стомана X2CrMoSiS 18-2-1 и около 10 µm и максимална измерена микротвърдост 800 HV0,01 за стомана AISI 316. От така наситените материали са подготвени образци с размери дадени на фиг.2.



Фиг.2.Общ вид и размери на образците за изпитване на опън

Страничните повърхности на образца са шлифовани с шкурки от 180-600 и са полирани с паста ГОИ. След това образците са подложени на статичен опън и имат якост на опън и относително удължение посочени в табл. 1

Табл.1. Механични свойства след изпитване на статичен опън на образци от високолегирани стомани

Вид на материала	Образци Размери, mm	Измерени стойности	
		Якост на опън, Rm, N/mm ²	Относително удължение, A, %
X2CrMoSiS 18-2-1*	1,00x3,0	392	9,6
AISI 316**	1,3x3,2	627	38,5
AISI 316o***	1,3x3,1	612	47,4

*-йонно азотирана

**-газово карбонитрирана

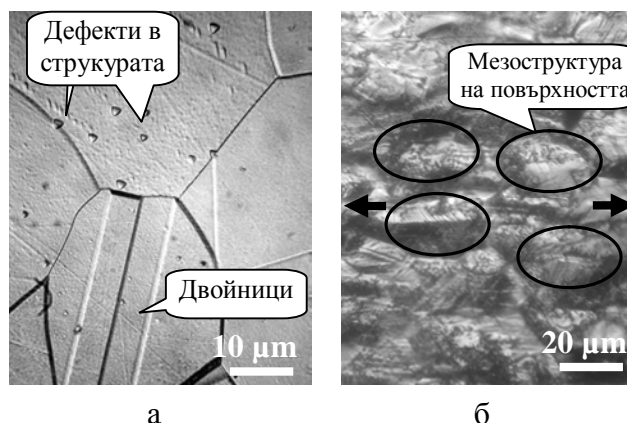
***-основен материал

Възникване и развитие на дефекти на мезониво в основния материал

Пластичната деформация и разрушаването на стоманените образци са свързани със загуба на устойчивост на плъзгане в локалните зони с концентрация на напрежения с различна големина и на всички нива.

-на микрониво се получава генериране на дислокационни дефекти в кристалографските равнини на плъзгане на кристала (фиг.1.а).

-на мезониво при изпитване на статичен опън на аустенитна стомана AISI 316, се получават мезоивичи на локална



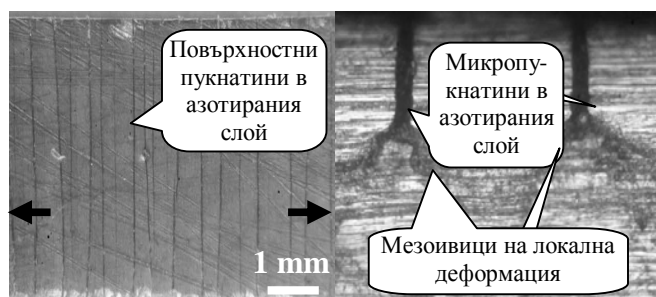
Фиг.1. Генериране на дефекти в напречно направление от повърхността -а) и зараждане на мезосубструктура на повърхността на нетермообработена стомана AISI 316 след изпитване на опън -б).

деформация, които имат "шахматна" структура (фиг.1.б). Те могат да се развиват като ивици на плъзгане, на мезоивичи на приплъзване в повърхностния слой и генериране на мезоконцентратори на напрежение по границите на зърната.

-на макрониво се развиват ивици на пластична деформация, които имат периодичен характер и се получават по работната част на образеца при удължаването му по време на изпитването.

Възникване и развитие на дефекти на мезониво в уякчения слой

При изпитване на опън на двустранно азотирани образци от тънък листов материал, в зоната на нормалните опънови напрежения едновременно с образуването на "шахматната" структура, в повърхностния слой се появяват области с понижена плътност, в които се получават зародиши на мезоивичи от нееластична деформация (фиг.3.).



а

б

Фиг.3. а - образуване на повърхностни пукнатини и

б - разпространение на мезоивичи на нееластична деформация на границата "повърхностен слой - основна матрица" в йонно азотирана стомана X2CrMoSiS 18-2-1-

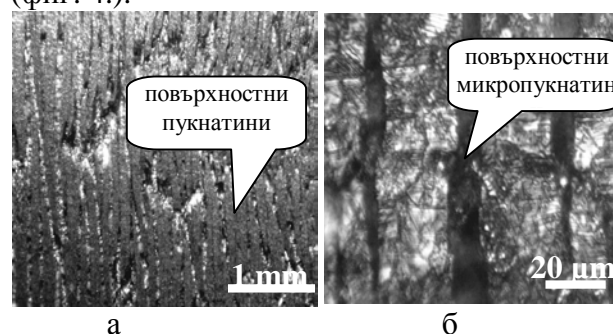
С нарастването на мезоивичите в обема на уякчената стомана, в зоните които не са засегнати от деформацията, плътността на неравновесните дефекти намалява. Даденият процес е аналогичен на прекъснатото разпадане в неравновесните твърди разтвори, но в образеца подложен на деформация този процес не зависи толкова от дифузията, колкото от масопеноса възникнал от получените вътрешните напрежения. Плъзгането протича благодарение на тангенциалните напрежения, но

деформацията като локално структурно превръщане може да протече по пътя на плъзгане само в тези участъци, където има опънови нормални напрежения.

Понеже в зоните с концентратори на напрежение има най-малко съпротивление на плъзгане при приплъзване на обемите, вероятността за локална загуба на устойчивост там е най-голяма. Това води до интензивно развитие на ивици на локална деформация в повърхностния слой, което намалява съпротивлението на плъзгане.

След повърхностно азотиране се създават условия за предотвратяване на развитието на деформационните дефекти, вследствие на което се повишат механичните свойства на материала. При прилагане на външно въздействие, в повърхностния слой на образците и на границата на повърхностно уякчения слой и основната матрица се получават нови механизми и закономерности на деформационните дефекти [3].

Фрагментиране на повърхността
Изследването на процесите протичащи в азотирания слой при изпитване на опън показват, че релаксацията на максималните стойности на колебателните контактни напрежения става посредством образуването на квазипериодични микропукнатини разположени напречно по оста на образеца (фиг. 4.).



а

б

Фиг.4. Образуване на квазипериодични невзаимодействащи системи от дефекти по повърхността на азотирани образци:

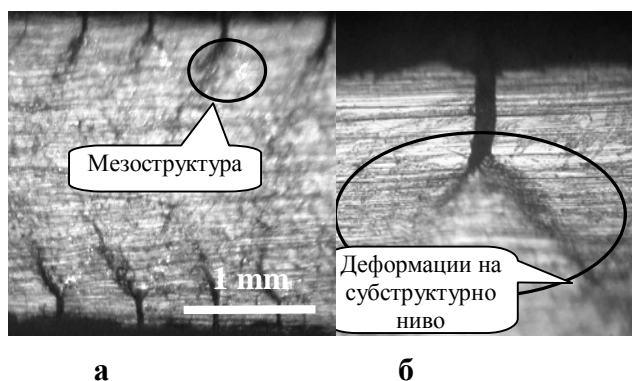
а - аустенитна стомана AISI 316 при температура 510°C-25 часа и

б - аустенитна стомана AISI 316 при температура 450°C-25

Честотата на разпределение на микропукнатините съответства на честотата на максималните стойности на колебателните контактни напрежения. С увеличаване

дебелината на уякчения слой тази честота намалява (фиг.4.а.), а с намаляване – се увеличава(фиг.4. б.).

Фрагментиране в обема- Когато опънънвите напрежения достигнат до долна граница на провлачане на основната матрица, се получават първите микропукнатини на границата с уякчения слой, които представляват две свързани системи на локална деформация. Тези микропукнатини се разпространяват от повърхността по дълбочина на образца по страничната повърхност под ъгъл от 45°(фиг.5.а.). Взаимно пресичайки се в основната матрица тези ивици образуват мезоструктура. Вътре в ивиците процесите на пластична деформация протичат на субструктурно ниво. (фиг.5. б)



Фиг.5. Образуване на мезоструктура - а) и субструктура – б) в повърхностно азотиран образец от стомана X2CrMoSiS 18-2-1.

Степента на разпространение на мезоструктурата в обема на образца, се определя от мезоконцентраторите на напрежение, което от своя страна зависи от дебелината на уякчения слой. Трябва да се отбележи, че мезоконцентраторите на напрежение се усилват от образуваните в тези места пукнатини.

Влияние на дебелината на слоя- в зависимост от дълбочината на разпространение на мезоивиците от повърхността по дълбочина на повърхностно азотирания образец може да се получат три случая на протичане на процеса на пластична деформация:

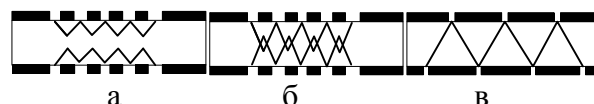
-разпространение на линиите на локална деформация на по-малко от половината дебелина на образца (фиг.6.а.). В този случай мезоструктурата се образува в

повърхностния слой, а сърцевината остава незасегната;

-повече от половината дебелина (фиг.6.б.). Зоните с образуваните мезоструктури, се разпространяват по целия обем на образца;

При тези два случая конфигурациите от повърхностните микропукнатини разположени на срещуположните страни на уякчения образец се образуват независимо една от друга;

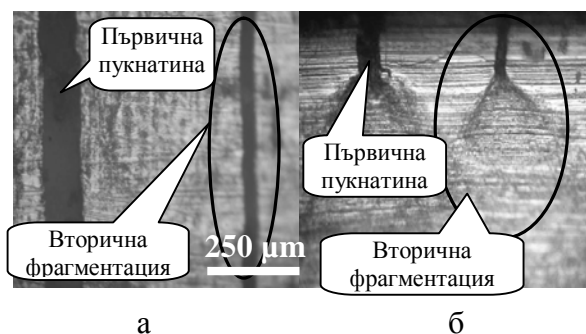
-по цялата дебелина на образца (фиг.6.в.). В третия случай от един от мезоконцентраторите на границата слой – основна матрица, усилено се образуват микропукнатини, а в неужкения слой се разпространяват ивици на локална деформация.



Фиг.6. Схема на получаване линии на локална деформация в повърхностно азотиран образец: а- в уякчения слой и дифузионната зона; б- на по-малко от половината дебелина на образца; в -през цялата дебелина [3].

Достигайки противоположния уякчен слой, ивиците на локална деформация предизвикват възникването на нов концентратор на напрежение чрез получаването на нова микропукнатина, от която по максималните тангенциални напрежения се разпространяват ивици на локална деформация по посока към противоположната страна на образца, образувайки следващия концентратор на напрежение във вид на микропукнатина и т.н.

Вторична фрагментация- в уякчената повърхност и в мезообемите намиращи се близко до повърхността, релаксацията на напрежения възникнали в резултат на взаимодействието между мезообемите става по пътя на образуването на допълнителни микропукнатини на уякчената повърхност (фиг.7.а.), а в основната матрица – получаване на допълнителни ивици на локална деформация, които разделят по-рано образуваните обеми на по-малки фрагменти, (фиг.7. б.).



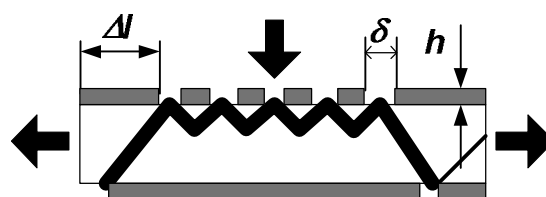
Фиг.7. Вторична фрагментация в азотирана стомана $X2CrMoSiS\ 18-2-1$: а-на повърхността на азотирания слой; б-в равнина перпендикулярна на повърхността.

Механични свойства и разрушаване -

При натоварване на опън на повърхностно уячени образци, от самото начало се образуват неплътности на мезониво – пукнатини в повърхностния слой. В резултат на движението на мезообемите като цяло тези пукнатини се разпространяват по мезоивичите на локална деформация. При понататъшно увеличаване на деформацията, там където е възникнала максимална локална деформация се получават макропукнатини. Това става в местата, където се наслагват максимумите на хармониците на модулираната пластична деформация[3]. Това означава, че при натоварване на опън, мястото на възникване на локална деформация на макрониво и следващото разрушаване на повърхностно уячените образци няма случаен характер, а е свързано с периодичността на модулацията на пластичната деформация, определена от дебелината на слоя и механичните свойства на основната матрица.

Във връзка с това могат да се посочат два механизма на разрушаване на уячени образци от тънка листовка стомана: с различна дебелина на азотирания слой при извършване на едностранен опън

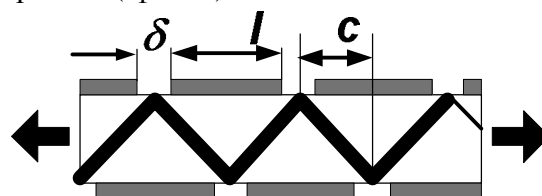
-механизъм на разрушаване без образуване на линиите на локално приплъзване - разрушаването на образци с тънък уячен слой h не е свързано с развитието на линии с локално приплъзване (фиг.8), което може да се обясни с еднородното пластично деформиране на основния материал и съпътстващото го еластично деформиране на уячения слой[4].



Фиг.8. Схема на разрушаване без получаване на линии на локално приплъзване

От схемата се вижда, че първоначално от пукнатината δ , се получават линии на локална деформация развиващи се само в приповърхностния слой. С увеличаване на деформацията се развиват линии на приплъзване които пресичат цялото сечение на образца като се групират в най-близките околности на тези групи (опират се в тях), при което разстоянието между пукнатините във всяка група е значително по-малко, отколкото разстоянието между пукнатините определено от линиите на приплъзване от една и съща страна на пластината. С увеличаването на дебелината h разстоянието между пукнатините в групата, нараства докато съседните групи се доближават дотолкова, че разстоянието между крайните пукнатини в групата става близко до това, което е вътре в групата.

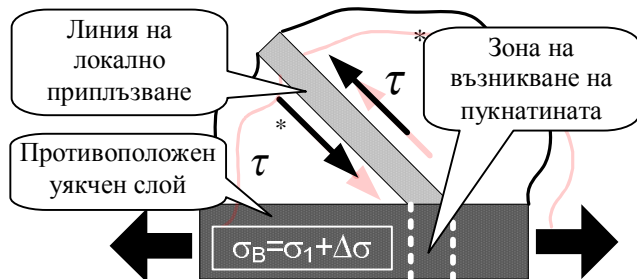
-механизъм на разрушаване с отчитане на образуването на линиите на локално приплъзване - понеже материалът на основната матрица е пластично деформиран, той поема допълнителната деформация на разрушаването (локализирана в линията на плъзгане), а допълнителното натоварване като цяло преминава върху уячения слой на противоположната страна на образца (фиг.9.).



Фиг.9. Схема на разрушаване с отчитане получаването на линии на локално приплъзване

Причината за възникване на пукнатината в противоположния уячен слой, се вижда на

схемата на фиг.10. По линията на локално приплъзване се образува допълнителна сила на приплъзване, която се добавя към напрежението по линията на локална деформация, при което се достига граничното напрежение на разрушаване на слоя и се образува пукнатина.



Фиг.10. Схема на възникване на допълнителното напрежение за предизвикване развитието на пукнатина в срещуположния уякчен слой

Затова ако дебелината на уякчения слой е достатъчно голяма, спрямо общата дебелина на образеца, енергията освободена при получаване на първата пукнатина е достатъчна за преминаване на линията на локална деформация по цялата дебелина на напречното сечение на образеца и образуването на пукнатина на срещуположния уякчен слой.

Заклучение:

При натоварване на опън на повърхностно уякчени образци, от самото начало се образуват неплътности на мезониво – пукнатини в повърхностния слой. В резултат на движението на мезообемите като цяло тези пукнатини се разпространяват по мезоивниците на локална деформация. При понататъшно увеличаване на деформацията, там където е възникнала максимална локална деформация се получават макропукнатини. Това става в местата, където се наслагват максимумите на хармониците на модулираната пластична деформация. Това означава, че при натоварване на опън, мястото на възникване на локална деформация на макрониво и следващото разрушаване на повърхностно уякчените образци няма случаен характер, а е свързано с периодичността на модулацията на

пластичната деформация, определена от дебелината на слоя и механичните свойства на основната матрица.

В азотирания слой при механично въздействие, между уякчения слой и на границата между слоя и основната матрица се получават контактни напрежения, които имат променлив характер. Периодичността на максималните стойности на тези напрежения наред с реално съществуващите процеси съпровождащи пластичната деформация се влияят и от механичните свойства и геометричните параметри на слоя и основната матрица.

Много важно значение има факта, че при пресичане на съседните мезоивници, разпространяващи се по максималните тангенциални напрежения при определено критично ниво на нормалните опънови напрежения и дадено съотношение дебелина на уякчения слой/основна матрица, развитието им по дълбочина на основната матрица се преустановява.

Това дава възможност да се оптимизират технологичните свойства на уякчената зона така, че да се получат оптимални експлоатационни свойства .

Литература:

1. McReynolds A. W.. “ Trans. of the Amer. Inst. of Mining and Metallurgical Engineers, 1949, v. 185,pp. 32–45;
2. Е. М. Кудрявцев, С. Д. Зотов, ”К исследованию медленных пластических волн Мак-Рейнольдса, сопутствующих эффекту Савара–Массона (прерывистое деформирование металлов): О возможной роли медленных уединённых упругих волн с дискретными скоростями”, «Конференции актуальные проблемы молекулярной акустики и теплофизики», Курск, 2009, с.44-48, http://kursksu.ru/documents/science_conferences/akustika.pdf;
3. В.Е. Панин, А.И. Слосман, Н.А. Антипина, ”Мезомеханика повърхностно упроченных материалов”, Известия Томского политехнического университета, 2003, т.306 №1 с.30-36;

4. Р.В. Гольдштейн., В.Е. Панин, Х.М. Осипенко, Л.С. Дервягина, “Модель формирования структуры разрушения в слое с упрочненными приповерхностными зонами”, Физическая мезомеханика, т.8 №6 (2005) с.23-32.

За контакти:

9010 Варна, ул. “Студентска”1
Технически университет
проф. д-н. Руси Русев
тел. 052/ 383-586
e-mail: rusi.rusev@tu-varna.acad.bg

9010 Варна, ул. “Студентска”1
Технически университет, лаборатория
Орган за Контрол „Е-К”
инж. Живко Димитров
тел. 052/ 383-631
e-mail: zh_dimitrov@yahoo.com

9010 Варна, ул. “Студентска”1
Технически университет-Варна,
Катедра МТМ, 9010 Варна,
гл.ас. д-р Пламен Петров
тел.:052/383-631,
e-mail: petpl@.abv.bg