

Промени в механичните свойства на аустенитни листови материали при едномерен опън

Емил Янков, Мария Николова, Ваня Захаријева, Валентин Гагов, Данаил Господинов

Abstract: *The objective of this investigation was to define the influence of cold plastic deformation on the mechanical and magnetic properties of X5CrNi18-10 austenitic steel. A sheet can easily be formed to complex shapes, but the regions suffering severe deformation will transform to another phases and generate a high strength. The major drawback of this approach and these materials in general, is the unpredictable mechanical properties. To predict the properties after deformation and during service it is vital to foresee the amount of martensite formed during certain conditions.*

Key words: *chromium–nickel austenitic steel, plastic deformation at low temperature, metallic sheets.*

ВЪВЕДЕНИЕ

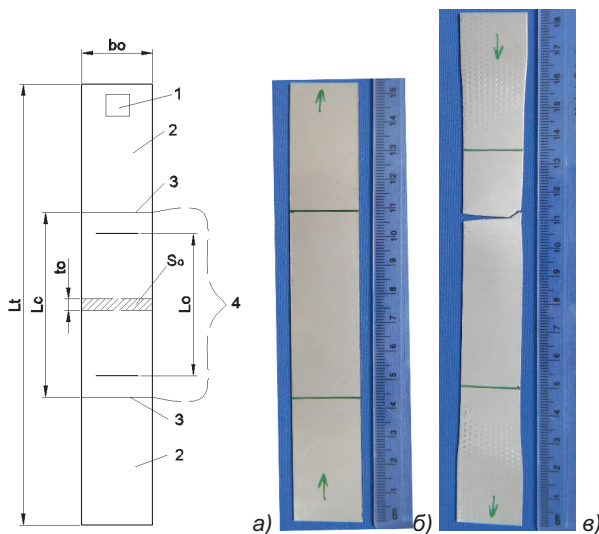
Повратен моменти на иновации в самолетостроенето (лопатки на самолетен двигател) и автомобилостроенето е въвеждането на тънки ламарини с подобро качество на повърхността, както и използването на стомани с повишена якост за структурни компоненти и за външната обшивка на автомобилите [1], което поставя допълнително високи изисквания към деформируемостта на тънките ламарини и към равнотелното качество на материала по цялата дължина на лентата. Пластичността на аустенитните стомани е безспорна, но при силно натоварване на структурата, тя променя механичните и защитните им свойства [6]. Деформационно уязвяване на материала, може да облекчи или затрудни последващата обработка на стоманата.

Изпитването на едномерен опън е един от най-разпространеното статично изпитване [2]. То има някои предимства пред останалите механични изпитания: сравнително лесен анализ и обработка на резултатите, като при това могат да бъдат определени едновременно няколко механични показатели на материала, явяващи се критерии за качеството му както при конструктивно, така и при технологично проектиране [3, 4]. Използваната изпитвателна машина не е със сложна конструкция и се обслужва лесно, а измервателната апаратура позволява достигането на достатъчна висока точност. Съчетавайки изпитвателната машина с компютърната система и подходящ софтуер се дава възможност за контролиране процеса на изпитване, а също така контролира нормално протичане и осъществяване на регистрирането, обработването и предоставянето на опитните резултати в достъпен за преработване и практически вид.

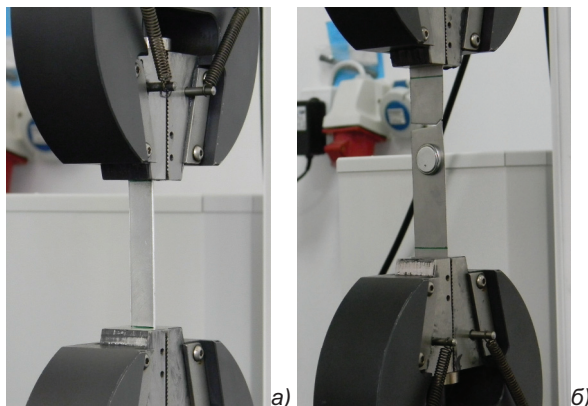
Целта на настоящата работа е да се изследват механичните свойства на листов материал X5CrNi18-10 след пластична деформация (при едномерен опън), водеща до повишаване на механичните показатели на аустенитните стомани.

МЕТОДИКА НА ИЗСЛЕДВАНЕТО

Пробните тела за едномерен опън ще са разкроят от листов материал с дебелина $t_0=0,8\text{mm}$ от стомана X5CrNi18-10 (AISI 304, DIN 1.4301, SUS304, GOST 07Ch18N10) с габаритни размери $1000\times2000\text{mm}$. Изпитването на едномерен опън се осъществява с помощта на проби тела (фиг. 1.), чиято форма включва работна част и зона за закрепване в челюстите на изпитвателната машина. Препоръчаната ширината на лентата b_0 по стандарт ISO-6892-1-2009 е $25\pm1\text{mm}$ и начална изчислителна дължина L_0 за изпитване 50mm , а работната дължина на изпитание е L_C да не е по-малко от 57mm , т.е. избирам да е $L_C=65\text{mm}$. Зоната за захващане на заготовката са с ширината, равна на b_0 , а дължината $L_{0T}=45\text{mm}$. При така подбраните размери на заготовката общата и дължина се получава $L_{0B}=155\text{mm}$.



Фиг. 1. Пробни тела за едномерен опън от X5CrNi18-10: а) схема с основни параметри по стандарт ISO-6892-1, б) общ вид на образца, в) изпитан образец, 1- място за маркиране, 2 - зона за захващане, 3 - реперни линии, 4 – работна зона, $L_o=50\text{mm}$, $L_c=65\text{mm}$, $t_o=0,8\text{mm}$, $L_t=45\text{mm}$ и $b_o=25\pm1\text{mm}$



Фиг. 2. Закрепени заготовки от X5CrNi18-10: а) преди изпитването; б) след приложението едномерен опън

Лентите от листовия материал се нарязват по направлението на валцоване т.е. 0° . Изпитвателната машина „Instron-3384“ е оборудвана с персонална компютърна система със софтуерния пакет „Bluehill-3“, в който се създава метода за изпитване на едномерен опън. Изпитанието да се извършва със контролирана скорост 5mm/min до падане на натоварването с 100N или силата до 90% или разрушаване на изпитвания образец.

Определянето на твърдостта на листовата стомана е направено в състояние на доставка и след едномерен опън по метода на Викерс със стационарен твърдомер Vickers Hardness Tester 432 SVD на Wilson Wilpert. При изпитването твърдост на

листови материали е необходимо да се определи силата на натоварване F_v така че дълбочината на проникване h_v на индентора да не надвишава $1/10$ от дебелината на листа. Определянето на дълбочината на проникване се изразява аналитично по следната зависимост:

$$\cot 68^\circ = \frac{h_v}{a_v} \rightarrow h_v = a_v \cdot \cot 68^\circ \rightarrow h_v = \frac{a_v}{\tan 68^\circ} \quad (1)$$

Определянето на максималното разстояние a_v между две срещуположни страни на получилия се отпечатък определя като се изрази от зависимостта (1) т.е.:

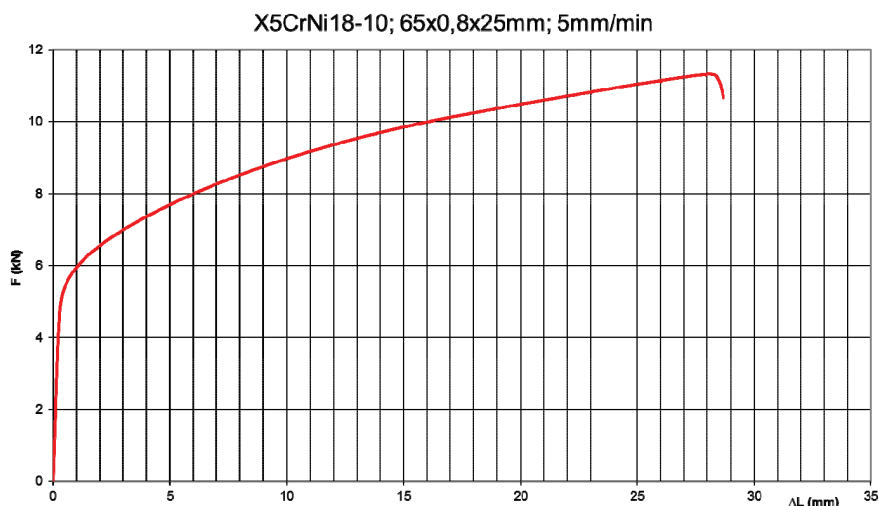
$$a_v = h_v \cdot \tan 68^\circ \quad (2)$$

При дебелина на листовия материали изчисленото максималното разстояние a_v е $0,1980 \text{ mm}$, а оптималната силата на натоварване F_v е 3 kg определена експериментално при която отпечатъка не надвишава изчисления размер a_v и измерения диагонала D не е по голям от $0,280 \text{ mm}$.

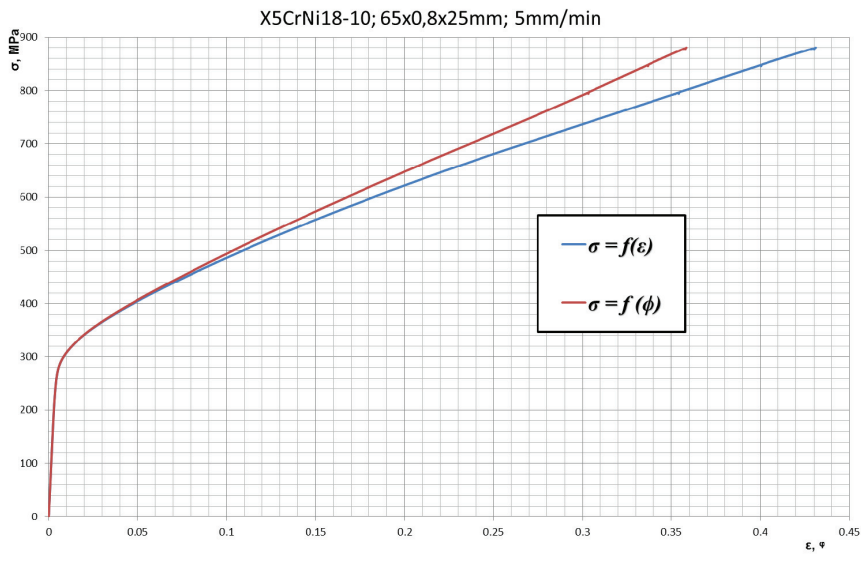
Другият метод, използван за определяне на твърдостта е с микротвърдомер ПМТ-3 на Hauser при натоварване 100 g . Измерванията са направени при стайна температура. Всяко пробно тяло се измерва 5-10 пъти през стъпка $0,5 \text{ mm}$ като резултатът се осреднява.

РЕЗУЛТАТИ И АНАЛИЗИ

Механичните изследвания на листови материали се извършва по класическите схеми на изпитване, подобно на всички конструкционни стомани, с цел да се осигури достатъчно относително удължение и якост при разрушаване. Приема се, че минималното изискване към относителното удължение на студено валцованите стомани трябва е 20% . Тенденцията при увеличаване якостта на специалните и високояки стомани обаче явно е свързана с намаляване на относителното удължение при разрушаване- (фиг. 3). Затова усилията при разработването на новите стомани са насочени към подобряване на студената обработваемост на съответното якостно равнище.



a)



Фиг. 3. Диаграми на уякчаване на стомана X5CrNi18-10: а) първична индикаторна диаграма сила-удължение; б) диаграми на уякчаване напрежение-относителна деформация и напрежение-истенска деформация

От получените диаграми след изпитването се вижда равномерното разпределение на напреженията в изпитвания материал до момента на скъсването на епруветката. Максималното удължение при максимално натоварване $F_{max}=11,32kN$ е $\Delta L=28,02\text{ mm}$, а относителното удължение е $\varepsilon=43,1\%$ при максимална изчислена якост на опън достига $R_m=880MPa$. За разлика от други подобни изследвания (но направени не с листов материал) [5], стоманата показва по-висока якост и по-малка пластичност.

Важно е да се отбележи, че получената стойност на отношението R_e/R_m (близо 0,36), е още един признак за добра деформируемост на метала.

Както се вижда от *фиг. 2.б.* разрушаването не води до обарзуване на шийка, а е по-скоро свързано с формиране на канал типичен при изпитването на пластмаси.

При достигане на относително удължение около 22,7% се наблюдава поява на магнитни свойства, което показва начало на фазовото превръщане. Колкото по-голяма е степента на деформация (при увеличаване на удължението), толкова по-силно нарастват магнитните свойства. Известно е, че количеството на мартензита се увеличава с увеличаване на относителната деформация и над 20% разко нараства. Редица изследвания показват, че основна роля има вида на приложеното напрежение, а не пластичното усилие по време на деформацията [6]. Стойността на коерцитивната сила (H_c) силно зависи от микроструктурата. Увеличеното количество точкови дефекти, дислокации, преципитационни отделения с магнитни свойства (напр. карбиди) също повлияват магнитната проницаемост. Последната зависи и от формата, разпределението и обемното съотношение на мартензита в структурата.

Мартензитното превръщане на стомана с 12% Cr протича при температури с $100^\circ C$ по-ниски, отколкото стомани с 8% Cr, благодарение на което структурата в първия случай има повече дефекти и е по-уякчена.

Patel установява, че едномерният опън е по-изгоден по отношение на мартензитното превръщане в сравнение с едномерния или хидростатичен натиск [7]. Освен това ниската скорост на прилагане на напреженията имат положителен ефект върху мартензитното превръщане, тъй като високите скорости нагряват материала и затрудняват превръщането. Следователно превръщането $\gamma \rightarrow \alpha'$ се благоприятства от: ниска температура, ниска скорост при изпитването, но още и едрозърнестата структура, легиращия фактор и начина на приложената деформация [8, 9].

Измерената твърдост зависи от дълбочината на проникване на индетора (или от разликата в големината на натоварването), известно в литературата като „ISE-indentation size effect” [10]. Обяснението на този ефект се крие в два основни механизма: първият е възникването на дислокации, водещи до локално уякчаване и зависещо от устойчивостта на кристалната решетка, а вторият е т.н. повърхностен ефект, при наличие на оксиди или наклеп, висока грапавост или пористост. За да се избегне този ефект, са посочени стойности на твърдостта, получени при различно натоварване като последните са съобразени с условието за проникване на индетора на дълбочина $1/7$ до $1/10$ от общата дебелина на зоната [11]. Двете големина на използваното натоварване, посочени в табл. 1. отговарят на това изискване.

Влияние оказва и повърхностната грапавост. Дълбочината на проникване (h_v) да бъде по-голяма от грапавостта на повърхността (R_z). В противен случай ще се отчете предимно пластичната твърдост, а разсейването на резултатите ще бъде по-голямо от 50%. Заедно с това са необходими и достатъчен брой измервания с оглед възможност за статистическо обработване на получените стойности при констатирано разсейване на стойностите.

Разликата в измерената твърдост преди деформация с помощта на два метода, използващи еднакъв индетор и различно натоварване вероятно се дължи на влиянието, оказано от пограничните области на материала, което се усеща слабо при малко натоварване. Възникването на по-голям брой дислокации при използването на по-голямо натоварване, води до локално уякчаване, което е и най-вероятната причина за по-високата измерена твърдост.

Табл. 1. Измерена средна твърдост на повърхността на пробните тела

Твърдост [kgf/mm ²]	Преди изпитването	След едномерен опън
HV_3	188,6	353,7
	203	446
$HV_{0,1}$	($HV = 162,4$)	($HV = 356,8$)

Образуването на мартензит и по-високата плътност на дислокациите увеличава твърдостта и води до регистриране на максимална якост на опън R_m при аустенитната стомана. Образуването на по-твърдия мартензит предопределя и късането на материала. Количеството на напрегнати вследствие от деформацията по-твърди зони са неравномерни разпределени и вероятно са по-слабо устойчиви към корозия.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Използвайки данните от записаната диаграма чрез софтуера „Bluehill-3“ на първичната зависимост при едномерен опън могат да бъдат получени диаграмите на уякчаване, а от там и да се определи при каква степен на деформация е настъпило първичното кристално превръщане при студено пластично деформиране.

2. Забелязват се по-малка пластичност и по-голяма якост на опън на материала от литературни и справочни данни.

3. Установено е нарастване на твърдостта след пластична деформация при едномерен опън почти два пъти, а също така с увеличаване степента на деформиране нарастват силите на магнитните свойства.

4. Използването на повече от един уред за измерването на твърдост дава по достоверна представа за истинското съпротивление на материала.

5. Необходимо е определяне на химичния състав за по-ясна представа на какво се дължат по-малката пластичност и по-високата якост на опън на материала.

6. Необходими са допълнителни металографски изследвания за установяване причината за появата на магнитните свойства на материала при степен на деформация над 14 -17%.

7. Получилите се резултати от едномерен опън ще са полезни за сравнение и анализ за изпитването при двумерен опън чрез хидравлично издуване на листовия материал.

ЛИТЕРАТУРА

[1] Тончев Н., „Ефективни решения при обработването на метални материали на желязна основа“, ВТУ „Тодор Каблешков“, София, 2012;

[2] Желев А., „Материалознание техника и технология“ – том II: Технологични процеси и обработваемост, София, Булвест, 2003г;

[3] Тимошук Л. Т., „Механические испытания металов“, Издательство „Металлургия“, Москва, 1971г.

[4] Христов С., „Изпитване и дефектоскопия на металите“, Софоя, Печ. ТУ-София, 1988;

[5]. Solomon N., I. Solomon, Deformation induced martensite in AISI 316 stainless steel, Revista de metalurgia, 46 (2) marzo-abril, 121-128, 2010, ISSN: 0034-8570; eISSN: 1988-4222;

[6]. Das A., P. C. Chakraborti, S. Tarafder, H. K. D. H. Bhadeshia, Analysis of deformation induced martensitic transformation in stainless steelsMaterials Science and Technology 2011 VOL 27 NO 1 pp.366-369;

[7]. Patel JR, Cohen M. Acta Metall 1953; 1: 532;

[8]. Peterson SF, Mataya MC, Matlock DK. JOM 1997; 54;

[9]. Leal RH, Guimarães JRC. Mater Sci Eng 1981; 48: 249;

[10]. Zhang Tong-Yi, Wei-Hua Xu, Ming-Hao Zhao, The role of plastic deformation of rough surfaces in the size-dependent hardness; Acta Materialia, 52 (2004), p.57–68;

[11]. He J. L, S. Veprek, Finite element modeling of indentation into superhard coatings; Surf. Coat. Technol. 163 (2003) 374;

За контакти:

Ас. Емил Янков, Катедра “Материалознание и технология на материалите”, Русенски университет “Ангел Кънчев”, тел.: 082-205 К-т 3.209, e-mail: eyankov@uni-ruse.bg

Докладът е рецензиран