

# СКОРОСТНО – ДЕФОРМАЦИОННО – ЯКОСТНИ ПОВЪРХНОСТИ НА РАЗРУШАВАНЕ

## STRENGTH – DEFORMATION-RATE SURFACES OF FRACTURE

## СКОРОСТНО – ДЕФОРМАЦИОННЫЕ ПРОЧНОСТНЫЕ ПОВЕРХНОСТИ РАЗРУШЕНИЯ

Assist. Prof. Dr. Yordanova R., Prof. Angelova D., DSc,  
Materials Science Centre, University of Chemical Technology and Metallurgy - Sofia, Bulgaria

**Abstract:** *New Strength – Deformation-Rate Surfaces of Fracture are proposed and built on the base of diagrams stress-strain at tensile loading for a low-carbon steel DX51. The new Surfaces include both, the stress and the plastic-deformation characteristics of the steel as well as the tensile-loading rates and make it possible to prognosticate metal behaviour at different conditions of service.*

**Keywords:** *Diagrams Stress-Strain, Deformation of Steels, Strength of Steels, Fracture, Low-Carbon Steel, Tensile Test*

### 1. Въведение

Изследвана е ламарина от нисковъглеродна стомана DX51 като са използвани две групи образци без и с цинковото покритие с различна дебелина. Стомана DX51 се използва за дълбоко и нормално изтегляне, както и за специфични профилирани изделия. Проведените експерименти на опън при различни скорости на натоварване целят определяне на съпротивителните и пластичните показатели на стоманите от двете групи, якост на опън и относително удължение при разрушаване, известно още като разтегливост. Въз основа на получените показатели са построени специфични повърхности, наречени скоростно-деформационно-якостни повърхности на материала, СДЯП, които описват якостно-пластичното поведение на двете групи стомани. Повърхностите СДЯП дават възможност за прогнозиране на поведението на изследваните стомани в различни условия на скоростта на натоварване и на началните характеристики на съответната група стомана – геометрия и наличие покритие, в случая, дебелина на материала и отсъствие или наличие на покритие.

### 2. Предпоставки за решаване на проблема: използвани материали и апаратура

Използвани са две групи стомана DX51 без (група А) и с цинково покритие (група Б) с основен химически състав, Табл. 1 и механични показатели, Табл.2, определени съгласно стандарта за опън, [1] в Специализираната лаборатория към цех Студено валцуване на Фирма Кремиковци.

Таблица 1. Химичен състав на стомана DX51

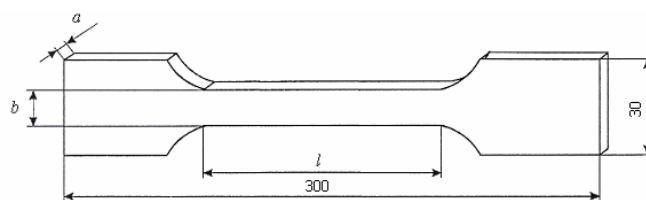
Химичен състав, тегл. %						
C	Mn	Si	S	P	N <sub>2</sub>	Cr+Ni+Cu+Mo
0.07-0.10	0.25-0.40	max 0.03	≤ 0.025	≤ 0.025	max 0.009	≤ 0.50

Таблица 2. Механични и пластични свойства на стомана DX51

Предназначение	Якост на опън Rm ( $\sigma_B$ ), МПа	Отн. удължение A ( $\delta$ ), %
За дълбоко изтегляне	260 ÷ 400	28
За нормално изтегляне	260 ÷ 420	25
За профилиране	Якост на опън (Rm) не по-малко от 213 МПа	Граница на провлачане (Re) не повече от 390 МПа

Стомана (А) има две дебелини 0,38 и 0,48 mm. Нанесеното цинково покритие е с дебелина 120 g/m<sup>2</sup>. След поцинковането основните дебелини на стомана (А) се променят и общите дебелини на стомана (Б) са 0,4 и 0,5 mm.

За определяне на якостните и пластични показатели на стомани (А) и (Б), якост на опън,  $\sigma_B$  (Rm) и относително удължение при разрушаване или разтегливост  $\delta$  (A), са проведени изпитвания на опън със стандартни образци според [1] във Фирма Кремиковци и с образци, чиито вид е представен на Фиг. 1, [2] в ХТМУ-София.



Фигура 1. Експериментален образец,  $l = 100\text{mm}$ ,  $b = 20\text{mm}$

Експериментите в ХТМУ-София са направени на универсална машина за опън, натиск, огъване и циклични натоварвания FPZ 100, Фиг. 2, в лабораторията на Направлението по Пластична деформация на металите към катедра Физична металургия и топлинни агрегати.



Фигура 2. Универсална машина за статични и циклични натоварвания FPZ 100

Чрез FPZ 100 е изследвано влиянието на фактора *скорост на преместване на гредата на машината*,  $\dot{\epsilon}$  [mm/min] за пет скорости на натоварване 40, 70, 110, 150, 500 mm/min при стайна температура за групите стомана (А) и (Б). Получените експериментални индикаторни диаграми  $P - \Delta L$  при изпитване на образците на опън (където  $P$  е силата,  $\Delta L$  - абсолютното удължение) са обработени до диаграми  $\sigma - \epsilon$  и по последните са изчислени съответните механични и пластични показатели, Табл. 3, съпадащи с якостите на опън и удълженията (отчетени чрез обозначения върху образците), получени в лабораторията на Фирма Кремиковци. Индикаторните диаграми са показани на Фиг. 3а, 4а, 5а, 6а, а диаграмите  $\sigma - \epsilon$  - на Фиг. 3б, 4б, 5б, 6б.

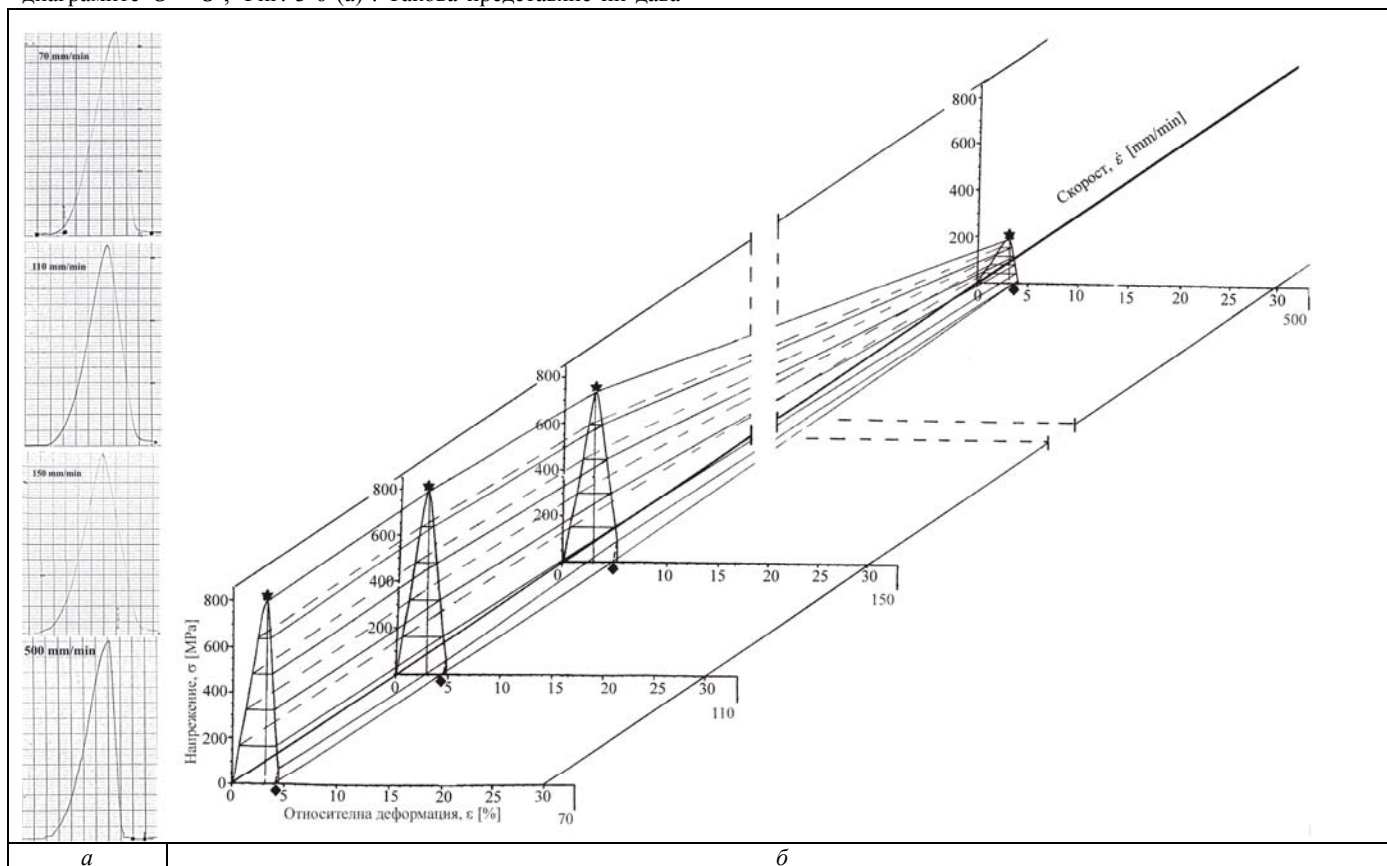
Таблица 3. Експериментални резултати

Ламарина без покритие; дебелина 0,38 mm					
$\dot{\epsilon}$ , mm/min	40	70	110	150	500
$\sigma_B$	806	802	793	728	196,6
$\sigma_{0,2}$	786	757	779	728	185
$\delta$	3,8	4	4,1	4,8	3,6
Ламарина без покритие; дебелина 0,48 mm					
$\dot{\epsilon}$ , mm/min	40	70	110	150	500
$\sigma_B$	850	855	858	811	199
$\sigma_{0,2}$	837	829	845	805	195
$\delta$	4,2	4,8	5,09	6,08	4,3
Ламарина с покритие; дебелина 0,4 mm					
$\dot{\epsilon}$ , mm/min	40	70	110	150	500
$\sigma_B$	456,3	404	404	400	423
$\sigma_{0,2}$	-	358	388	377	310
$\delta$	22,1	19,4	22,1	18,8	18
Ламарина с покритие; дебелина 0,5 mm					
$\dot{\epsilon}$ , mm/min	40	70	110	150	500
$\sigma_B$	452	416	420	416	412
$\sigma_{0,2}$	-	352	393	364	340
$\delta$	30,4	32	25,6	24,6	24

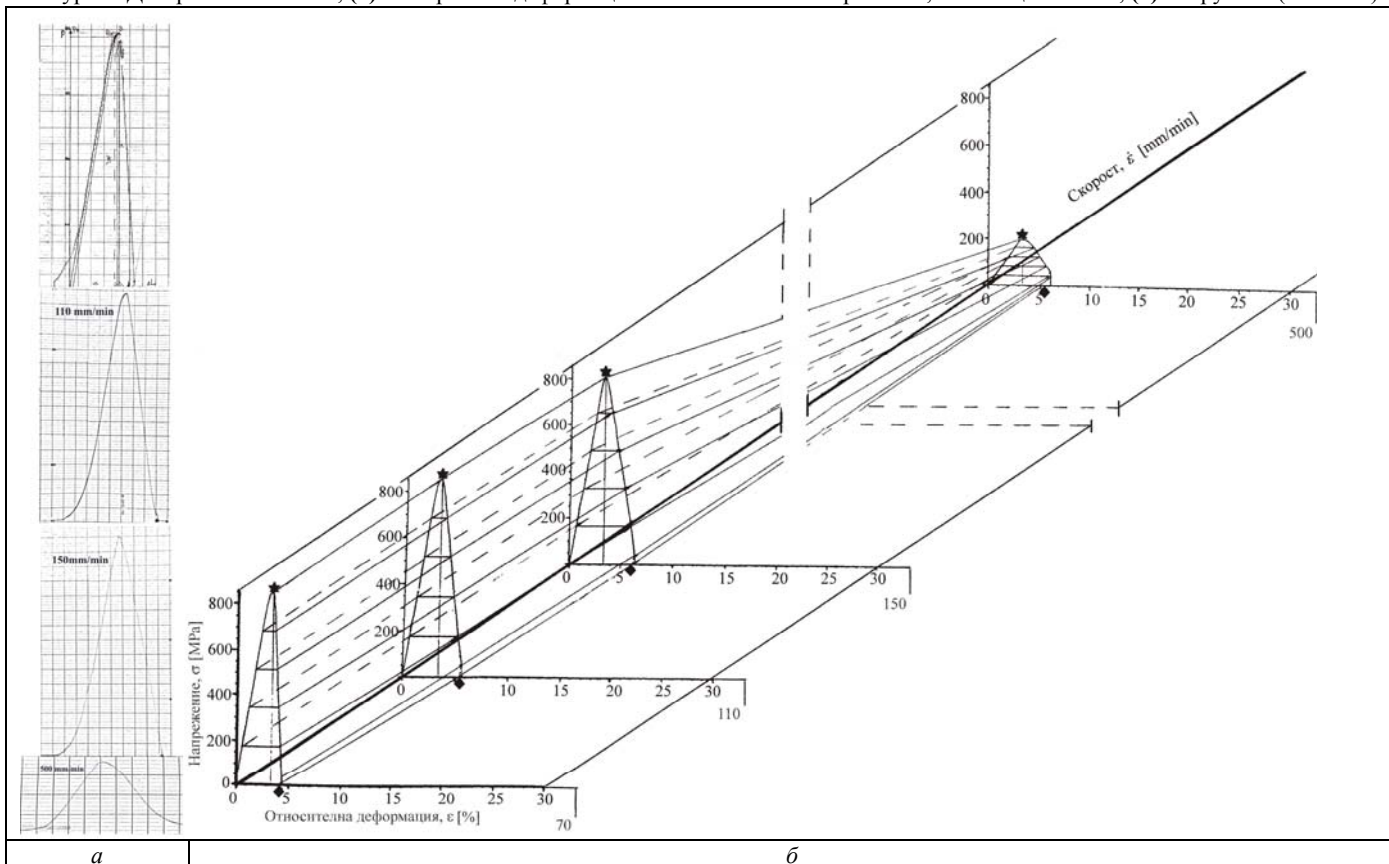
### 3. Резултати и дискусия

С цел прогнозиране получените диаграми  $\sigma - \epsilon$  при изпитване на опън на стоманите с различни дебелини от групи (А) и (Б) са представени в тримерни координатни системи  $\sigma - \epsilon - \dot{\epsilon}$ , Фиг. 3 - 6. Представянето е направено като в различни сечения по оста на скоростта  $\dot{\epsilon}$  са построени диаграмите  $\sigma - \epsilon$ , Фиг. 3-6 (а). Такова представяне ни дава

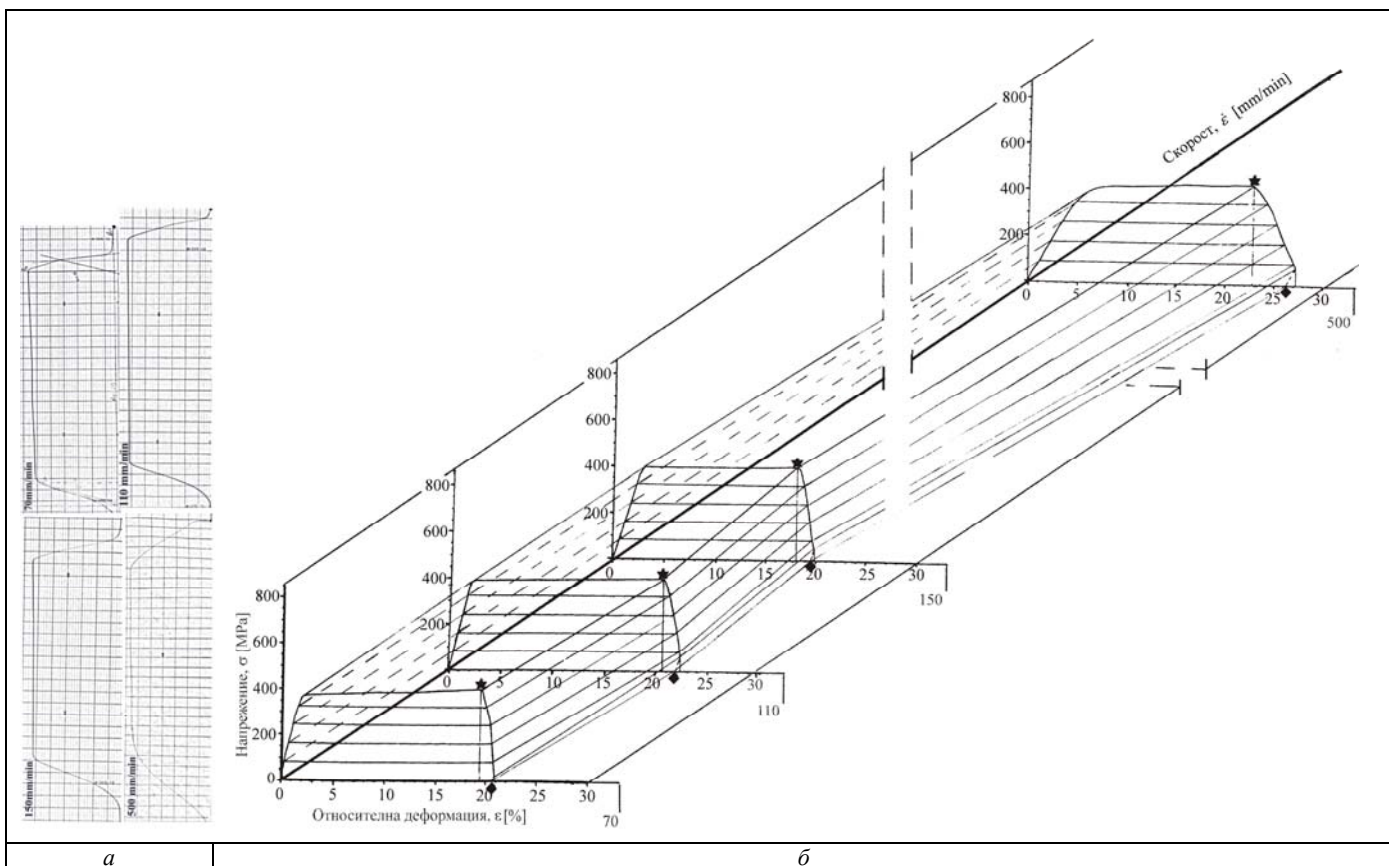
възможност да установим зависимостите на съпротивителните показатели на стоманата, в частност на якоститите на опън  $\sigma_B$ , и пластичните ѝ характеристики, в частност на разтегливостта  $\delta$ , от скоростите  $\dot{\epsilon}$ . Колкото повече скорости са изследвани при по-малки интервали между тях, толкова повече диаграми се получават и и точността на анализите и прогнозите, направени въз основа на тях нараства. Освен дефинираните зависимости  $\sigma_B - \dot{\epsilon}$  (кривите, свързващи точките-звезди от Фиг. 3-6 (б)) и  $\delta - \dot{\epsilon}$  (кривите, свързващи точките-ромбове от Фиг. 3-6 (б)) са построени и специфични повърхности, които описват якостно-деформационното и пластичното поведение на двете групи стомана във функция от скоростта  $\dot{\epsilon}$ , Фиг. 3-6 (б). Тези повърхности съдържат зависимостите *якост-на-опън - скорост*  $\sigma_B - \dot{\epsilon}$  и *разтегливост - скорост*  $\delta - \dot{\epsilon}$ , както и всички други криви, получени въз основа на диаграмните сечения  $\sigma - \epsilon$ , свързващи съответните точки от диаграмите напрежение-относителна деформация, които съответстват: (а) на началата на диаграмите  $\sigma - \epsilon$ ; (б) на всяка 1/5 от височините на тези диаграми, спуснати от специфичните им  $\sigma_B$  и (в) на разтегливостите  $\delta$ . Всички повърхности са построени в един и същ мащаб по трите оси. Така получените повърхности са наречени *скоростно-деформационно-якостни повърхности*  $\sigma - \epsilon - \dot{\epsilon}$  на материала. (Подобни опити за представяне на опънови данни с цел прогнозиране се описват в [3-5].) Сравняването на  $\sigma - \epsilon - \dot{\epsilon}$  показва понижаване на кривите  $\sigma_B - \dot{\epsilon}$  с повишаване на скоростта  $\dot{\epsilon}$  при образците от стомана от група (А) и почти еднакви, но по-ниски напрежения  $\sigma_B$  при различните скорости  $\dot{\epsilon}$  за образците с покритие от група (Б).



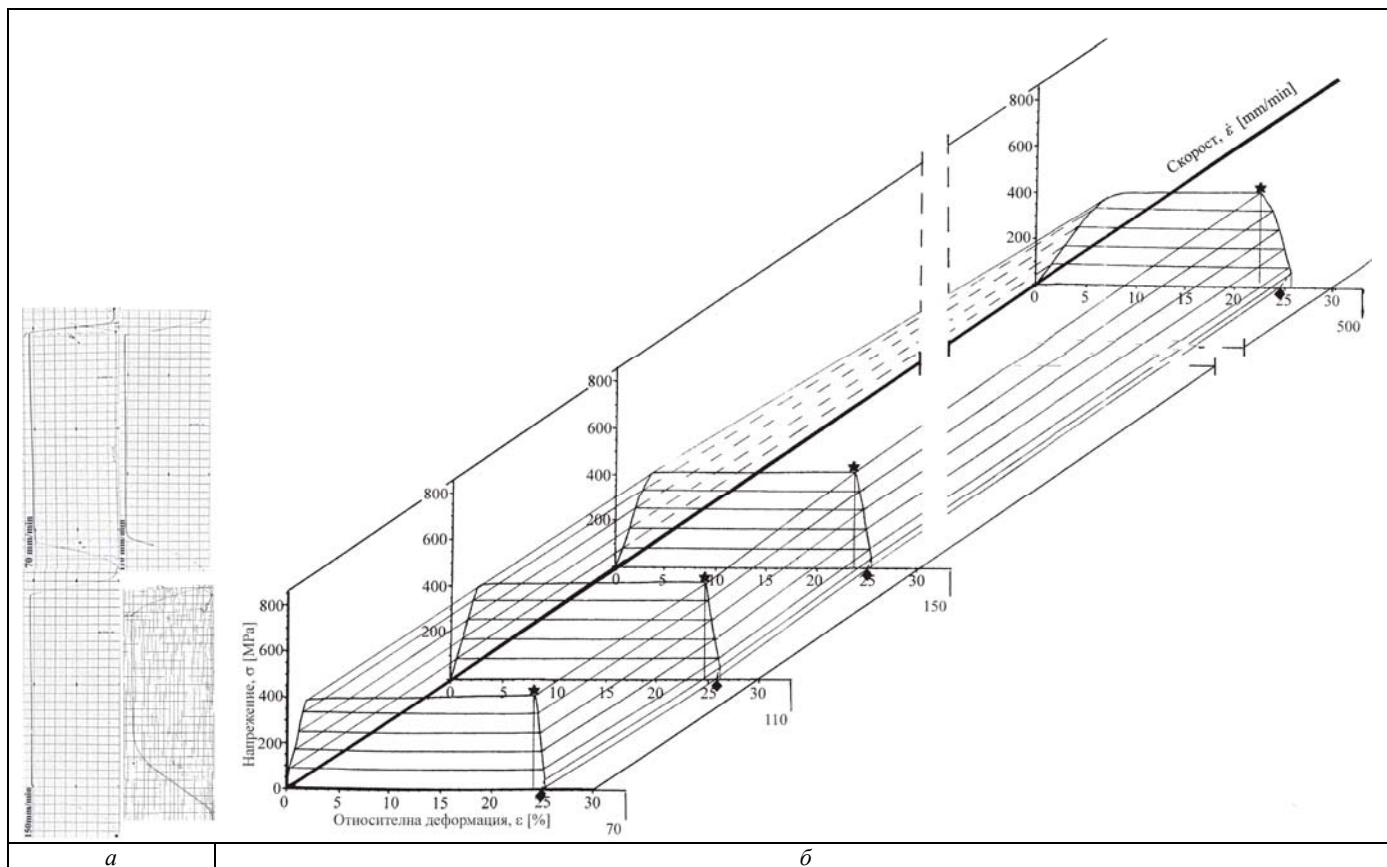
Фигура 3. Диаграмите  $P - \Delta L$ , (а) и скоростно-деформационно-якостните повърхности, ползващи  $\sigma - \varepsilon$ , (б) за група А (0.38 mm)



Фигура 4. Диаграмите  $P - \Delta L$ , (а) и скоростно-деформационно-якостните повърхности, ползващи  $\sigma - \varepsilon$ , (б) за група А (0.48 mm)



Фигура 5. Диаграмите  $P - \Delta L$ , (а) и скоростно-деформационно-якостните повърхности, ползващи  $\sigma - \varepsilon$ , (б) за група Б (0.40 mm)



Фигура 6. Диаграмите  $P - \Delta L$ , (а) и скоростно-деформационно-якостните повърхности, ползващи  $\sigma - \varepsilon$ , (б) за група Б (0.50 мм)

Същевременно, обратно, относителните удължения от кривите  $\delta - \dot{\varepsilon}$  са почти еднакви и с по-малки стойности за група (А). Удълженията обаче намаляват с повишаване на скоростта  $\dot{\varepsilon}$ , при това, при значително по-високи стойности за група (Б). Скоростно-деформационно-якостните повърхности за стоманата от група (А) търпят значителен спад (понижаване) от начално към крайно сечение, респективно от по-ниска към по-висока стойност на скоростта  $\dot{\varepsilon}$  при намаляване на стойностите на  $\delta$ . Аналогичните повърхности за стоманата с покритие от група (Б) почти запазват якостите на опън  $\sigma_B$  и площите под диаграмите  $\sigma - \varepsilon$  при различните  $\dot{\varepsilon}$  като по-дебелите образци показват по-големи стойности на  $\delta$ .

Такова различно поведение за стоманите от групи (А) и (Б) се обяснява с процеса на поцинковане, който във Фирма Кремиковци се извършва при повишени температури (450°C) и води до по-пластично поведение на метала от група (Б), изразяващо се в по-големи стойности на  $\delta$ , получаване на добре оформени плата върху диаграмите  $\sigma - \varepsilon$  и понижаване на съпротивителните показатели на стоманата с покритие.

Така построените скоростно-деформационно-якостни повърхности  $\sigma - \varepsilon - \dot{\varepsilon}$  позволяват прогнозиране на поведението на стоманите в различни условия: (а) на скоростта на натоварване (за всяка скорост  $\dot{\varepsilon}$ , разположена между които и да е две вече експериментирани скорости); (б) на началните характеристики на съответната група стомана – дебелина, отсъствие или наличие на покритие, получено в определени технологични условия.

Направеното изследване има и моделна стойност, като предлаганите скоростно-деформационно-якостни повърхности могат да се построят за различни метали и сплави, както и да бъдат отнесени и към дълготрайните натоварвания.

#### 4. Заключение

Предложени, построени и изследвани са нови скоростно-деформационно-якостни повърхности  $\sigma - \varepsilon - \dot{\varepsilon}$  за

нисковъглеродна стомана DX51, които включват съпротивителните показатели и пластичните характеристики на стоманата и диаграмите напрежение-деформация  $\sigma - \varepsilon$ , получени от съответните индикаторни диаграми  $P - \Delta L$  при стандартно изпитване на опън. Повърхностите имат прогнозен характер.

Изследването може да се третира като моделно и да се приложи и към други стомани и цветни метали и сплави. За по-голяма точност на прогнозите се изисква по-голяма гъстота на диаграмните сечения „напрежение-деформация  $\sigma - \varepsilon$ ”, като се дава възможност за описване на поведението на материалите в различни условия на скоростта на натоварване и на началните характеристики, например: (а) на съответната стомана DX51 – дебелина, отсъствие или наличие на покритие; или (б) на друг вид материал – геометрия и съответни специфични начални параметри.

#### 5. Литература

- [1] БДС EN 10002-1:2004 Метали. Изпитване на опън. Част 1: Метод за изпитване при стайна температура
- [2] Кючуков Й., Пластична деформация на металите, Техника, София, 1987
- [3] Dowling N., Mechanical Behavior of Materials. Engineering Methods for Deformation, Fracture, and Fatigue, 3th edition, Prentice Hall, 2006, pp. 830
- [4] Smallman R., Bishop R., Modern Physical Metallurgy and Materials Engineering. Science, process, applications, Sixth Edition, Butterworth-Heinemann, Oxford, 1999, pp. 438

#### 5. Благодарности

Авторите изказват благодарност на Научно-изследователския сектор на Химикотехнологичния и металургичен университет за спонсорирането на проведените изследвания.