Изследване на структурата на образци от армко желязо след сплескване с различни скорости на деформация

Николай Кемилев, Иван Алтъпармаков, Тодор Пенчев, Стефан Янев

Study of the structure of the specimen of armco iron after upsetting with different rate of deformation. *The results of metallographic investigation on Armco iron cylindrical specimens structure after cold upsetting deformation are presented. The deformation is realized by deformation speed* $\dot{\varepsilon} = 3.10^{-3} s^{-1}$ *and* $\dot{\varepsilon} = 8.10^{2} s^{-1}$*; degree of deformation 10 %; 60 %. Computer code "Olimpus Microimage" for statistic data processing is used. It is determined difference in deformation of the grains with different size by the experiment conditions. The observed modifications in deformed structure are displayed with action of plastic waves in the case of high speed deformation process.*

Key words*: impact, upsetting plastic deformation.*

ВЪВЕДЕНИЕ

На въпроса за изследването структурата на чистите метали и на металните сплави след пластична деформация при различни температурно-скоростни условия е посветена голяма част от литературата в областта на физическото металознание [1], [2], [3]. Темата е обширна, като се вземат пред вид големите диапазони на изменение на тези параметри в използваните технологични процеси за деформация.

Основната разлика между процеса на деформиране с малки скорости ($\dot{\varepsilon} = 10^{-3} - 1, s^{-1}$) и деформиране с високи скорости ($\dot{\varepsilon} = 10^{2} - 10^{4}, s^{-1}$) на деформация е, че при високи скорости деформацията се реализират в резултат на разпространение на еластични и пластични вълни на напрежения. Скоростта на разпространение на еластичните вълни е по-голяма от скоростта на разпространение на пластичните вълни в резултат на което, еластичната вълна достига първа до долния край на заготовката и се отразява от него, като сменя знака си. В случая на сплескване първоначалната вълна е на натиск, а отразената на опън. При движението си обратно към горната част на заготовката, еластичната вълна на опън се среща с пластичната вълна на натиск. Двете вълни си взаимодействат, след което продължават движението си. В същото време преместването и деформацията на частичките (зърната) от материала се осъществява с различна скорост от скоростта на пластичната вълна, като отделните частици (зърна) имат различни скорости на преместване. Разликата между скоростите на преместване на две съседни частици се означава като „относителна скорост на частиците" [4], [5]. Ако тази скорост стане по-голяма от т.н. „критична скорост" на материала се създават условия за получаване на пукнатини и следващо разрушаване. Критичната скорост се свързва със скоростта на удар V_y и за нисковъглеродна стомана тя е 25,6 m/s при студена пластична деформация [4], [6], [11].

Изследванията на структурата при деформация на студено с високи скорости са свързани преди всичко с определяне моделите на преместване на дислокациите в монокристални и поликристални структури, развитие в резултат на това на субструктура, влиянието на параметрите на структурата (едрина на зърната, вид на границите между тях) върху тези процеси [5], [9]. От инженерна гледна точка представлява интерес връзката между степента на деформация на заготовката и деформацията на зърната от нейната структура, тъй като тази връзка е показател за неравномерността на уякчаване и от там за неравномерността на механичните свойства на получаваните чрез студена пластична деформация изделия.

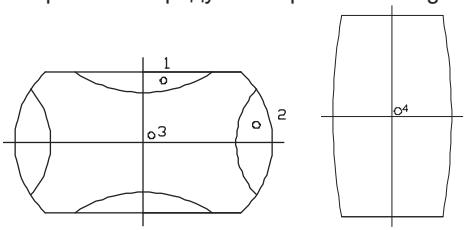
В настоящата работа са представени резултатите от сравнителен количествен анализ на изменение размерите на зърната в отделни области на деформирани чрез сплескване с различни скорости при деформация на цилиндрични образци от армко желязо.

МЕТОДИКА НА ИЗСЛЕДВАНЕ

Използват се пет цилиндрични образци с D = 10 mm и H = 15 mm (H/D = 1,5) изработени от Армко желязо с 0,02 % C. Четири образеца се използват за деформация, а един образец за определяне на изходната структура преди деформация. Деформацията се осъществява със скорости $\dot{\varepsilon} = 3.10^{-3} s^{-1}; 8.10^{2} s^{-1}$, при степен на деформация ε = 10 %; 60 %. За получаване на скорост на деформация $\dot{\varepsilon} = 8.10^{2} s^{-1}$ се използва стенд за ударна деформация, разработен в Лаборатория „Изследване на Технологични Ударни Процеси" към Кат.МТМ, ТУ-София [8]. Деформацията при скорост $\dot{\varepsilon} = 3.10^{-3} s^{-1}$ се осъществява на изпитателна машина Instron. Образците се обозначават по следния начин: N 1 – ε = 60 %, $\dot{\varepsilon} = 3.10^{-3} s^{-1}$; N 2 – ε = 60 %, $\dot{\varepsilon} = 8.10^{2} s^{-1}$; N 3 – ε = 10 % $\dot{\varepsilon} = 3.10^{-3} s^{-1}$; N 4 – ε = 60 %, $\dot{\varepsilon} = 8.10^{2} s^{-1}$.

След деформацията образците се разрязват надлъжно, полират се и се разяждат с 4 % разтвор на азотна киселина в етилов алкохол [7]. Същото се прави и с недеформирания образец. На фиг.1 е показана структурата на недефомирания метал. Вижда се, че структурата е еднофазна и е от феритни зърна с голяма разлика в големината им. Това дава възможност за изследване деформацията на зърна с различна големина при различните скорости на деформация.

Фиг.1. Структура на недеформирано армко желязо х 200 в етап на обработване с прогамния продукт Olimpus Microimage



а) б)

Фиг.2. Схема на областите в които се наблюдава структурата на деформираните образци: а) – при дрформация ε=60%; б) – при деформация ε=10%

Структурата на деформираните образци се наблюдава при увеличение х 200, пренася се в компютър и се обработва статистически с програмата "Olimpus Microimage". Разглежда се деформацията на девет групи зърна – Таблица 1. Зърната се се номерират, след което се апроксимират с елипси със същата площ. За всяко зърно се опеделят следните параметри: голям диаметър на елипсата D, малък диаметър на елипсата d, отношението D/d, ъгъл α на наклона на големия диаметър на елипсата спрямо хоризонтална ос.

Таблица 1. Разпределение на зърната в недеформираната структура според площа им

Площ на зърната, μ2	100-600	700-1100	1200-1600	1700-2000	2100-2500	2600-3000	3100-4000	4100-5000	Над 5100
Брой зърна	176	87	52	39	26	19	13	8	5
% от общия брой	41.4	20.5	12.2	9.2	6.1	4.5	3.1	1.9	1.2
% от обща площ	15.5	18.8	16.9	12.3	9.9	8.5	7.6	5.4	5
Група, N	1	2	3	4	5	6	7	8	9

За образците деформирани със степен на деформация ε = 60 % се изследва структурата в три области – Фиг.2а. Структурата на образците деформирани с ε = 10 % се изследва в областта с най-голяма деформация - фиг.2б. Целта е да се определят разликите в деформацията на отделните групи зърна при различните скорости и степени на деформация, чрез сравняване на параметрите им след деформация.

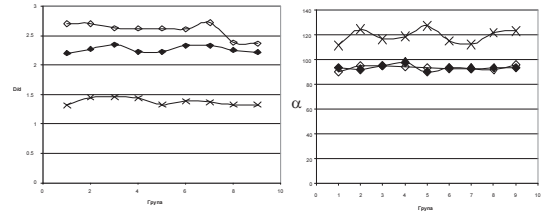
РЕЗУЛТАТИ И ОБСЪЖДАНЕ

На фиг.3 и Фиг.4 са показани в графичен вид резултатите от обработените снимки на шлифове в различните области на деформираните образци, при използваните скорости на деформация. Получените данни представляват осреднени стойности на съответните параметри за дадена група зърна.

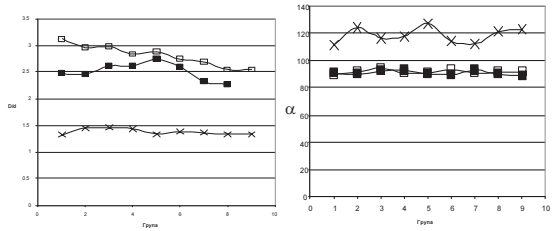
От фиг.3а, в, д се вижда, че деформацията на зърната чрез удължаване е по-голямо при голямата скорост на деформация във всички точки на сплесканите образци, като достига до 26.3 % в точка 2 – фиг.3в. При това, с нарастване на деформацията (отношението D/d), разликата между деформациите на зърната при различните скорости намалява – фиг.3а и фиг.3д. Зърната с различна площ се деформират в различна степен, при различните скорости на деформиране. Разликата между максималната и минимална деформация при голяма скорост на деформация в точка 1 е 13.9% и е между най-малките зърна (група 1) и най- едрите зърна (група 9). Тази разлика се наблюдава при същите групи в точка 2 – 22.35 % и в точка 3 – 25.33 %. Това означава, че с нарастване деформацията на зърната в по-голяма степен се деформират зърната с малка площ, отколкото зърната с голяма площ, докато при дрформацията чрез завъртане най-големи разлики се наблюдават при зърната със средни размери – Фиг.3б, г, е. Същата картина на деформация чрез удължаване и завътртане се наблюдава и при деформация с малка скорост, но е най-ясно изразена при големи степени на деформация – фиг.3д, е.

Наблюдаваното при голяма скорост на деформация по-голямо деформиране чрез удължаване на зърната с малки размери, в сравнение със зърната с голями размери, може да се обясни с влиянието на пластичните вълни върху развитието на субструктурата, както и с увеличаване скоростта на преместване на дислокациите [6], [9].

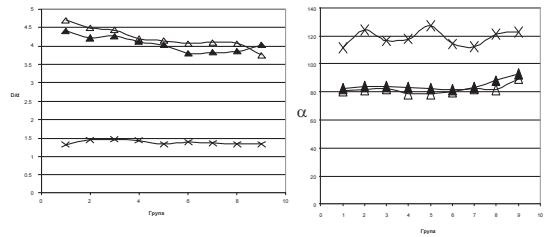
При малка степен на деформация най-голямо удължение на зърната се наблюдава при най-малките (група 1) и при най-голямите (група 9) зърна – Фиг.4а. Разликата между удължаването на зърната при различните скорости при малките зърна е 19.9 %, а при големите зърна тази разлика е - 28.6 %.



а) б)

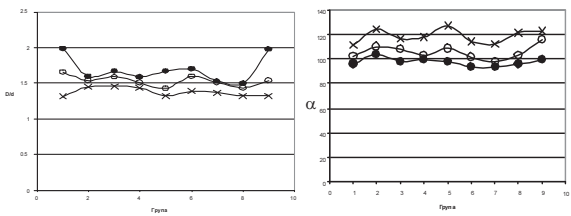


в) г)



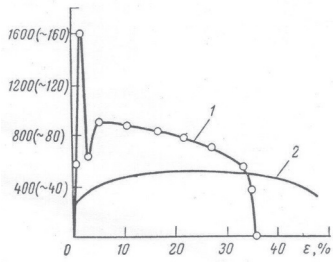
д) е)

Фиг.3. Деформация на зърната в различните области на деформирания образец при ε= 60 %: област 1 - а), б) ; област 2 - в), г); област 3 - д), е). Със светли точки при $\dot{\varepsilon} = 8.10^{2} s^{-1}$ (образец 2), с тъмни точки при $\dot{\varepsilon} = 3.10^{-3} s^{-1}$ (образец 1); с –х- изходна структура



а) б)

Фиг.4. Деформация на зърната при ε = 10% : $\dot{\varepsilon} = 3.10^{-3} s^{-1}$ (образец 3) – светли точки; $\dot{\varepsilon} = 8.10^{2} s^{-1}$ (образец 4) – тъмни точки; а – деформация чрез удължаване на зърната (изменение на отношението D/d); б – деформация чрез завъртане на зърната (изменение на ъгъла α)



Фиг.5. Диаграма σ – ε за армко желязо при различни скорости на деформиране чрез опън: 1- $\dot{\varepsilon} = 2.610^{3} s^{-1}$; 2 - $\dot{\varepsilon} = 10^{-3} s^{-1}$

Според нас, тези две групи зърна проявяват най-голяма чуствителност по отношение характера на натоварване при високи скорости на деформация в областта на малките степени на деформация (ε < 12 %) – фиг.5 [10]. Вероятно в тези две групи е имало най-много благоприятно ориентирани по посока на тангенциалните напрежения зърна. В резултат на действие на тези голями в първоначалния момент на натоварване напрежения, теси зърна са получили голяма първоначална деформация чрез удължаване. От фиг.4б се вижда, че при голяма $\dot{\varepsilon}$ деформацията на зърната чрез завъртане е по-голяма отколкото при малка $\dot{\varepsilon}$, но не се наблюдава съсредоточаване на този вид деформация в една или повече групи зърна.

ИЗВОДИ

В настоящата работа е проведено количествено изследване относно характера на деформиране чрез удължаване и чрез завъртане на зърната от структура на образци от армко желязо, деформирани с различна степен и скорост на деформация. Получените резултати от осреднените стойности на параметрите D/d и α дават основание за следните по-важни изводи:

● За степен на деформация ε = 60 % във всички наблюдавани области средната деформация на зърната от всички групи деформирани чрез удължаване, е по-голяма при голяма скорост на деформация, от средната деформация на зърната дрформирани с малка скорост на деформация. Това според нас може да се обясни с влиянието на пластичните вълни върху развитието на субструктурата и върху скоростта на преместване на дислокациите в зърната, при голяма скорост на деформация.

● При деформация с $\dot{\varepsilon} = 8.10^{2} s^{-1}$ с нарастване площа на зърната средната деформацията чрез удължаване намалява, като в област 3 разликата между най-голямата и най-малката деформации достига 25.33 %. С увеличаването на деформацията на зърната, разликата между осреднената деформация при двта вида скорости на деформация намалява – фиг.3д.

● За степен на деформация 10 % при голяма скорост на деформация се наблюдава концентрация на средната деформацията чрез удължаване при зърната от групи 1 и 9– фиг.4а. Това може да се обясни с особеностите на натоварването в началния етап на деформиране – фиг.5.

БЛАГОДАРНОСТИ

Представените експериментални изследвания са осъществени с финансовата подкрепа на Фонд „Научни Изследвания”, Договор ДО 02-262/2008.

ЛИТЕРАТУРА

[1] Бернштейн М.Л., Структура деформированных металлов, М., Металлургия, 1977.

[2] Полухин П.И., Горелик С.С., Воронцов В.К., Физические основы пластической деформации, М., Металлургоя, 1982.

[3] Булат С.И., Тихонов А.С. Дубровин А.К., Деформируемость структурно неоднородных сталей и сплавов, М., Металлургия, 1975.

[4] High-velocity forming of metals, Wilson F.W. (Editor –in-Chief), American Society of Tool and Manifacturing Engineers, Prentice-Hall, 1962.

[5] Reinhart J.S., Pearson J., Behavior of metals under impulsive loading, American Society of Metals, Cleveland, 1964.

[6] Hauser F.E., J.A. Simons and J.N.Dorn, Strain rate effects in plastic wave propagation, Series N 133. Issue 3, Metal Research Laboratory, University of California, June 1960.

[7] Бельченко Г.И., Губенко С.И., Основы металографии и пластической деформации стали, Киев, Вища школа, 1981.

[8] Penchev T., Altaparmakov I., Karastojanov D., Experimental study on the possibilities to decrease the coefficient of restitution after impact, 2012 International Conference on Advanced Design and Manufacturing Engineering, August 16-18, 2012, Tajuan, China.

[9]. Г.Н.Эпштейн, О.А.Кайбышев, Высокоскоростная деформация и структура металлов, М., Металлургия, 1971.

[10]. Campbell J.J., Harding J., Response of metals to high velocity deformation, N.Y., 1961.

[11]. Wang.Zhong-jin, Cheng Li-dong, Effect of material parameters on stress wave propagandation during fast upsetting, Transactions of Nonferous Materials Society of China, 2008, 18, 1189-1195.

За контакти:

Гл. Ас. д-р Иван Алтъпармаков, Катедра “Диференциални уравнения”, факултет по приложна математика и информатика, Технически университет София тел.: 02 828 93 74, e-mail: ialt@tu-sofia.bg

Докладът е рецензиран