

ЕТАПИ ВИНИКНЕННЯ ДИСЛОКАЦІЙНОЇ ЧАРУНКОВОЇ СТРУКТУРИ В ХОЛОДНОДЕФОРМОВАНІЙ ВУГЛЕЦЕВІЙ СТАЛІ

Стаття присвячена поясненню процесу формування дислокаційної чарункової структури при пластичному деформуванні вуглецевої сталі.

Стаття посвящена объяснению процесса формирования дислокационной ячеистой структуры в течение пластического деформирования углеродистой стали.

The article is devoted to explanation of the evolutionary process of dislocation cell structure formation during the plastic deformation of carbon steel.

Протягом останніх декількох років, в порівнянні з традиційними технологіями обробки металів і сплавів, підвищенням попиту користуються розробки, які сприяють отриманню ультрадисперсних фазових складових.

Такі композиції найбільш частіше виготовляють з попередньо диспергованих дуже дрібних порошків, в яких зерна складають розміри від десятків сотень нм. Другий напрям отримання таких супердисперсних структур в металевих системах – це контрольоване легування [1].

В порівнянні з однофазними сплавами та чистими металами, коли рушійна сила зростання зерен достатньо велика та не дає можливості досягти необхідного рівня подрібнення структури, спеціальне легування за визначених умов існування сплаву дозволяє сформувати багатфазні композиції.

В якості прикладу можна розглядати процеси структурних перетворень, які в літературі називають спінодальним розпадом [2]. В цьому випадку зміна початкових умов перетворення дозволяє змінювати не тільки морфологічні особливості часток, які виділяються, але і ступінь періодичності структури в цілому.

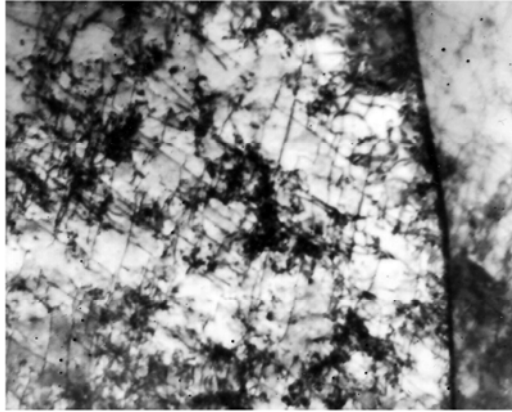
Метою дослідження є аналіз умов формування дислокаційних субструктур в холоднодеформованих сталях.

Матеріалом для дослідження була вуглецева сталь з кількістю вуглецю 0,4 %. Поперед холоднодеформування прокаткою на різні ступені, метал мав структуру гарячекатаного стану. Структуру досліджували під електронним мікроскопом за методикою просвітлювання.

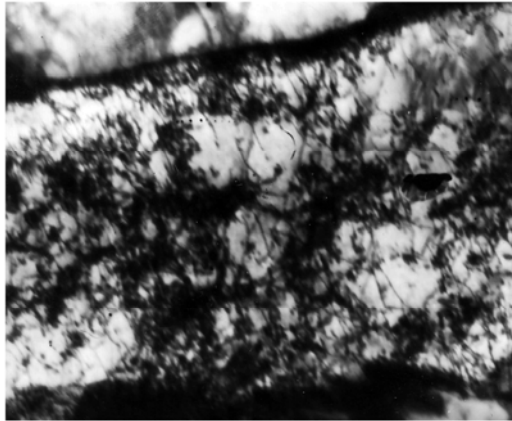
З підвищенням ступеня холодної пластичної деформації міцнісні властивості зростають, пластичні характеристики металу знижуються [3]. Наведений характер зміни комплексу влас-

тивостей металів обумовлений протіканням процесів структурних перетворень внутрішньої будови. Так, на підставі аналізу дрібнокристалічних параметрів металу показано, що після досягнення визначеного значення пластичної деформації у відносно рівномірному розподілі дислокацій виникають ознаки немонотонного розподілу. В подальшому, зі зростанням рівня накопиченої деформації, наведені немонотонності приймають вигляд періодичних чарункових дислокаційних структур [4, 5]. З іншого боку враховуючи, що структура досліджуваної кількості структурно вільного фериту та перлітних колоній, міцнісні властивості яких можуть різнитися більше ніж у два рази, початкові умови їх участі в пластичному деформуванні повинні бути різними [6, 7]. На підставі цього можна з визначеними припущеннями вважати, що формування дислокаційних субструктурних згуртувань в структурно вільному фериті та фериті перліту повинно розпочатись після досягнення різного ступеня деформації. Перед початком аналізу умов виникнення чарункових структур необхідно відзначити, що тип кристалічної решітки має дуже велике значення. Враховуючи, що ферит має об'ємноцентровану кубічну решітку, яка налічує декілька систем ковзання (площини (110), (112) та (123) з напрямком $\langle 111 \rangle$ [8]), виникаючі дислокаційні лінії мають примусово хвилеподібний вигляд. Можна вважати, що формування таких хвилеподібних дислокаційних стрічок в холоднодеформованих металах з ОЦК решіткою має визначене значення для виникнення чарункових структур. Як показано в роботах [4, 5], з позицій загальних умов еволюційних процесів перетворення рівномірного розподілу дислокацій, формування немонотонностей обумовлено виникненням флуктуацій критичного значення. Але чітке по-

яснення стосовно рушійних сил наведеного перетворення практично відсутнє. На рис. 1 наведена дислокаційна структура, яка виникає в структурно вільному фериті після деформації, якої недостатньо для формування чарункової структури. На підставі аналізу можна визначити, що дислокації переміщуються по різних кристалографічних системах.



а

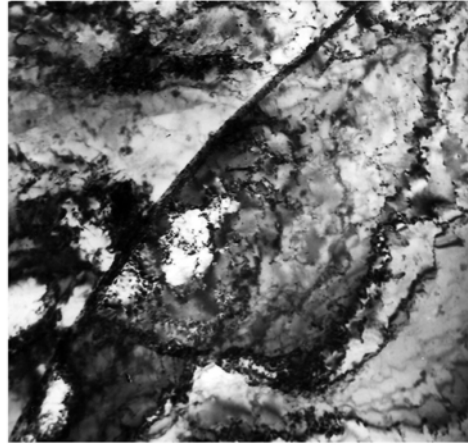


б

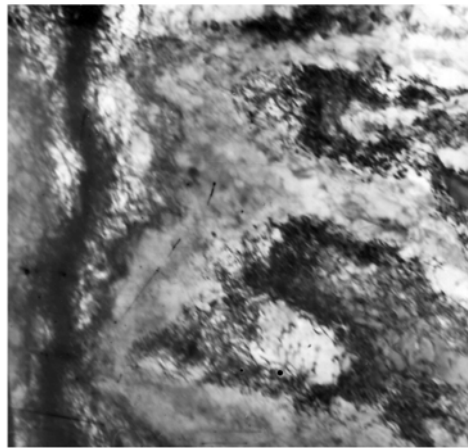
Рис. 1. Дислокаційна структура структурно вільного фериту низьковуглецевої сталі після деформації 2 % (а) та 10 % (б), (збільшення 18000x1,5)

Окрім цього, наведена картина ілюструє, що великокутові границі фериту являють собою не тільки місця зародження дислокацій в об'ємах металу поблизу великокутової границі (рис. 1,а). Підвищення ступеня пластичної деформації і, як наслідок цього, збільшення концентрації дислокацій, супроводжується формуванням більш складних дислокаційних угруповань у вигляді дислокаційних смуг з викривленими фрагментами різної амплітуди та радіусу кривизни (рис. 1,б). Формування викривлених фрагментів на дислокаційних угрупованнях обумовлено розвитком процесів, аналогічних як у випадку рухомих поодиноких дислокацій – множинне ковзання. Окрім цього, еквідистантне розташування окремих фрагментів стрічкас-

тої дислокаційної структури дає змогу оцінити не тільки напрямок переміщення, але і послідовність етапів формування вигинів. Дійсно, розглядаючи структуру на рис. 2,а, б, можна визначити, що наближення площини переміщення дислокаційної смуги до напрямку дії максимальних напружень супроводжується збільшенням амплітуди вигинів на смугі.



а



б



в

Рис. 2. Дислокаційна структура в структурно вільному фериті низьковуглецевої сталі після деформації прокаткою на 20 %, (збільшення 13000x1,5)

Таким чином, в першому наближенні можна вважати, що зростання ступеня холодної пластичної деформації приводить до формування вигинів на регулярно розташованих смугах дислокаційних угруповань. Подальше зростання амплітуди вигинів може досягти таких значень, що між рухомими смугами відбувається взаємодія, яка врешті-решт приводить до виникнення перетинок (рис. 2,в). Взаємне блокування від виникаючих перетинок переміщення дислокаційних смуг приводить до формування чарункової структури різного ступеня досконалості. На підставах проведеного аналізу, у випадку холодної пластичної деформації низьковуглецевої сталі, процес формування дислокаційної чарункової структури може розглядатися, як такий, що складається з декількох послідовно протікаючих етапів. Для малих ступенів деформації, яким відповідає етап переміщення поодиноких, рівномірно розташованих дислокацій (по декількох кристалографічних системах), взаємодія рухомих дислокацій між собою приводить до виникнення вигинів різної амплітуди. Такі вигини на дислокаційних лініях не сприяють регулярному переміщенню дислокацій і, як наслідок цього, виникають клубкові переплетення у вигляді дислокаційних смуг з різною шириною та концентрацією дислокацій в них (рис. 2). Подальше зростання ступеня деформації та концентрації дислокацій, з одночасним виникненням ротаційних ефектів: зміна напрямку максимально діючих напружень супроводжується формуванням вигинів на смугах дислокаційних угруповань, що еквідистантно переміщуються. Збільшення амплітуди вигинів на смугах та зменшення відстані між ними приводить до виникнення перетинок між окремими смугами, враховуючи, що сформовані перетинки з дислокаційних угруповань мають різний рівень стабільності перетинок. Обумовлено це тим фактом, що дислокаційна субграниця не може виконувати функції місць зародження та анігіляції дислокацій після акту пластичної деформації, в порівнянні з великокутовою границею фериту [3]. Виникнення стабільних перетинок між смугами дислокацій може розглядатися як завершальний етап на шляху формування дислокаційної чарункової структури. Подальше зростання деформації буде тільки

еволюційними процесами удосконалення чарункок.

ВИСНОВКИ

1. На основі досліджень внутрішньої будови холоднодеформованої низьковуглецевої сталі отримано уточнення механізму формування дислокаційних чарункових структур у структурно вільному фериті.

2. Основними етапами процесу виникнення чарункок слід вважати формування вигинів на рухомих смугастих угрупованнях дислокацій та зменшення відстані між ними. Другий етап – це виникнення перетинок з дислокаційних угруповань між окремими смугами дислокацій.

БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Абрахамсон Э. П. Получение сверхмелкозернистых сплавов методом контролируемого легирования // В кн.: Сверхмелкое зерно в металлах. – М.: Металлургия, 1973. – С. 82-101.
2. Де Фонтейн Д. Получение мелких выделений по механизму спинодального распада // В кн.: Сверхмелкое зерно в металлах. – М.: Металлургия, 1973. – С. 101-135.
3. Бабич В. К. Деформационное старение стали / В. К. Бабич, Ю. П. Гуль, И. Е. Долженков. – М.: Металлургия, 1972. – 320 с.
4. Holt D. L. Dislocation cell formation in metals // J. Appl. Phys., 1970. – v. 41. – P. 3197-3202.
5. Трефилов В. И. Изменение ячеистой дислокационной структуры и упрочнение при пластической деформации ОЦК-металлов / В. И. Трефилов, В. Ф. Моисеев, Э. П. Печковский // Докл. АН УССР, 1985. – № 11. – С. 81-84.
6. Вакуленко И. А. Структура и свойства углеродистой стали при знакопеременном деформировании. – Д.: Gaudeamus, 2003. – 94 с.
7. Langford G. Microstructural analysis by high-voltage electron diffraction of severally drawn iron wires / G. Langford, M. Cohen // Met. Trans., 1975. – V. 6A, № 4. – P. 901-910.
8. Виртман Дж. Механические свойства, несущественно зависящие от температуры / Дж. Виртман, Дж. Р. Виртман // В кн.: Физическое металловедение. – Вып. 3. – М.: Мир, 1968. – С. 149-215.

Надійшла до редколегії 22.05.2008.