

ВПЛИВ СХЕМИ НАВАНТАЖЕННЯ НА ОДНОРІДНІСТЬ РОЗПОДІЛУ ДЕФОРМАЦІЇ ПРИ ПЛАСТИЧНІЙ ТЕЧІЇ ВУГЛЕЦЕВОЇ СТАЛІ

Дослідження субструктури холоднокатаних низьковуглецевих сталей показали, що після 20 % обтискування вже достатньо великі об'єми фериту мають періодичну дислокаційну структуру подібну дислокаційним чарункам. Після двох-чотирьох циклів знакозмінного згину спостерігається підвищення однорідності розподілу мікротвердості фериту при зниженні рівномірності розподілу дислокацій в середині чарунок.

Исследования субструктуры холоднокатаных низкоуглеродистых сталей показали, что после 20 % обжатия уже большие объемы феррита обладают периодическими дислокационными структурами подобными дислокационным ячеистым. После двух-четырёх циклов знакопеременного изгиба наблюдается повышение однородности распределения микротвердости феррита при снижении равномерности распределения дислокаций внутри ячеек.

Investigations of the substructure of cold-rolled low-carbon steels have shown that after 20 % pressurization the already big volumes of ferrite have periodic dislocation structures similar to dislocation cells. After two to four alternating bending cycles, an increase in the homogeneity of distribution of ferrite micro-hardness can be observed, along with a decrease of homogeneity of distribution of dislocations inside individual cells.

Зеренна будова вуглецевої сталі при випадковому розподілі кристалографічних систем ковзання обумовлює формування неоднорідного розподілу деформації у різних мікрооб'ємах при її пластичному формозмінюванні [1]. Окрім диспергування структури та неоднорідного розподілу структурних складових, знизити нерівномірність деформації стає можливим за рахунок зміни напрямку навантаження.

Порівняно з односпрямованим деформуванням зміна знаку чи виду деформування супроводжується зниженням щільності дефектів кристалічної будови [2], зростанням параметрів деформаційного зміцнення [3], диспергуванням субструктурних елементів сталі [4]. На підставі наведених даних стає можливим очікувати зниження нерівномірності розподілу деформації в металі при зміні схеми деформування з односпрямованого на реверсивне.

Метою роботи була оцінка можливості зниження нерівномірного розподілу деформації в мікрооб'ємах за рахунок знакозмінного деформування сталі.

Матеріалом для дослідження були листові гарячекатані сталі з вмістом вуглецю 0,08 % (08 пс) і 0,12 % (20 сп), які надалі піддавали холодній прокатці на рівень деформації 20 та 40 %. Оцінку нерівномірності розподілу деформації проводили з аналізу даних по замірах мікротвердості фериту за допомогою приладу ПМТ-3. Знакозмінне деформування згином проводили на

спеціальному пристрої [4]. Властивості сталі вивчали при розтяганні зі швидкістю деформації 10^{-3} с^{-1} . Характеристики деформаційного зміцнення визначали з аналізу кривої розтягання. Оцінку структурних змін в сталі проводили за допомогою електронно-мікроскопічних досліджень на просвічування тонких фольг. Підрахунки розмірів структурних та субструктурних параметрів здійснювали за методиками кількісної металографії [1; 2].

При підвищенні ступеня пластичної деформації структурні зміни, які відбуваються в сталі, призводять до переключення залежності властивостей від структурних характеристик. На підставі цього виникає необхідність прогнозувати поведінку металу на межі максимально можливих деформацій та рівномірність їх розподілу при виготовленні виробів дуже складних форм. Для цієї мети розроблено багато критеріїв та різних показників [5; 6]. Найбільш частіше використовують показник ступеня (n) із рівняння кривої деформації

$$\sigma = \sigma_0 + K \cdot \varepsilon^n,$$

де σ та ε – відповідно напруження та деформація; K – постійна, σ_0 – напруження незворотного переміщення дислокацій в області мікротечії; n – показник ступеня [2].

Друга назва – коефіцієнт деформаційного зміцнення [1; 4] та коефіцієнт пластичної анізотропії

r_m , що знаходять як співвідношення ширини та товщини зразка (при іспитах на розтягання) для окремої величини деформації по залежності:

$$r_m = \frac{1}{4}(r_0 + 2r_{45} + r_{90}),$$

де r_0 , r_{45} , r_{90} – відповідно значення коефіцієнта під кутом 0; 45 та 90° відносно від напрямку деформування зразка r_{90} .

Зумовлено це тим, що підвищення рівня значень n і r_m супроводжується зростанням пластичних властивостей сталей [3; 4]. На підставі наведених залежностей, при розробці нових технологій чи удосконалення діючих, з метою підвищення здатність металу витримувати значні пластичні деформації без руйну-

вання, сталі піддають обробкам, які підвищують n і r_m [5]. Зі зростанням ступеня холодної пластичної деформації n і r_m дуже швидко знижуються [1; 2], аналогічно зменшується запас пластичності сталі [2]. При цьому мікротвердість фериту зростає, зростає і ступінь відхилення її значень від середнього рівня.

Як свідчать електронно-мікроскопічні дослідження, сталі після деформації прокаткою на 20...40 % мають недосконалу дислокаційну чарункову структуру (рис. 1). На підставі цього ступінь вдосконалення вказаної дислокаційної структури повинен бути різним для різних мікрооб'ємів металу, що підтверджується характером залежностей r_m , n від ступеня деформації та зміною значень мікротвердості (H_{μ}) вздовж напрямку, який збігається з напрямком навантаження.

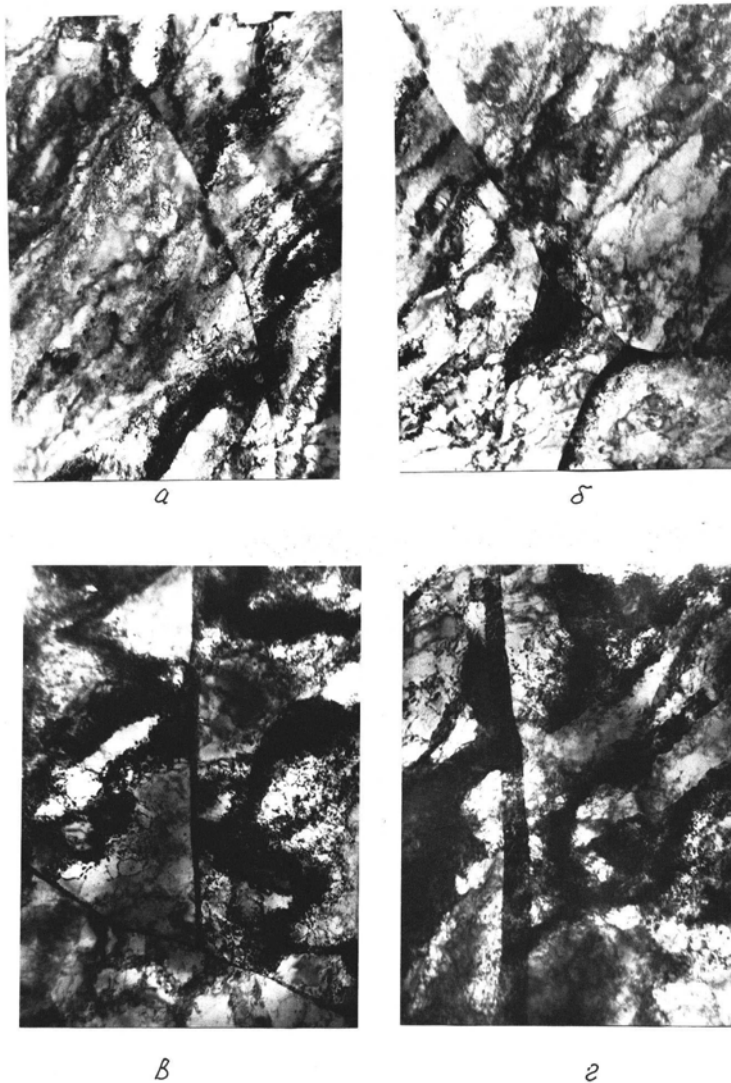


Рис. 1. Дислокаційна чарункова структура фериту холоднокатаної: а), б) на 20 % сталі 20 сп; в), г) після наступного 4-х циклового знакозмінного згину. Збільшення 13000×1,5

Під час знакозмінної деформації згином холоднодеформованої сталі знижуються міцнісні властивості та зростають відносне подовження сталей в 3...5 разів, коефіцієнт деформаційного зміцнення [3] та r_m (рис. 2). Заміри H_{μ} показали зниження величини максимального відхилення від середнього значення вздовж напрямку деформування (рис. 3).

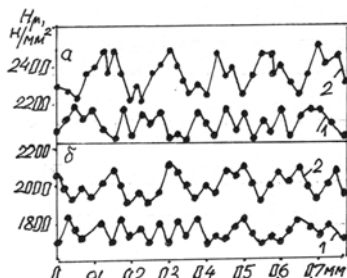


Рис. 2. Вплив ступеня пластичної деформації прокаткою (1,3...20, 2,4...40 %), кількості знакозмінних вигинів (m) на r_m :
а) на n ; б) на низьковуглецеву сталь 08 пс (1,2) і 20 сп (3,4).

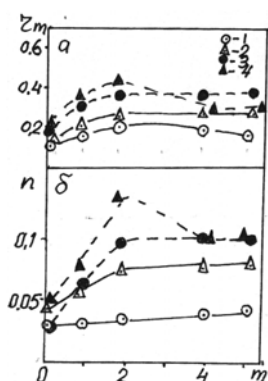


Рис. 3. Вплив ступеня пластичної деформації прокаткою (1...20, 2...40 %):
а) на 4-х цикловий знакозмінний згин;
б) на H_{μ} фериту сталі 08 пс

Електронно-мікроскопічний аналіз свідчить, що при невідосконаленій чарунковій структурі та при неупорядкованому розподілі дислокацій (клубкові осередки [1; 2], хаотично розташовані дислокації в середині чарунок) зменшення, яке спостерігається за рахунок знакозмінного деформування зумовлено не тільки анігіляцією одиничних нез'язаних дислокацій, а й зі структурними змінами, які мають місце в самих чарунках. Так, вже після перших 2...4 циклів знакозмінного навантаження, раніш сформована дислокаційна чарункова структура значно змінюється. Результати кількісного структурного аналізу показали не тільки зменшення розмірів чарунок [4], а і змінення їх форми: вони стали більш рівновісними (див. рис. 1, в, з).

Крім цього, змінилася й функція розташування осей чарунок по розміру. У порівнянні з розподілом, який спостерігається для тільки деформованого прокаткою металу, операція знакозмінного навантаження сприяє звуженню функції розподілу, що може розцінюватись як одна з ознак вдосконаленості дислокаційної чарункової структури [2; 4]. На підставі проведеного аналізу можна дати оцінку процесам внутрішньої перебудови, які сприяють підвищенню рівномірності розподілу деформації та зв'язаного з ним комплексу властивостей.

Аналіз залежності зміни H_{μ} показує, що при односпрямованому деформуванні характерною ознакою є закріплення осередків з підвищеною та зі зниженою деформацією. Після зміни виду деформування (прокатка та наступний знакозмінний згин) відбувається перерозподіл між вказаними осередками (підвищеної та зниженої) мікротвердості. Припускаючи, що більшість зрушень при пластичній деформації зосереджена у вузькому інтервалі кутів поблизу площин з максимальними діючими дотичними напруженнями, зміна знаку навантаження повинна привести до принципово інших структурних змін у порівнянні з односпрямованим деформуванням.

Дійсно, як свідчать електронно-мікроскопічні дослідження, при знакозмінному деформуванні виникають моменти сил, які сприяють завороту окремих мікрооб'ємів металу на малі кути, що обумовлено компенсацією виникаючих неоднорідностей у полях напружень. Крім цього, необхідно визначити, що в чарунковій структурі зразу після холодної прокатки має місце практично рівномірний розподіл дислокацій в середині чарунок (рис. 1, а, б). У протилежність цьому під час знакозмінної гнучкої деформації можна спостерігати значну кількість чарунок з виникненими в них немонотонностями в розподілі щільності дислокацій. Таким чином, спільний вплив заворотів окремих мікрооб'ємів та формування немонотонностей розподілу дислокацій в середині чарунок холоднокатаного металу зумовлює необхідність формування додаткових субграниць розподілу, які дуже часто експериментально спостерігаються (див. рис. 1, з).

Поява додаткових субграниць після знакозмінного гнучкого деформування вказує на зростання дисперсності структури в цілому, але в той же час необхідно відзначити, що рівномірність розподілу дислокацій зменшується. Таким чином, на перший погляд маємо достатньо парадоксальну ситуацію – для підвищення рівномірності деформації в мікрооб'ємах необхідно збільшити нерівномірність її розподілу в знач-

но менших об'ємах на субмікрорівні. При значимій гнучкій деформації холоднокатаного металу активізація інших додаткових систем ковзання сприяє розвитку анізотропного характеру деформації в субструктурних об'ємах, що в цілому підвищує її розподіл у більш крупних об'ємах, що в решті решт підтверджується зниженням відхилення мікротвердості металу від її середніх значень.

БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Большаков В. И. Термическая обработка строительной стали повышенной прочности / В. И. Большаков, К. Ф. Стародубов, М. А. Тылкин. – М.: Металлургия, 1977. – 200 с.
2. Бабич В. К. Деформационное старение стали / В. К. Бабич, Ю. П. Гуль, И. Е. Долженков. – М.: Металлургия, 1972. – 272 с.

3. Вакуленко И. А. Влияние правки на свойства термоупрочненной в потоке стана угловой стали СтЗпс. / И. А. Вакуленко, В. Т. Черненко, В. И. Друзин // *Металлургическая и горнорудная промышленность*. 1985. – № 1. – С. 36–37.
4. Вакуленко И. А. Влияние изгибно-растяжного деформирования на дислокационную структуру холоднокатаной низкоуглеродистой стали / И. А. Вакуленко, В. Г. Раздобреев // *Известия ВУЗов. Черная металлургия*. 2003. – № 8. – С. 28–30.
5. Lengford G. Strain hardening of iron by several plastic deformation / G. Lengford, M. Cohen // *Trans. Quart.*, 1969. V 62. – № 3. – P. 623–638.
6. Вакуленко И. А. Изменение акустической эмиссии в процессе деформирования углеродистой стали / И. А. Вакуленко, А. Г. Лисняк // *Изв. АН России. Металлы*. 1993. – № 4. – С. 97–101.

Надійшла до редколегії 27.09.2004.