

З урахуванням виразу (4) отримуємо

$$d = \sqrt{D_1^2 - \frac{\mu_2 \cdot D_2^2}{\mu_1 \cdot \sqrt{\rho \cdot g \cdot (H_y - H_6)} - 1}} \quad (8)$$

Проведений розрахунок біжучих значень діаметра заслінки на робочій довжині з метою визначення форми і можливості її виготовлення. Діаметри заслінки визначалися при рекомендованих для пневматичних контрольних пристроїв значеннях вхідного і вихідного сопел для кількох значень робочого тиску:

$D_1 = 2,0$ мм, $D_2 = 1,4$ мм, $P_p = 50; 100; 150;$

$200; 300$ мм вод. ст., $\mu_2 = \mu_1 = 0,76$.

Результати розрахунку зображені на графіку (рис.2).

Аналіз наведених графічних залежностей свідчить про те, що при робочих тисках: $P_p < 200$ мм вод. ст. твірна заслінки має бочкоподібну форму;

при $P_p > 200$ мм вод. ст. твірна заслінки має корсетну форму;

при $P_p = 200$ мм вод. ст. твірна заслінки - пряма лінія.

Тобто при $P_p = 200$ мм вод. ст. заслінка має форму конуса, що спрощує виготовлення заслінки і налагодження литтєвого пристрою.

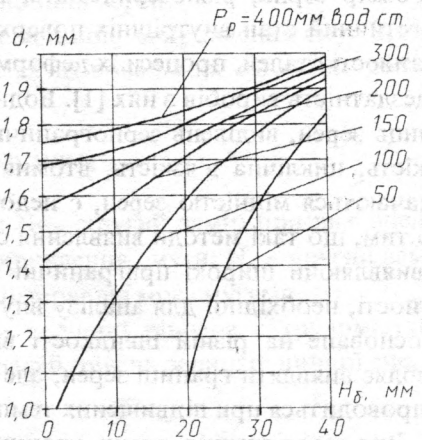


Рис.2. Залежність біжучих значень діаметра заслінки від зміни рівня шлікера.

1. А.с.722593 СССР, МКИ В 05 С 5/02. Устройство для литья пленки / Ю.В.Кодра, А.Р.Завербный, Б.А.Пальчевский. N2591727/23-05; Заявл. 20.03.78; Опубл. 28.03.80. Бюл. N 11. Зс. 2. Высоцкий А.В. Пневматические измерения линейных размеров. М., 1963.

УДК 539.56

ВИКОРИСТАННЯ ІОННО-ПЛАЗМОВОГО ТРАВЛЕННЯ ДЛЯ АНАЛІЗУ СТРУКТУРНО-ЕНЕРГЕТИЧНОГО СТАНУ ВНУТРІШНІХ ПОВЕРХОНЬ ПОДІЛУ

© Олег Кузін, Тетяна Мещерякова, Сергій Беспалов, 1999

ДУ“Львівська політехніка”

ДДУЗТ

Наведена методика якісної оцінки рівня зернограничної енергії за результатами аналізу глибини ривчаків іонно-плазмового травлення покращувальних сталей. Показано зростання площі границь зерен з високим рівнем енергії в

сталі 60С2 після окрихчувальної обробки, що підвищує її схильність до інтеркристалітного руйнування.

Підвищення експлуатаційних характеристик металічних матеріалів при мінімальних затратах енергії вимагає знаходження оптимальних параметрів мікроструктури і ефективних шляхів її регулювання. В цьому плані актуальною є проблема впливу технологічних чинників на структуру внутрішніх поверхонь поділу. Розмір зерна, різнозернистість, густина потрійних стиків зерен, структурно-енергетичний стан внутрішніх поверхонь поділу здійснюють різнобічний вплив на властивості сталей, процеси їх деформації і руйнування, експлуатаційну надійність і працездатність виробів з них [1]. Водночас зв'язок між енергетичними параметрами границь зерен, виділень зернограничних фаз і такими характеристиками як зносостійкість, циклічна в'язкість, втомна міцність та опір крихкому руйнуванню, які визначаються міцністю зерен, є недостатньо вивчений. Значною мірою це зумовлено тим, що такі методи виявлення структури як хімічне і електрохімічне травлення, виявляючи широкі приграничні зони, не забезпечують достатньої роздільної здатності, необхідної для аналізу внутрішніх поверхонь поділу. Вакуумне травлення, основане на різній швидкості випаровування в об'ємі зерен і по границях, дозволяє виявляти границі зерен, але вносить зміни у їх структуру в зв'язку із тим, що проводиться при підвищених температурах.

Для дослідження стану границь зерен при мінімальних змінах структури використовували іонно-плазмове травлення на вакуумному універсальному пості ВУП-4. Електрична схема установки забезпечує іонізаційний струм 50 мА при напрузі 10 кВ, що дає можливість легко керувати режимом іонного полірування або травлення поверхні зразків. При виникненні в камері газового розряду на поверхні зразка проходять такі процеси:

- 1) емісія вторинних електронів;
- 2) розпилення поверхні (вихід нейтральних атомів);
- 3) впровадження первинних іонів в кристалічну ґратку.

До того ж, переважний вплив має розпилення поверхні і емісія позитивних іонів.

Співвідношення цих процесів визначає можливість полірування або формування мікрорельєфу поверхні зразків. При травленні на поверхні зразків утворюються рівчаки, які окреслюють границі зерен і фаз, і їх формування пов'язане із більшим рівнем енергії атомів на внутрішніх поверхнях поділу.

Співвідношення між енергією границь зерен $\gamma_{ГР}$ і поверхневою енергією описує така залежність [2]:

$$\gamma_{ГР} = 2\gamma_{П} \cdot \cos\left(\frac{\theta}{2}\right),$$

де $\gamma_{П}$ – поверхнева енергія сплаву; θ – кут при вершині рівчака.

Для визначення кута θ з поверхні зразків знімали інтерференційну картину рівчака травлення, використовуючи інтерферометр Лінника.

Кут θ визначали за формулою

$$\theta = \arctg\left(\frac{2\Delta d_i}{\mu\lambda} \cdot \operatorname{tg}\alpha\right),$$

де Δd_i – відстань між інтерференційними смугами, заміряними на мікрофотографії; λ – довжина хвилі білого світла, яка дорівнює 0,554 мкм; μ – збільшення; α – кут, утворений інтерференційними лініями в основі рівчачка іонного травлення і перпендикуляром до інтерференційних ліній на площині зерен.

Глибину рівчачка травлення визначали за величиною викривлення смуг інтерференції. Знаючи величину викривлення смуги та інтервал між смугами, розраховували глибину рівчачка за формулою

$$t = 0,27 \frac{N_3 - N_4}{N_1 - N_2} \cdot n \text{ мкм},$$

де N_1 – перший замір при визначенні інтервалу; N_2 – другий замір при визначенні інтервалу; N_3 – перший замір при визначенні викривлення смуги; N_4 – другий замір при визначенні викривлення смуги; n – кількість інтервалів між смугами.

У зв'язку з тим, що визначення кута при вершині рівчачка є трудомістким процесом, оскільки вимагає аналізу мікрофотографій, рівень зернограничної енергії оцінювали за результатами замірів глибини рівчачків травлення.

Проведені в роботі дослідження показали, що залежність між глибиною рівчачків травлення і кутом при вершині рівчачків є лінійною (рис.1).

Енергія двох довільних границь зерен сталі дорівнює

$$\gamma_{ГР1} = 2\gamma_{П} \cdot \cos\left(\frac{\theta_1}{2}\right);$$

$$\gamma_{ГР2} = 2\gamma_{П} \cdot \cos\left(\frac{\theta_2}{2}\right);$$

$$\cos\left(\frac{\theta_1}{2}\right) = \frac{t_1}{C}; \cos\left(\frac{\theta_2}{2}\right) = \frac{t_2}{C},$$

де t_1 – глибина рівчачка першої границі; t_2 – глибина рівчачка другої границі; C – постійна, що визначається тангенсом кута α (рис.1).

$$\frac{\gamma_{ГР1}}{\gamma_{ГР2}} = \frac{2\gamma_{П} \cos\left(\frac{\theta_1}{2}\right)}{2\gamma_{П} \cos\left(\frac{\theta_2}{2}\right)} = \frac{2\gamma_{П} \frac{t_1}{C}}{2\gamma_{П} \frac{t_2}{C}} = \frac{t_1}{t_2}.$$

Відношення граничних енергій пропорційно відношенню глибин рівчачків, що визначаються за допомогою інтерферометра Лінніка. Тому для оцінки зміни

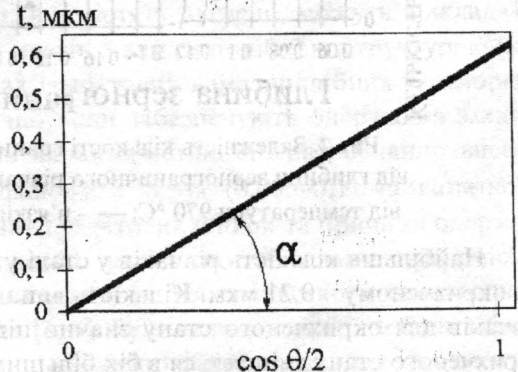


Рис.1. Залежність глибини рівчачка травлення t від косинуса кута $\theta/2$ при вершині рівчачка.

зернограничною енергії зразків при технологічних обробках вистачить проводити аналіз глибин ривчаків травлення.

Дослідження сталі 60С2 після гартування від температури 970 °С і відпуску при 600 °С, а також вторинного відпуску при 550 °С з повільним охолодженням показали зміну рівня зернограничної енергії після окрихчувальної обробки (рис.2).

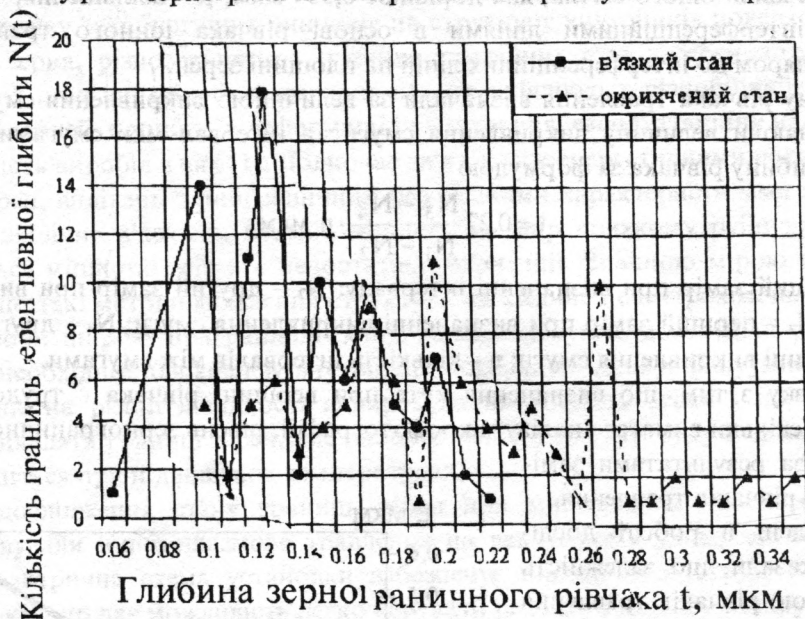


Рис.2. Залежність кількості границь зерен певної глибини $N(t)$ від глибини зернограничного ривчака t для сталі 60С2, згартованої від температури 970 °С; — - в'язкий стан; ---- - окрихчений стан.

Найбільша кількість ривчаків у сталі у в'язкому стані мають глибину 0,12 мкм, а в окрихченому – 0,21 мкм. Кількість випадків появи границь з більшою глибиною ривчаків для окрихченого стану значно підвищується, тобто крива розподілу для окрихченого стану зміщується в бік більших глибин ривчаків.

Така зміна зернограничної енергії істотно впливає на схильність до крихкого руйнування дослідженої сталі. Так, після окрихчувального відпуску, відбувається зсув кривої холодноламкості в бік високих температур на 57 °С, при цьому частка інтеркристалітного сколу в зламі підвищується від 10 до 65 %. Мікроструктурні дослідження виявили, що під дією навантаження тріщини на ударних зразках поширюються по границях з більшою енергією.

Отже, використання іонно-плазмового травлення з визначенням глибини ривчаків дає можливість аналізувати вплив технологічних обробок на значення зернограничної енергії, оптимізувати їх для регулювання стану міжзеренних поверхонь, усунення інтеркристалітного руйнування.

1. Кузин О.А., Фетисова М.М., Рачковская Н.Н., Коврова Т.П. Особенности химического и фазового состава пограничных зон зёрен и зернограничное разрушение улучшаемых сталей // Адгезия расплавов и пайка материалов. 1992. Вып. 27. С. 64-70. 2. Новиков И.И. Дефекты кристаллического строения металлов. М., 1975.