

УДК 669.15-194.57

ПРОГНОЗУВАННЯ РОЗПОДІЛУ РОЗМІРІВ ЗЕРЕН У СТАЛІ 03X18ТБч*В. Ю. ОЛЬШАНЕЦЬКИЙ¹, І. Ю. КИСІЛЬОВА²*¹ *Національний технічний університет; Запоріжжя;*² *Запорізький національний університет*

З використанням стохастичного підходу оцінено технологічну пластичність корозійно-отривкої сталі 03X18ТБч за розподілом розміру зерен у ній після двох варіантів термообробки.

Ключові слова: *розмір зерен, щільність ймовірності, корозійноотривкі сталі.*

Формулювання задачі. Розмір зерна – один із показників, який застосовують для оцінювання технологічної пластичності складнолегованих сталей. Відомо, що оптимальним для штампування є розмір 4...6 балів. Однак важливо знати не лише середній розмір зерен, а ще їх розподіли. Для розв'язання цієї задачі використали стохастичний підхід.

Розподіл зерен та мікрочастинок у металах залежно від термічного оброблення вивчали досить детально [1, 2]. Однак стохастичний підхід з використанням диференційних функцій розподілів механічних характеристик не застосовували.

Нижче побудовано диференційні функції розподілу діаметрів зерен корозійноотривкої сталі 03X18ТБч за стохастичним підходом.

Основний матеріал дослідження. Раніше [3, 4] отримали диференційні функції законів нормального розподілу границі текучості легуваних сталей у вигляді гаусівської густини:

$$f(\tau) = \frac{1}{S_\tau \sqrt{2\pi}} \cdot \exp \left[-\frac{1}{2} \cdot \left(\frac{\tau_i - \bar{\tau}}{S_\tau} \right)^2 \right], \quad (1)$$

де τ_i , $\bar{\tau}$ – характеристики текучості матеріалу; S_τ – середньоквадратичне відхилення. Параметри розподілів $\bar{\tau}$ та S_τ для двох спеціальних режимів оброблення сталі наведено в табл. 1.

Закон розподілу діаметрів зерен фериту D встановимо за методом перетворення випадкових величин [5]. Далі використаємо співвідношення Петча–Холла, яке пов'язує границю текучості τ із діаметром зерна D [6]:

$$\tau = \tau_0 + K / \sqrt{D}, \quad (2)$$

де τ_0 , K – коефіцієнти, які для стандартної феритної сталі можна розрахувати, користуючись експериментальними результатами [5]:

$$\tau(250) = 238 \text{ МПа}; \quad \tau(2) = 475 \text{ МПа}; \quad \tau(500) = 110 \text{ МПа}. \quad (3)$$

За методом перетворення випадкових величин шукана диференційна функція

$$\varphi(D) = f[\tau(D)] \cdot \left| \frac{d\tau}{dD} \right|. \quad (4)$$

Використавши рівняння (1) та (2), з формули (4) отримали розподіл діаметра зерна у вигляді закону вейбулівського типу:

$$f(D) = \frac{K}{S_\tau \sqrt{8\pi}} \cdot \frac{1}{\sqrt{D^3}} \cdot \exp \left[-\frac{1}{2} \cdot \left(\frac{D^{-1/2} - (\bar{\tau} - \tau_0)/K}{S_\tau / K} \right)^2 \right]. \quad (5)$$

Цей результат збігається з отриманими раніше [7, 8], де розподіли густини дислокацій, мікрочастинок і розмірів зерен подано також у вигляді розподілу Вейбула.

Таблиця 1. Параметри розподілів границі текучості

№ режиму	Оброблення	$\bar{\tau}$	S_τ
		МПа	
1	Гарячевальцьований підкат + холодне деформування 20% + відпалювання 780°C + холодне вальцювання + рекристалізаційне оброблення 920°C	291	17,9
2	Гарячевальцьований метал + відпалювання 780°C + холодне вальцювання + рекристалізаційне оброблення 920°C	533	32,5

Для сталі 03X18ГБч, обробленої за режимом № 1 (табл. 1), співвідношення (2) матиме вигляд

$$\tau_1 = 239 + 372 / \sqrt{D}. \quad (6)$$

Тоді закон розподілу (5) буде:

$$f_1(D) = \frac{K_1}{50,6\sqrt{\pi}} \cdot \frac{1}{\sqrt{D^3}} \cdot \exp \left[-\frac{1}{2} \cdot \left(\frac{D^{-1/2} - 0,139}{0,048} \right)^2 \right]. \quad (7)$$

А для обробленої за режимом № 2 крива розподілу розташовуватиметься вище, ніж крива розподілу для режиму № 1, згідно зі співвідношенням

$$\bar{\tau}_2 / \bar{\tau}_1 = 533 / 291 = 1,8. \quad (8)$$

У стільки ж разів збільшаться і коефіцієнти τ_0 та K у рівнянні (2) для сталі після оброблення за режимом № 2:

$$\tau_2 = 430 + 669 / \sqrt{D}. \quad (9)$$

Тепер відповідний вейбулівський закон розподілу діаметрів зерен запишемо так:

$$f_2(D) = \frac{K_2}{91,9\sqrt{\pi}} \cdot \frac{1}{\sqrt{D^3}} \cdot \exp \left[-\frac{1}{2} \cdot \left(\frac{D^{-1/2} - 0,15}{0,047} \right)^2 \right]. \quad (10)$$

Визначили (табл. 2 і рис. 1) характеристики законів розподілу діаметрів зерен (7) та (10) для обох режимів оброблення сталі.

Таблиця 2. Характеристики розподілів діаметрів зерен сталі 03X18ГБч

Режим обробки	Математичне сподівання, μm	Бал зерна за ГОСТ 5639-65	Середньоквадратичне відхилення
1	69	5	62
2	54	6	52

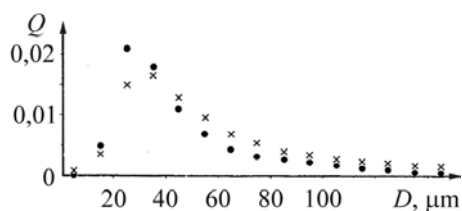


Рис. 1. Розподіли розмірів зерен сталі 03X18ГБч: ×, • – режими оброблення № 1 і 2 (див. табл. 1); Q – щільність імовірностей.

Fig. 1. Distribution of 03X18ГБч steel grain size: ×, • – treatment conditions 1 and 2 (see Table 1); Q – probability density.

Знайшли інтервали розмірів та балів більшості зерен у структурі сталі, а також точки перегину диференційної функції. При цьому визначили інтервали розмірів зерен, які відповідають половині медіани та рівню 10% (табл. 3).

Точки перегину шукаємо як екстремуми першої похідної диференційної функції (режим обробки № 1) (5):

$$\frac{df}{dD} = 0 = \frac{k}{S_{\tau} \cdot \sqrt{8\pi}} \cdot \left[\frac{1}{0,0046} (D^{-3,5} - D^{-3}) - 0,0069D^{2,5} \right] \exp\left(-\frac{1}{2} \cdot \frac{D^{-1/2} - 0,139}{0,048} \right)^2.$$

Для режиму № 2 вигляд похідної аналогічний.

Таблиця 3. Інтервали розмірів та балів зерен сталі 03X18ТБч

Режим оброблення	Між точками перегину			На рівні половини медіани			10%-ий рівень		
	<i>D</i>	<i>B</i>	<i>q</i>	<i>D</i>	<i>B</i>	<i>q</i>	<i>D</i>	<i>B</i>	<i>q</i>
1	15...45	6...9	57	20...62	5...8	77	22...55	5...8	75
2	15...50	6...9	67	18...45	6...9	62	17...47	6...9	67

D – розмір зерен, μm; *B* – бал зерна; *q* – частка (в %) зерен певного розміру, які потрапляють у визначений діапазон.

Отже, для режиму № 1 маємо широкий діапазон розмірів зерен, і між точками перегину 57% зерен належать до інтервалу балів 6...9. Однак значна їх кількість розташована в інтервалі 5...8, якщо розглядати точки, які відповідають половині медіани й 10%-му рівню (77 і 75% відповідно). Така структура сприятлива для штампування, що підтверджують результати визначення механічних характеристик і технологічних випроб (шляхом витягування за Еріксоном).

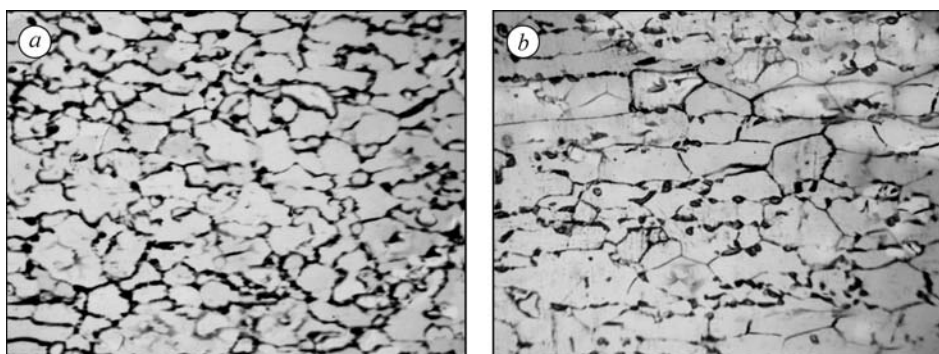


Рис. 2. Мікроструктура сталі 03X18ТБч (×200): світлі ділянки – структурно-вільний ферит; темні – продукти розпаду мартенситу; *a*, *b* – режимами обробки № 1 і 2.

Fig. 2. Microstructure of 03X18TB steel (×200): light regions – structure-free ferrite; dark – products of martensite disintegration; *a*, *b* – treatment conditions № 1 and 2.

Для режиму № 2 маємо вузький розподіл: 67% зерен між точками перегину належать до інтервалу балів 6...9, у якому розташована практично така ж кількість зерен, як і між точками, що відповідають половині медіани чи 10%-му рівню (62 і 67% відповідно). З цим пов'язують дещо нижчі технологічну пластичність і механічні характеристики металу.

Перевіримо отримані результати та визначимо розподіл розмірів зерен за даними металографічних досліджень. Використали два зразки: один обробляли за режимом № 1, а другий – за режимом № 2. Фрагменти структури ілюструє рис. 2.

За відомою методикою [9] знайшли розподіл розмірів зерен. Дослідили розміри 200 зерен та отримали гістограму їх розподілу з розмежуванням за діаметром на вісім груп (рис. 3).

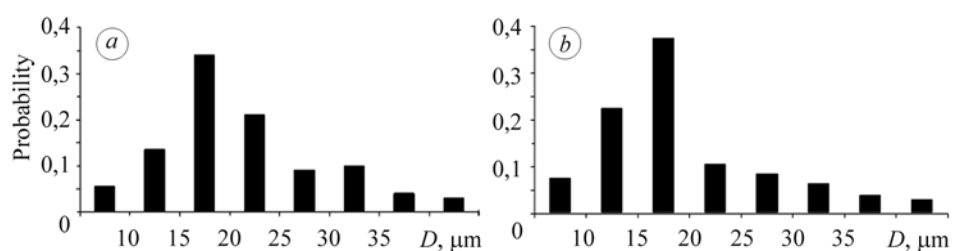


Рис. 3. Експериментальні гістограми розподілів діаметрів зерен сталі 03X18ТБч:
а, б – режими обробки № 1 і 2 (див. табл. 1).

Fig. 3. Experimental charts of 03X18TB4 steel grain diameters distribution:
а, b – treatment conditions № 1 and 2 (see Table 1).

Середній діаметр зерен (табл. 4)

$$\bar{D} = \sum \frac{N_i D_i}{N_i}$$

Таблиця 4. Експериментально визначені діаметри зерен сталі 03X18ТБч

Режим обробки	Математичне сподівання, μm	Бал зерна за ГОСТ 5639-65
1	26,5	7...8
2	30,1	7

Отримані експериментальні результати не виходять за межі теоретично визначених діапазонів зміни діаметра зерна.

ВИСНОВКИ

Запропоновано методику оцінювання розподілів діаметрів зерен на основі стохастичного підходу. Для хромистої корозійнотривкої сталі 03X18ТБч теоретично та експериментально визначено такі розподіли. Отримано задовільний збіг результатів порівняння.

РЕЗЮМЕ. С использованием стохастического подхода оценена технологическая пластичность коррозионно-стойкой стали 03X18TB4. Получено распределение размеров зерен в ней.

SUMMARY. Using a stochastic method a technological plasticity of the corrosion resistant 03X18TB4 steel is evaluated. A distribution of the grain sizes in the steel is obtained.

1. Псар'єв В. І., Пархоменко Л. О., Куликов О. Ф. Комп'ютерний аналіз розподілу карбідних частинок в хромистих сталях // *Металознавство та обробка металів.* – 1999. – № 4. – С. 64–67.
2. Farghali A. Mohamed. Deformation mechanism maps for micro-grained, ultrafined-grained, nano-grained materials // *Mater. Sci. and Engng. A.* – 2011. – **528**, № 3. – P.1431–1435.
3. Ольшанецький В., Нагорна І. Імовірнісні форми розподілу густини дислокацій у сталі // *Фіз.-хім. механіка матеріалів.* – 2003. – № 5. – С. 96–100.
4. Ольшанецький В., Нагорна І. Еволюція дислокаційної структури корозійнотривкої сталі під час пластичного деформування // *Там же.* – 2004. – № 4. – С. 114–116.
5. Герасимович А. И. Математическая статистика. – М.: Высш. шк., 1983. – 279 с.
6. Гуляев А. М. Материаловедение. – М.: Металлургия, 1978. – 647 с.
7. Степанов Ю. Н., Алехин В. П. О распределении плотности краевых дислокаций в металлическом образце при возникновении стоячей волны // *Металлы.* – 2000. – № 2. – С. 97–101.
8. Компьютерное моделирование влияния параметров распределения размеров зерен на статистические характеристики прочности поликристаллического железа в хрупком состоянии / Г. П. Зимина, С. А. Котречко, Ю. Я. Мешков и др. // *Металлофизика и новейшие технологии.* – 2001. – **23**, № 6. – С. 821–831.
9. Салтыков С. А. Стереометрическая металлография. – М.: Металлургиздат, 1958. – 450 с.

Одержано 05.04.2011