

2012»).

5. Тимошенко С.П. Сопротивление материалов. М., Наука, 1965, том I.

Рукопис подано до редакції 22.03.13

УДК 621.771

М.М. БЕРЕЖНИЙ, д-р техн. наук, проф., В.А. ЧУБЕНКО, канд. техн. наук, доц.,
А.А. ХІНОЦЬКА, старший викладач, С.О. МАЩИШИН, аспірант
ДВНЗ «Криворізький національний університет»

АМОРФНІСТЬ ТА МІЦНІСТЬ СТАЛІ

Запропоновано вважати границі зерен аморфними та розраховано величину аморфності залежно від розміру зерен при товщині міжзернової межі рівній параметру кристалічної решітки аустеніту ($3,6 \cdot 10^{-10}$ м). Визначено збільшення міцності різних видів сталі, маючої нанорозмір зерен, при збільшенні її аморфності до 40-50 %.

Проблема та її зв'язок з науковими та практичними завданнями. Сталі і сплави складаються з зерен [1] та границь між ними [2,3]. За визначенням аморфний стан металу відрізняється від його кристалічного стану відсутністю далекого порядку в розміщенні атомів в об'ємі, що власне і ліквідує зернову структуру [2]. Фрагменти кристалів різного розміру різних металів існують у розплавах – це кластери, які мають тимчасові внутрішні ансамблі атомів та зовнішню розпушену розупорядковану зону об'ємом 3-6 %. У розупорядкованій зоні атоми постійно відриваються і приєднуються від і до кластера. При переохолодженні розплаву кластери стають зародками кристалів, а розпушена зона міжзерновою границею, яку не можна вважати кристалічною [3]. За структурою вона ближче до аморфного стану, що визначають і самі автори [3]: «... при будь-яких температурах нижче температури плавлення структура границі не є рідиною і не подібна до структури аморфних твердих тіл, а краще порівнювати зі структурою кристалічного твердого тіла з високою концентрацією точкових дефектів, в яких зберігається значна ступінь, як ближнього так і далекого порядку» [3]. Тому важливо виявити залежність аморфності сталі від величини діаметра її зерен і вплив аморфності сплаву на його міцність.

Аналіз досліджень та публікацій. Якщо вважати границю, як поверхню без товщини, яка представляє контакт розорієнтованих поверхонь різних кристалів, як уявляють автори [3], то тоді необхідно визначити повноцінними кристалами частинки яких дотикаються до роздільної поверхні з обох її боків. Це уявлення, до речі, суперечить правилам визначення величини зерна за методикою Держстандарту [1], згідно якій при підрахунку кількості зерен у полі мікроскопу враховують половину зерен, що частково входять у це поле [1].

Враховуючи, що на границях зерен концентруються атоми інших елементів та дислокації і на шліфах сфотографовані границі зерен, які мають товщину 0,2-0,4 мкм [2], ми вважаємо, що міжзеренні границі в металах за структурою подібні до застиглих розплавів і на їх утворення витрачається теплота плавлення. Таке уявлення про поверхневу енергію, яка утворюється при руйнуванні руди, при знятті стружки з металічної заготовки успішно використано раніше [5,6]. У цих випадках товщина розпушеної поверхні приймалась обґрунтовано відповідна 0,08 мкм [5] і 0,25 мкм [6].

Очевидно, що товщина міжзеренних границь у поверхні рудних та металічних зернах повинна бути більшою ніж у внутрішніх міжзеренних границях, бо перші утворились внаслідок розриву зерен, а другі – внаслідок остигання та ущільнення розплаву.

Середні величини номерів зерен G , середнього діаметра зерна d_m та середнього числа зерен в 1 мм^3 , N_v , згідно Держстандарту [1] наведено в табл. 1. Середня питома поверхня міжзернової границі, її об'єм при товщині, рівній параметру чарунки заліза та частка в загальному об'ємі розраховані нами (табл. 1). На відміну від раніше виконаних розрахунків, коли товщина розпушеної зони приймалася рівною 0,08 мкм [6], тут прийнята товщина міжзернової поверхні в аустенітній сталі з вмістом вуглецю в межах 0 – 2 % рівною $3,6 \cdot 10^{-10}$ м, тобто середнє значенні між $(3,56 \div 3,63) \cdot 10^{-10}$ м.

Постановка завдання. Виявити геометричні параметри структури сталі залежно від розміру зерна і аморфності сплаву на його міцність.

Викладення матеріалу та результатів. Як видно з табл. 1 при товщині міжзеренної границі $3,6 \cdot 10^{-10}$ м її об'єм наближається до об'єму зерен розміром 2,7 мкм. Що ж в таких умовах визначає міцність металу – зерна чи їх границі необхідно визначити. Тому продовжимо табл. 1 ще на шість номерів до 20 і розмір зерен до $0,216 \cdot 10^{-10}$ м. При цьому ступінь аморфності сталі досягає 100% (табл. 2 і рис. 1). Аморфність сталі розрахована за формулою:

$$A = \frac{V_{z2} \cdot 10^{-22}}{V_{m3} \cdot 10^{-18}} = \frac{3,6 \cdot 10^{-10} \cdot 3,14 \cdot 10^{-12} d_m^2}{0,5236 \cdot 10^{-18} d_m^3} = \frac{11,0304 \cdot 10^{-22} \cdot d_m}{0,5236 \cdot 10^{-18} \cdot d_m} = \frac{21,6 \cdot 10^{-4}}{d_m},$$

де V_{z2} , V_{m3} , d_m – відповідно об'єм зернових границь, об'єм зерна та середній діаметр зерен; $3,6 \cdot 10^{-10}$ м – товщина границі зерна.

Таблиця 1

Геометричні співвідношення в сталі залежно від розміру зерен

Номер зерна G [1]	Середній діаметр зерна $d_m \cdot 10^{-6}$ м [1]	Середнє число зерен в 1 м^3 $N_v \cdot 10^9$ [1]	Об'єм зерна $V_m \cdot 10^{-18}$ м ³ .	Поверхня зерна $F_m \cdot 10^{-12}$, м ²	Об'єм границі зерен, м ³ · 10 ⁻²²	Частка об'єму границі зерна, % · 10 ⁻²
- 3	1000	1	523,6	3,14	11,3	0,022
- 2	707	2,8	185,04	1,57	5,652	0,03
- 1	500	8	65,45	0,765	2,826	0,043
0	353	22,6	23,03	0,516	1,86	0,081
1	250	64	8,18	0,196	0,705	0,086
2	177	181	2,9	0,0984	0,354	0,122
3	125	512	1,02	0,0491	0,177	0,174
4	88	1448	0,357	0,0243	0,0875	0,245
5	62	4096	0,125	0,0121	0,0436	0,349
6	44	11585	0,0446	0,0061	0,022	0,493
7	31	32768	0,0156	0,003	0,011	0,705
8	22	92682	0,0056	0,00152	0,0055	0,982
9	15	262144	0,00176	0,00071	0,0026	1,48
10	11	741485	0,0007	0,00038	0,0012	1,71
11	7,9	2097152	0,00026	0,0002	0,00072	2,77
12	5,6	5931008	0,000092	0,0001	0,00036	3,91
13	3,9	16777216	0,00003	0,00005	0,00018	6,0
14	2,7	47449064	0,00001	0,000023	0,000083	8,3

Таблиця 2

Деякі геометричні параметри структури сталі залежно від розміру зерна

Номер зерна G [1]	Діаметр зерна $d_m \cdot 10^{-6}$ м	Об'єм зерна $V_m \cdot 10^{-18}$ м ³ .	Поверхня зерна $F_m \cdot 10^{-12}$, м ²	Об'єм границі зерен, м ³ · 10 ⁻²²	Частка об'єму границі, %
10	11	0,0007	0,00033	0,0012	1,71
11	7,9	0,00026	0,0002	0,00072	2,77
12	5,6	0,000092	0,0001	0,00036	3,91
13	3,9	0,00003	0,00005	0,00018	6,0
14	2,7	0,00001	0,000023	0,000083	8,3
15	2,0	0,0000042	0,0000126	0,000045	10,7
16	1,5	0,00000177	0,0000071	0,0000254	14,35
17	1,0	0,000000524	0,00000314	0,0000113	21,56
18	0,5	0,000000065	0,000000785	0,0000028	43,1
19	0,3	0,000000014	0,000000283	0,00000102	72,86
20	0,216	0,000000053	0,000000146	0,00000053	100,0

Отже, як видно з рис. 1, стандарт [1] закінчується зерном розміром $2,7 \cdot 10^{-6}$ м і наявністю в структурі сталі аморфності 8,3 %.

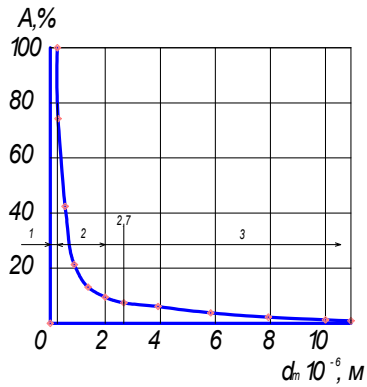


Рис. 1. Залежність аморфності сталі (A) від величини діаметра її зерен ($d_m \cdot 10^{-6}$): 1 – аморфна сталь нанокристалічна ($d_m < 0,216 \cdot 10^{-6}$ м); 2 – проміжні кристали ($0,216 < d_m < 2,7 \cdot 10^{-6}$ м); 3 – зерна розміром $d_m > 2,7 \cdot 10^{-6}$ і $d_m < 1 \cdot 10^{-6}$ [1]

При зменшенні розміру зерен до $0,216 \cdot 10^{-6}$ м у структурі сталі аморфність її збільшується до 100 %. Цей діапазон ($0,216 \dots 2,7$) $\cdot 10^{-6}$ м зміни розміру зерен є проміжним (перехідним) до нанокристалічного стану з діаметром зерен менше 216 нм. Але при вакуумному напиленні «Так плівка заліза товщиною 2,5 нм кристалізується при температурі 50-60 К, а при товщині 15 нм залізо отримати в аморфному стані взагалі неможливо» [4, ст. 31]. Методом вакуумного напилення отримують також аморфні плівки Mn, Cr, Te, Sb, Ga, As, Al, V, Pd, Zr, Hf, Re, Nb, Ta, W, Mo. Відзначимо, що марганець

аморфному стані аж до 400 К [4] залишається в аморфному стані аж до 400 К [4].

На підставі наведених даних стосовно заліза та марганцю, які нанесли на залежність логарифму швидкості охолодження від відношення температури T_q аморфізації розплавів металів і сплавів до температури їх плавлення T_m (T_q/T_m) [4, ст. 61, рис. 3.5], визначили названу залежність аналітично для металів – хімічних елементів (рис. 2)

На рис. 2 до даних з [4] білими колами нанесені дані з [2] про аморфність заліза та марганцю. Виявлено, що дві паралельні штрихові прямі обмежують ділянку розміщення аморфних сплавів металів між елементарними металами Fe, Ni, Mn, Ge та Te. Це дозволяє узагальнити залежність $\log Rc = f(T_q/T_m)$ у вигляді прямої: $\log Rc = 13,49 \dots 156732(T_q/T_m)$.

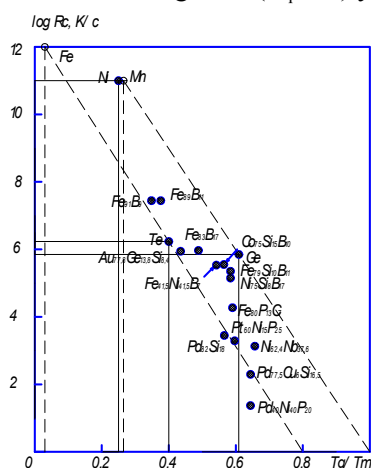


Рис. 2. Співвідношення (кореляція) між критичної швидкості охолодження Rc та відношення температури аморфізації до температури плавлення T_q/T_m [4]

Після цього чіткіше виявляється наявність металів і сплавів, які мають однакові швидкості охолодження при досить суттєвих різницях відношення (T_q/T_m), як, наприклад, Ni і Mn, $Fe_{91}B_9$ і $Fe_{89}B_{11}$, $Au_{77,8}G_{13,8}Si_{8,4}$ та $Fe_{83}B_{17}$, $Fe_{41,5}Ni_{41,5}B_7$ і $Co_{75}Si_{15}B_{10}$, $Pd_{82}Si_{18}$ і $Ni_{62,4}Nb_{37,6}$. В основі цієї закономірності лежить єдина фізична структура кристалічної будови, незважаючи на відмінності у хімічному та елементарному складі.

Залежність параметрів різних видів міцності твердих сплавів вивчали за даними [7]: досліджувались на міцність вольфрамокобальтові сплави з об'ємним вмістом кобальту 10-40 %, третім елементом у сплавах був вуглець у складі карбідів вольфраму та кобальту: масова частка карбідів (за об'ємом) змінювалась від 60 до 98 %. Розмір зерен карбідів звичайно дорівнює 1-5 мкм. Сплави за розміром зерен розділили на три групи: менше 1 мкм (в середньому 0,5 мкм), 1-2 мкм (середнє 1,5 мкм) і більше 2 мкм (в середньому 2,7 мкм). Згідно табл. 1 і 2 аморфність груп сплавів відповідно дорівнювала 43,1%, 14,4% і 8,3%.

Результати визначення величини параметрів міцності сплавів представлено на рис. 3: на осі абсцис – значення аморфності в %. На осі ординат послідовно знизу вверх відкладено:

- 1 – відносний опір «сухому» абразивному зносу;
- 2 – в'язкість руйнування, $MH/m^3/2$;
- 3 – границя міцності на згин, H/mm^2 ;
- 4 – границя міцності на стиснення, H/mm^2 ;
- 5 – напруження міцності на втомленість, H/mm^2 ;
- 6 – твердість, HV 3.

Числа біля кривих в позиціях 1 – 4 і 6 – це вміст в об'ємних % карбиду кобальту в сплавах; в позиції 6 – це число циклів при випробуванні на втомленість сплавів.

Установлено, що чим дрібніші зерна карбиду вольфраму та чим менше вміст кобальту, тим більше опір «сухому» абразивному зносу. В'язкість руйнування також залежить від вмісту кобальту і розміру зерен карбиду вольфраму, як і ударна в'язкість при випробуванні на розрив.

До числа найрозповсюджених видів руйнування твердих сплавів вольфрамової групи на-

лежить внутрікристалічний крихкий злом по кристалічних площинах ковзання, дрібнокристалічний злом по границях зерен карбідної фази та зв'язки. Збільшення розмірів зерен і вмісту кобальту в твердих сплавах призведе до розширення проміжних шарів між зернами карбідної фази і, значить, підвищену інтенсивність в'язкого злому.

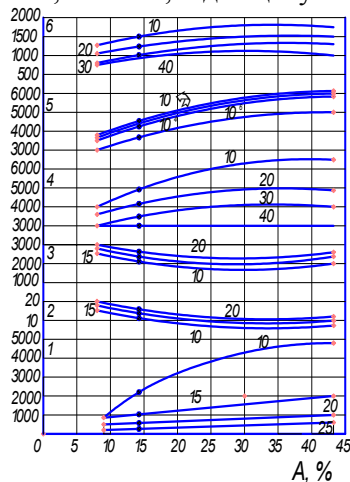


Рис. 3. Результати досліджень: опис в тексті

Список літератури

1. ГОСТ 5639 – 82. Стали и сплавы. Методы выявления и определения величины зерна. – 20 с.
2. Судзуки К., Фудзиморн Х., Хашлото К. Аморфные металлы. – Пер. с японского. – М.: Металлургия, 1087. – 328 с.
3. Кошкин Н.И., Ширкевич М.П. – Справ очник по элементарной физике. – Узд. седьмое стереотипное. – М.: Наука. – 1976. – 255 с.
4. Н. А. Davies: Rapirlli 1 Quenched Metals III. Vol. (edited by D/ Cantor. The Metals Societij, London, 1978) P.1.
5. Бережной Н.Н., Сокур Н.И. К вопросу распределения энергии в шаровых барабанных мельницах между измельчаемыми материалами. – Горный журнал, 1991. - № 1. – с.45 – 48.
6. Теорія будови рідкого, аморфного і кристалічного стану. – М.М.Бережний, З.З.Пастушенко, В.П. Соколова, В.А.Чубенко. – (Монографія). – Кривий Ріг: Мінерал. – 221 с.
7. Sandvik in Austria Ges. m. b. H-Hard Materials.-Firmenbuchnummer FN 76857 a Handelsgericht Wien.
8. Кухлинг Х. – Справочник по физике. – Пер. с немец. – 2 – е узд. – М.: Мир. – 1989. – 520 с.

Рукопис подано до редакції 22.03.13

УДК 621.3: 621.313.1

В.З. СВАНИДЗЕ, магистр, В.Г. ФАЙНШТЕЙН, канд. техн. наук, ГВУЗ „Криворожский национальный университет”

ОСОБЕННОСТИ ВЫБОРА ДВИГАТЕЛЯ ПО МОЩНОСТИ

В работе рассмотрены вопросы экономически целесообразной замены электродвигателей с целью уменьшения потерь электроэнергии, выбора электродвигателя из числа соответствующих по мощности, но отличающихся по цене и потерям электроэнергии (КПД), целесообразность выполнять традиционную рекомендацию - выбирать электродвигатель равный или ближайший больший по номинальной мощности, чем по расчету. Отмеченные задачи рассматриваются составляющими инвестиционного проекта для малой реконструкции предприятия, где показателем эффективности инвестиционного проекта является накопленный дисконтированный эффект за расчетный период.

Ключевые слова: электродвигатель, потери мощности, КПД, инвестиционный проект.

У роботі розглянуто питання економічно доцільної заміни електродвигуна з метою зменшення втрат електроенергії, вибору електродвигуна з числа відповідних по потужності, але що відрізняються за ціною і втратами електроенергії (ККД), доцільність виконувати традиційну рекомендацію - вибрати електродвигун рівний або найближчий більший за номінальної потужності, ніж за розрахунком. Зазначені завдання розглядаються складовими інвестиційного проекту для малої реконструкції підприємства, де показником ефективності інвестиційного проекту є накопичений дисконтований ефект за розрахунковий період.

Questions of economically expedient replacement of electric motors for the purpose of reduction of losses of the electric power are considered in this work, electric motor choice from among corre-