

І.Я. Петрик¹, В.Я. Лобурак¹, Н.І. Дидин², І.Й. Перкатюк³

Кінетика формування дифузійних покриттів на Сталі 50 та 12X18Н10Т з попереднім знеуглецюванням їх поверхні

¹Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу,
вул. Карпатська, 15, м. Івано-Франківськ, 76019, Україна,

²Ужгородський національний університет, вул. Підгірна, 46, м. Ужгород, Закарпатська обл., 88000, Україна,

³Прикарпатський національний університет ім. Василя Стефаника, вул. Шевченка, 57,
Івано-Франківськ, 76000, Україна, e-mail: vloburak2@mail.ru

Проведено порівняння процесу знеуглецювання Сталі 50 та 12X18Н10Т шляхом відпалювання в середовищі водню, а також дифузійним залізненням із порошкової суміші. Запропоновано математичну модель кінетики формування дифузійних покриттів, використовуючи концентрацію домішкових елементів в сталі.

Ключові слова: рафінування, дифузія, концентрація, глибина дифузійного шару.

Стаття поступила до редакції 03.12.2012; прийнята до друку 15.03.2012.

Вступ

Ефективність захисних покриттів на сталях доведена багатьма дослідниками [1, 2]. Окреме місце займають дослідження формування поверхневих дифузійних шарів, одержаних для різних умов їх експлуатації. Це і опір корозії, жаро - і зносостійкість при сухому терті та умовах знакоперемінного навантаження і т.д.

Однак, стабільне формування дифузійного покриття методом хіміко-термічної обробки ускладнене тим, що поверхневий шар виробу з різних сталей, та навіть однієї марки, але різних плавок, містить домішки включень не однакових за їх концентрацією, хімічним складом та станом (твердий розчин, хімічна сполука чи механічна суміш). Отже, їх вплив на формування структури покриття є неоднозначним. Одні домішки прискорюють дифузійні процеси, формують врівноважену структуру. А інші впливають навпаки. Звідси повторюваність результатів дифузійного насичення є далеко не стопроцентним, а в окремих випадках навіть не прогнозованим.

Тому доречним було дослідити попереднє рафінування поверхневого шару сталі перед дифузійним її насиченням одним, чи двома компонентами.

І. Постановка задачі дослідження

Основною домішкою в сталях є вуглець, а тому

ставилась задача знеуглецювати поверхню вуглецевої Сталі 50 та легованої 12X18Н10Т, як найбільш застосовуваних конструкційних матеріалів у машинобудуванні. Рафінування поверхні проводились шляхом відпалювання в середовищі водню, а також дифузійним залізненням із порошкової суміші.

Постільки витримка сталі у водневому середовищі сприяє її наводненню, що приводить до зменшення міцності за рахунок підвищення крихкості, то нами досліджувались зразки на міцність та повзучість після їх витримки у водневому середовищі. Випробування проводились у потоці водню з вмістом 0,09 % парів води при температурі 850 °С і з різною витримкою за часом. Зразками служили дріт діаметром 3мм та трубки діаметром 10 мм з товщиною стінки 1,5 мм.

Паралельно проводились дослідження рафінування поверхні методом дифузійного залізнення із порошкових сумішей складу: 20 % оксиду алюмінію, 0,1 - 0,3 % хлористого амонію, а решта порошок заліза марки ПЖ1МЗ. Температура процесу складала 850 – 900 °С на протязі 2 ... 5 годин.

II. Результати дослідження та їх обговорення

На рис. 1 показані фотографії мікроструктур, одержаних на Сталі 50 та 12X18Н10Т після рафінування їх поверхні при нагріванні у водневому

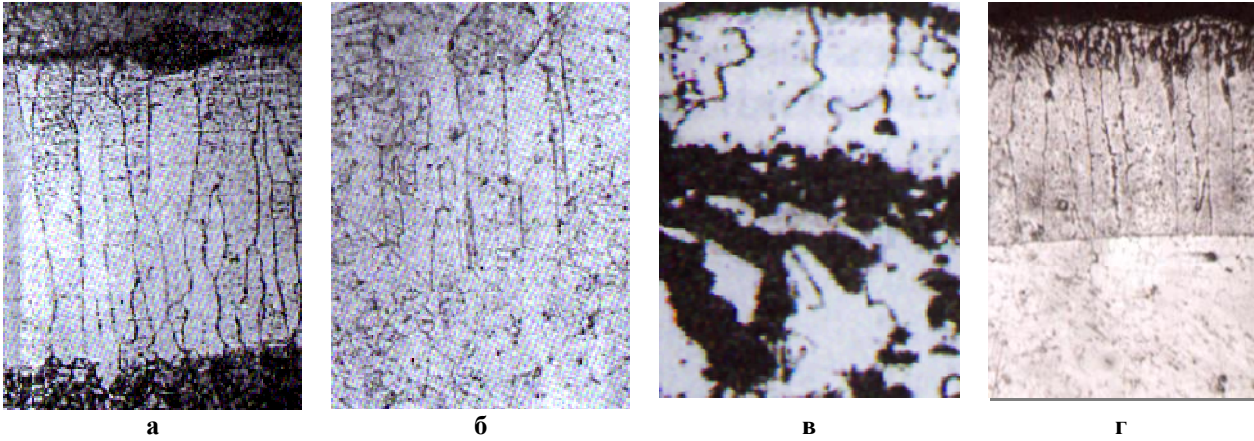


Рис. 1. Структура поверхнього шару Сталі 50 (а) і 12Х18Н10Т (б) після витримки у водневому середовищі з наступним дифузійним залізненням Сталі 50 (в) і 12Х18Н10Т (г) при температурі 850 °С на протязі 5 годин x200.

середовищі та дифузійного насичення залізом із порошкової суміші. В усіх випадках структура поверхнього шару характеризується витягнутими до поверхні зразка зернами. Особливо чітко це видно на

легованій Сталі 12Х18Н10Т.

На рис. 2 приведений характер розподілу елементів у поверхньому шарі сталі після її рафінування одержаний з допомогою рентгенівського мікрозонда МС - 46. Як видно з рис. 2,а домішкові елементи в Сталі 50 інтенсивно підтягуються до поверхні і виходять з неї. Така ж картина спостерігається у поверхньому шарі Сталі 12Х18Н10Т (рис. 2,б). Найбільш інтенсивно мігрує хром і вуглець. Однак вуглець, як і титан, концентрується у приповерхневій зоні, в той час як концентрація нікелю і хрому поступово зменшується від серцевини до поверхні зразка. Отже, глибина зони, збідненої легуючими та домішковими елементами залежить від рухливості атомів цих елементів у сталі. Значна концентрація вуглецю в поверхневій зоні пов'язана з тим, що в ній інтенсивно відбувається процес карбідоутворення з хромом та титаном і підтверджується підвищенням значенням мікротвердості в приповерхневому шарі. Вміст сірки і фосфору досяг значень менше чутливості приладу і тому ним не фіксується.

Вимірювання впливу рафінування у середовищі водню та дифузійному залізненні зразків сталей на

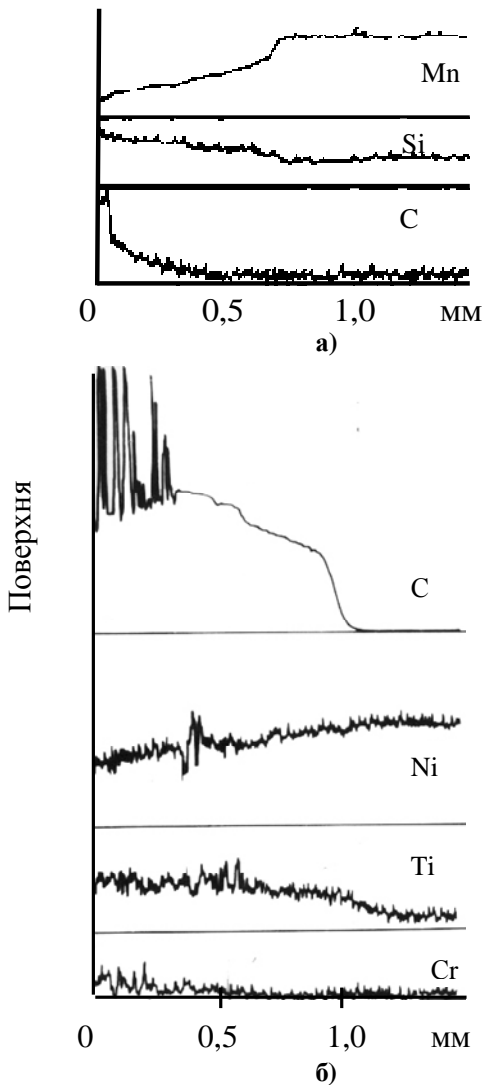


Рис. 2. Розподіл елементів по глибині в поверхневій зоні сталей після їх рафінування: а) Сталь 50; б) 12Х18Н10Т.

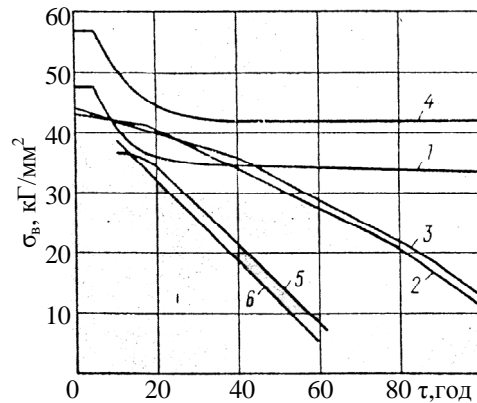


Рис. 3. Залежність границі міцності від температури та часу витримки у водневому середовищі: 1, 4 – при температурі 20 °С; 2, 3 – при 600 °С; 5, 6 – при 850 °С, відповідно Сталь 50 та 12Х18Н10Т.

міцність і повзучість показали, що рафінування шляхом залізнення практично не впливає на ці характеристики. В той час, коли рафінування в середовищі водню суттєво знижує границю міцності сталей і підвищує значення їх повзучості. На рис. 3 і 4 приведена залежність міцності та повзучості сталей від умов рафінування.

Дослідження показали, що глибина рафінування зони залежить від швидкості руху границі фазового переходу $\alpha \leftrightarrow \gamma$ заліза в яких атоми домішкових елементів поводять себе по-різному. Так, дифузія вуглецю у фериті сприяє просуванню границі перетворення в глибину металу, а в аустеніті – до поверхні [3]. У відповідності до цього співвідношення між коефіцієнтами дифузії у фазах зображує переміщення границі переходу в глибину сталі. Ріст рафінованого шару за часом емпірично виражається у вигляді:

$$x = b \cdot t \quad b = K_0 e^{-\frac{Q}{RT}}$$

де β – константа швидкості процесу в залежності від температури; ξ – товщина рафінування шару; K_0 – коефіцієнт, який не залежить від температури; Q – уявна енергія активації.

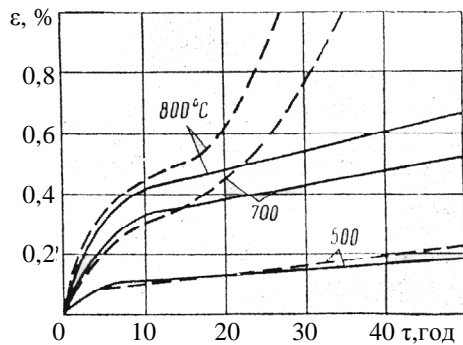


Рис. 4. Повзучість зразків при $\sigma = 7,5 \text{ кГ/мм}^2$ і різних температурах (суцільні лінії – 12Х18Н10Т, штрихові – сталь 50).

Шляхом обробки експериментальних даних отримане значення константи: $b_{850^\circ\text{C}} = 2,7 \cdot 10^{-6}$, за якою можна оцінити час, необхідний для одержання глибини рафінованої зони.

Експериментальне визначення констант являє собою трудомістку задачу, тому доцільним є описати процес переміщення границі з допомогою загальних закономірностей дифузії в твердих тілах [4], тобто $C = f(x, t)$:

$$\begin{cases} \frac{\partial c_1}{\partial t} = D_1 \frac{\partial^2 c_1}{\partial x^2}, t > 0, x < x < \infty; \\ \frac{\partial c_2}{\partial t} = D_2 \frac{\partial^2 c_2}{\partial x^2}, t > 0, 0 < x < x. \end{cases} \quad (1)$$

Для схеми знеуглецювання при утворенні фериту в поверхневій зоні мають місце наступні граничні умови:

c^0 – вихідна концентрація вуглецю в сталі;

та $c^x - c_2^x$ – концентрація вуглецю на рухомій границі ферит-аустеніт залишаються постійними на протязі всього процесу і визначаються із

ізотермічного зрізу діаграми Fe - C;

c_2^0 – концентрація вуглецю на границі метал-середовище також постійна на протязі всього процесу;

D_1 і D_2 – коефіцієнти дифузії в аустеніті і фериті відповідно.

Початкові та граничні умови запишемо у вигляді:

$$\begin{cases} c_2(0, t) = c_2^0; \\ c_2(x, t) = c_2^x; \\ c_1(x, 0) = c_1^0; \\ c_1(\infty, t) = c_1^0; \\ c_1(x, t) = c_1^x. \end{cases} \quad (2)$$

Умови балансу маси на рухомій границі:

$$D_2 \frac{\partial c_2}{\partial t} \Big|_{x=x} = D_1 \frac{\partial c_1}{\partial x} \Big|_{x=x} + (c_1^x - c_2^x) \frac{dx}{dt} \quad (3)$$

Рішення системи диференціальних рівнянь (1) з врахуванням (2) має вигляд:

$$c_1(x, t) = c_1^0 + \frac{c_1^x - c_1^0}{\text{erf} \frac{b}{\sqrt{D_1}}} \text{erf} \frac{x}{2\sqrt{D_1 t}}; \quad (4)$$

$$c_2(x, t) = c_2^0 + \frac{c_2^x - c_2^0}{\text{erf} \frac{b}{\sqrt{D_2}}} \text{erf} \frac{x}{2\sqrt{D_2 t}}. \quad (5)$$

Враховуючи співвідношення (4) і (5), умови балансу маси (3) запишеться наступним чином:

$$\begin{aligned} \frac{\sqrt{D_2} (c_2^x - c_2^0) e^{\frac{b^2}{D_2}}}{\text{erf} \frac{b}{\sqrt{D_2}}} &= \\ &= \frac{\sqrt{D_1} (c_1^0 - c_1^x) e^{\frac{b^2}{D_1}}}{\text{erf} \frac{b}{\sqrt{D_1}}} + (c_1^0 - c_1^x) b \sqrt{p} \end{aligned} \quad (6)$$

Для визначення ξ методом послідовних наближень коефіцієнти D_1 і D_2 беруться із довідникової літератури, а c_1^x і c_2^x з ізотермічного зрізу за діаграмами стану «залізо-домішковий елемент». Таким чином, використовуючи сучасну обчислювальну техніку можна розрахувати глибину рафінованого шару за рахунок концентраційного виходу на поверхню зразка кожного домішкового елементу в сталі.

Висновки

Отже, використовуючи експериментальні результати інших дослідників, можна оцінити глибину рафінованого шару сталі та підібрати оптимальний режим теплової обробки. Така якісна оцінка позбавить необхідності проводити для кожної марки сталі експериментальні дослідження.

Петрик І.Я. – к.т.н., доцент;

Лобурак В.Я. – інженер;

Дидин Н.І. – інженер;

Перкатюк І.Й. – к.ф.-м.н., доцент.

- [1] L.G. Voroshnin, M.M. Abacharaev, B.M. Husid. Kavitationnostojkie pokrytija na zhelezouglerodistyh splavov (Nauka i tehnika, Minsk, 1986).
- [2] G.N. Dubinin. Diffuzionnoe hromirovanie splavov (Mashinostroenie, Moskva, 1964).
- [3] N.I. Dydyn, V.F. Shatins'kij. Problemy prochnosti 12, 75 (1976).
- [4] S.D. Gercriken, I.Ja. Dektjar. Diffuzija v metalah i splavah v tverdoj faze (Fizmatgiz, Moskva, 1960).

I.Ya. Petryk¹, V.Ya. Loburak¹, M.I. Dydyn², I.Yo. Perkatyuk³

Kinetics of Formation of Diffusion Coatings on Steel 50 and 12H18N10T with the Previous Decarbonization of the Surface

¹*Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas, Carpathian, 15 St. Ivano-Frankivsk, 76019, Ukraine*

²*Uzhhorod National University, Pidgirma, 46 St., Uzhgorod, 88000, Ukraine*

³*'Vasyl Stefanyk' Precarpathian National University, Shevchenko, 57 St., Ivano-Frankivsk, 76025, Ukraine*

We compared process decarbonization Steels 50 and 12X18H10T by annealing in hydrogen atmosphere and the diffusion of the iron with the mix powder. We proposed the mathematical model of kinetics of formation of diffusion coatings, using the concentration of impurity elements in steel.