

3. Яценко А.И., Хрычиков В.Е., Хохлова Т.С. Кристаллизация и первичная структура конструкционных сталей . – Днепропетровск: Журфонд, 2010. – 226 с.

Одержано 04.06.14

В. И. Мазур, П. И. Лобода

Особенности микроскопической кинетики перитектического превращения в Fe – C сплавах

Резюме

Рассмотрена микроскопическая кинетика перитектического превращения в стали. Показана возможность прогнозирования появления трещин в ходе кристаллизации стали. Предложен метод борьбы с перитектическими трещинами в стальном слитке.

V. I. Mazur, P. I. Loboda

Features of peritectic transformation microscopic kinetics in Fe – C alloys

Summary

The microscopic kinetics of peritectic transformation in the steel has been studied. The efficiency of the analysis for prediction of peritectic cracks appearance during the steel crystallization has been shown. The method of dealing with peritectic cracks in steel ingot has been proposed.

УДК 669.141.25:669.112.227

Перерозподіл азоту та ванадію при аустенізації сталі з нітридним зміцненням для залізничних коліс

С. Я. Шипицин, доктор технічних наук
Т. В. Степанова, Н. Я. Золотар
І. Є. Лев*, доктор технічних наук, професор
Л. Є. Ісаєва*, кандидат хімічних наук

Фізико-технологічний інститут металів та сплавів НАН України, Київ
*Національна металургійна академія України, Дніпропетровськ

Досліджено перерозподіл азоту та ванадію при аустенізації та визначено їх оптимальний вміст в колісній сталі з дисперсійним нітридним зміцненням та оптимальні температури її аустенізації.

Метою дослідження фазового перерозподілу азоту та ванадію при аустенізації колісної сталі є визначення оптимального вмісту в сталі

Фазові перетворення

азоту та ванадію і температури аустенізації, які забезпечують диспергування та стабілізацію аустенітного зерна при мінімальному підвищенні в промислових умовах температури аустенізації і забезпеченні необхідної кількості частинок нітриду ванадію при аустенізації, які не розчиняються і блокуюють зростання аустенітного зерна. За даними попередніх досліджень [1] ця кількість складає близько 10 – 15 % (по масі) від залишкової кількості азоту та ванадію в нітридній фазі при температурі аустенізації, яка визначається за допомогою діаграми розчинності фаз, графічна інтерпретація якої наведена в роботі [2].

Експериментально визначили вплив кількості в колісній сталі азоту та ванадію на інтенсивність зростання аустенітного зерна в залежності від температури аустенізації. Дані наведені на рис. 1.

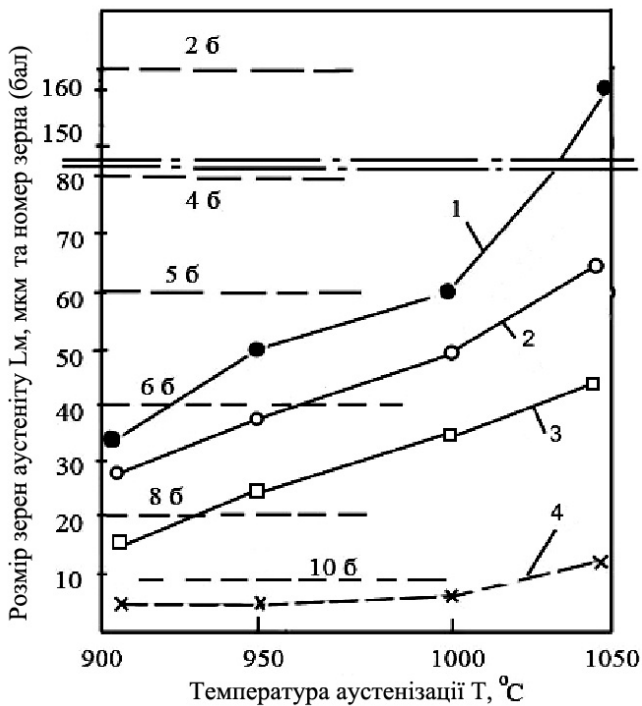


Рис. 1. Залежність розміру зерна аустеніту за довжиною голок мартенситу L_m та номеру зерна (бал) за ГОСТ 5639-82 від температури аустенізації колісної сталі. 1 – стандартна сталь марки 60СГФ, $N \cdot V = 0,00054$, 2 – 4 сталі з нітридованадієвим зміцненням: 2 – $N \cdot V = 0,00132$, 3 – $N \cdot V = 0,00210$, 4 – $N \cdot V = 0,00462$.

Відповідно цим даним формування високодисперсного аустенітного зерна на рівні номерів 10 – 11 балу за ГОСТ 5639-82 (що гарантує високий рівень фізико-механічних та експлуатаційних властивостей сталі) досягається при вмісті в сталі азоту та ванадію, величина добутку яких дорівнює близько $N \cdot V$ (по масі, %) = 0,004.

Для дослідження фазового перерозподілу азоту та ванадію при аустенізації методом хімічного фазового аналізу виготовлені зразки із сталі

Фазові перетворення

60СГАФ з хімічним складом (по масі, %): 0,59 С, 0,46 Si, 1,20 Mn, 0,42 Cr, N · V = 0,0041, 0,014 Al.

Вміст ванадію та азоту в хімічних та електролітичних осадах
(нітридна фаза) та в твердому розчині ([N], [V]) сталі 60СГАФ
(N · V по масі, % 0,00429) після аустенізації

Температура аустенізації			Масова частка елементів, %				[N]·[V]	lg[N]·[V]
			в осадах		у твердому розчині			
°C	K	1/T, K	V	N	[V]	[N]		
850	1123	$8,900 \cdot 10^{-4}$	0,0190	0,0080	0,1760	0,0130	0,00229	-2,6405
900	1173	$8,530 \cdot 10^{-4}$	0,0002	0,0002	0,1948	0,0175	0,00339	-2,4700
950	1223	$8,177 \cdot 10^{-4}$	0	<0,0001	0,1950	0,0209	0,00408	-2,3898
1000	1273	$7,980 \cdot 10^{-4}$	0	<0,0001	0,1950	0,0209	0,00408	-2,3898

В таблиці наведені експериментальні дані хімічного фазового аналізу дослідної сталі після аустенізуючого нагріву в діапазоні температур від 850 °С, яка близька до стандартної у промислових умовах, до 1000 °С.

Рівноважні температура повного розчинення і початок виділення фази VN та фазовий склад за кількістю розподілу елементів, які утворюють фазу, у фазі VN та в твердому розчині [V], [N] при температурах, які нижче температури повного розчинення фази, визначаються за експериментальними даними хімічного фазового аналізу електролітичних чи хімічних осадів. Для визначення кількості і хімічного складу азотовмісних фаз у високовуглецевих сталях з карбонітридним зміцненням застосовували анодний електрохімічний метод розчинення металічної основи зразків з наступним хімічним аналізом виділених включень [3], а також хімічний бромметанольний метод Біглі [4 – 6].

Розрахунок проводиться за формулою:

$$\lg[V][N]=A/T+B; \quad (1)$$

де T – температура, К, А, В – коефіцієнти.

Залежність $\lg[V][N]$ від $1/T$ має лінійний характер (рис. 2), тому коефіцієнти А та В визначаються методом найменших квадратів за формулами:

$$y= A_1x + A_0, \quad (2)$$

$$A_1=(\sum x \cdot y - \sum x \sum y) / n \quad / \quad (\sum x^2 - (\sum x)^2) / n, \quad (3)$$

$$A_0 = (\sum y - \sum x \cdot A_1) / n, \quad (4)$$

$$\varepsilon = (\sum y^2_{\text{експ.}} - \sum y^2_{\text{розрах.}}) / \sum y^2_{\text{експ.}}, \quad (5)$$

де $x = 1/T$, К, $y = \lg[V][N]$, A_1, A_0 – коефіцієнти А та В у формулі (1), ε – похибка експерименту, %.

Розрахунки показали, що для колісної сталі 60СГАФ умови фазового перерозподілу азоту та ванадію в аустеніті при нагріванні під гартування визначаються залежністю:

$$\lg[V][N] = -3766/T + 0,715 \quad (6)$$

при похибці експерименту $\varepsilon = 0,012\%$.

Розрахунок за формулою (6) показує, що рівноважна температура повного розчинення частинок VN в аустеніті складає 942 °С (1214 К), що майже співпадає з експериментальними даними в таблиці та на рис. 2.

Це доводить, що вираз (6) дає можливість достовірного визначення оптимальної температури аустенізації сталі, яка забезпечить кількість стабілізуючих γ -зерно частинок нітриду ванадію на рівні 10 – 15 %.

Розрахунок показує, що в сталі 60СГАФ кількість частинок VN при аустенізації на рівні 15 % повинна складати 0,01462 по масі, %, що відповідає температурі аустенізації 904 °С (1177 К), тобто на 38 °С нижче рівноважної температури повного розчинення частинок нітриду ванадію.

У промислових умовах стабільність дисперсійного нітридного зміцнення буде визначатись, головним чином, розміром коливання вмісту в сталі ванадію і азоту, тобто його впливу на рівноважну температуру повного розчинення нітридів ванадію і оптимальну температуру аустенізації.

Відповідно ДСТУ ГОСТ 10791:2006 в колісній сталі електро- та конверторного виплавлення вміст ванадію складає 0,08 – 0,15 %, тобто $0,115 \pm 0,035$ %. Вміст домішкового азоту при цих методах виплавлення сталі становить $\pm 0,0005$ %.

При застосуванні литих азотованих феросплавів на основі ферохрому та марганцю коливання вмісту введеного в розплав азоту також не перевищуватиме $\pm 0,0005$ % [1].

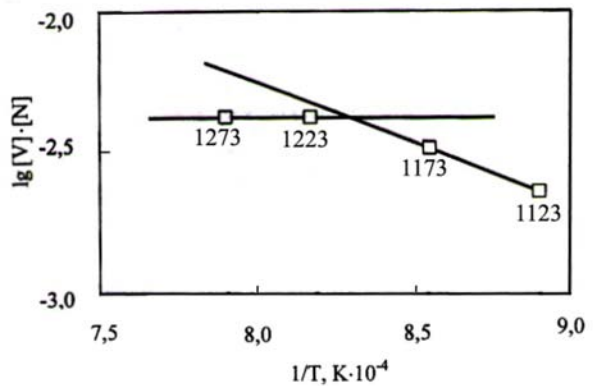


Рис. 2. Залежність $\lg [V][N]$ від $1/T$ для колісної сталі 60СГАФ за даними хімічного фазового аналізу. Цифри біля експериментальних точок – температури (Т, К) ізотермічних витримок зразків при хімічному фазовому аналізі.

Тобто коливання вмісту загального (домішкового + введеного) азоту не перевищить $\pm 0,001$.

Ще один внесок у нестабільність процесу дисперсійного нітридного зміцнення може додавати точність визначення температури аустенізації в сучасних промислових електричних термічних агрегатах. Похибка визначення і регулювання температури в них складає: до ± 20 °С при застосуванні хромель-алюмінієвих термопар, до ± 16 °С при застосуванні платино-платинородієвих термопар, до ± 12 °С за рахунок реєструвальної та регулювальної апаратури, загальна похибка від ± 28 °С до ± 32 °С.

Із трьох наведених причин можливої високої нестабільності в промислових умовах технології дисперсійного нітридного зміцнення перше місце займає значне коливання вмісту ванадію в сталі.

Так, при максимальному вмісті в сталі 60СГАФ азоту та ванадію $N \cdot V = 0,00506$ % рівноважна температура повного розчинення нітридів ванадію складає 978 °С (1251 К), а при їх мінімальному вмісті: $N \cdot V = 0,00320$ % – складає 900 °С (1173 К).

Тобто існуюче коливання вмісту ванадію і азоту в сталі розширює інтервал рівноважної температури повного розчинення нітридів ванадію: 941 °С (плюс 41 °С і мінус 37 °С).

Зменшення інтервалу вмісту ванадію до $\pm 0,01$ % при збереженні інтервалу вмісту азоту більш, ніж у 2 рази скоротить інтервал реальної рівноважної температури повного розчинення нітридів ванадію і відповідно оптимальної температури аустенізації. Так при інтервалі вмісту ванадію $\pm 0,01$ % в сталі 60СГАФ: при максимальному вмісті ванадію і азоту $N \cdot V = 0,0045$ % рівноважна температура повного розчинення VN складає 957 °С (1230 К), а при їх мінімальному вмісті $N \cdot V = 0,0037$ % – 924 °С (1197 К).

Тобто коливання температури розчинення $t_{\text{розч}}$ складає $VN = 924 - 957$ °С = 941 °С (плюс 16 °С, мінус 17 °С).

Таким чином встановлено, що за умови ефективного диспергування до 10 – 11 номера і стабілізації аустенітного зерна колісної сталі 60СГАФ з дисперсійним нітридним зміцненням вміст нітридоутворюючих елементів повинен складати близько $N \cdot V = 0,004$ %.

Підвищення в порівнянні зі стандартними колісними сталями вмісту ванадію і азоту до $N \cdot V \approx 0,004$ % потребує підвищення на 40 – 60 °С від 860 до 900 – 920 °С температури аустенізації сталі 60СГАФ з нітридним зміцненням. Це пов'язано із необхідністю досягнення необхідного фазового перерозподілу азоту та ванадію при аустенізації, при якому до 0,15 %, нітридів ванадію не розчиняються при аустенізації і гальмують зростання γ -зерна, а залишок азоту та ванадію в твердому розчині в подальшому високому відпуску гартованої чи нормалізованої сталі забезпечує ефективне дисперсійне нітридне зміцнення фериту.

За умови досягнення високої стабільності максимальної ефективності технології дисперсійного нітридного зміцнення колісних сталей в промислових умовах необхідно, по-перше, застосування для легування азотом литих азотованих феросплавів і, по-друге, звуження інтервалу вмісту ванадію в сталях

Фазові перетворення

від $\pm 0,035$ % до $\pm 0,01$ %. При цих умовах коливання рівноважної температури повного розчинення нітридів ванадію і, відповідно, оптимальної температури аустенізації скорочується більш, ніж у два рази.

Література

1. Бабаскин Ю.З., Шипицын С.Я., Кирчу И.Ф. Конструкционные и специальные стали с нитридной фазой. – Киев: Наук. думка, 2005. – 371 с.
2. Гольдштейн М.И., Гервасьев М.А. Растворение карбидных и нитридных фаз в сталях // Изв.вузов. Металлы. – 1979. – № 2. – С.153 – 158.
3. Лев И.Е., Покидышев В.В., Лазарев Б.Г. Анализ азотсодержащих соединений в сплавах железа. – М.: Металлургия, 1997. – 120 с.
4. Beeghly H. Determination of Nonmetallic Compaunds in Metals // Analytical Chemistry. – 1952. – № 11. – P. 1713 – 1721.
5. Bohnstedt U. Brom. Methanol als hifsmittel bei der Oxidisolierung aus Stahlen und Verwandten Legierungen // Zeitschrift fur analitiche Chemie. – 1964. – 199, 2. – P. 109 – 117.
6. Леви Л.И., Борисова О.М., Козлова В.С. О неизвестном типе неметаллических включений в чугуна // Литейн. пр-во. – 1970. – № 9. – С. 19.

Одержано 29.05.14

С. Я. Шипицын, Т. В. Степанова, Н. Я. Золотарь, И. Е. Лев, Л. Е. Исаева

Перераспределение азота и ванадия при аустенизации стали с нитридным упрочнением для железнодорожных колес

Резюме

Исследованием фазового перераспределения азота и ванадия при аустенизации определен их оптимальный состав в колесной стали с дисперсионным нитридным упрочнением и оптимальные температуры ее аустенизации.

S. Ya. Shypytsyn, T. V. Stepanova, N. Ya. Zolotar, I. E. Lev, L. E. Isaeva

Redistribution of nitrogen and vanadium in austenizing nitride strengthened steel for rail wheels

Summary

The study of phase redistribution of nitrogen and vanadium at austenization determine their optimal content in wheel steel with nitride dispersion strengthening and optimal temperature of its austenizing.