

**КИНЕТИКА ВЫДЕЛЕНИЯ КАРБИДНОЙ ФАЗЫ В
ХРОМОНИКЕЛЕВОЙ КОРРОЗИОННОСТОЙКОЙ СТАЛИ 10X13N16B**

Г. В. Снежной*, к. ф-м. н., доц., **В. Г. Мищенко****, д. т. н., проф.,
В. Л. Снежной**, к. ф-м. н., доц.

** Запорожский национальный технический университет*

*** Запорожский национальный университет*

Аустенитные хромоникелевые стали широко применяются в различных отраслях промышленности и давно являются материалом интенсивных исследований. Известно, что прочностные свойства во многом обусловлены присутствием карбидной фазы – цементита Fe_3C . Установлено, что карбиды железа являются ферромагнитными, а все карбиды хрома немагнитными [1, 2]. Процессы, протекающие при выделении и растворении карбидов, имеют большое практическое значение в связи с тем, что они в ряде случаев сильно изменяют свойства сталей при комнатных и высоких температурах и их стойкость против коррозии. Образование карбидов в сталях с 0,004...0,15% С происходит преимущественно по границам аустенитных зерен и сопровождается местным обеднением твердого раствора хромом [3].

Методы прямых структурных исследований (рентгенографические, нейтроннографические, металлографические, электронная микроскопия) не всегда могут успешно применяться, особенно при низких содержаниях феррофаз. В этой связи для изучения закономерностей начальной стадии $\gamma \rightarrow \alpha$ превращения, кинетики выделения низких содержаний ферромагнитных фаз (например Fe_3C) требуются другие более простые и удобные чувствительные методы, способные улавливать незначительные количества и изменения в микроструктуре и фазовом составе материала, совмеща их с другими методами [4]. Одним из таких методов исследования является магнитометрический метод, основанный на резком отличии магнитной восприимчивости феррофазы и парамагнитной матрицы (аустенит), в котором учитывается влияние магнитного момента парамагнитной матрицы на количественный состав феррофазы и $\gamma \rightarrow \alpha$ превращения [5, 6].

В настоящей работе приведены экспериментальные результаты по изучению количественного выделения ферромагнитной карбидной фазы в стабильной стали 10X13N16B после термообработки и выявлению зависимости количества образовавшихся карбидов от атомно-магнитного состояния аустенита.

Экспериментальные исследования и их обсуждение

Сталь 10X13N16B выплавляли в индукционной печи емкость 60 кг и диаметром 60 мм. Послековки в горячем состоянии (1200°C) получили прутки $\varnothing 12$ мм, который прокатали при 1200°C в вытянутую пластину толщиной 3 мм. Затем пластину нагревали до 1200°C, выдерживали 30 мин. и охлаждали в воде. Платину разрезали на 4 части, каждая из которых нагревалась до разных температур (850, 900, 950, 1000°C), выдерживалась 5 мин. и охлаждалась в воде. Из каждой части вдоль прокатки вырезались полоски длиной 50 мм и

шириной 5 мм, которые нагревались до разных температур (440, 475, 510, 545°C), выдерживались 5 мин. и охлаждались в воде. Для магнитометрических исследований из каждой полоски подготавливали образцы в виде прямоугольных параллелепипедов размером ~5x3x2 мм³. Для снятия поверхностных напряжений поверхность шлифовалась и затем электрополировалась. Химический состав стали (мас.%): C-0.108, Cr-13.295, Ni-16.730, Mn-2.004, Mo-0.288, Nb-0.426, Ti-0.200, W-0.050, Al-0.160, Cu-0.250, Co-0.14.

Для определения количества ферромагнитной карбидной фазы P_c в объемных процентах использовали измененную формулу [5]:

$$P_c = \frac{\sigma_m}{\sigma_c} \cdot 100\% = \frac{(\chi - \chi_\infty) \cdot H}{\sigma_c} \cdot 100\%$$

где σ_c – удельная намагниченность насыщения карбидной фазы, $\sigma_c = 9.94 \text{ A} \cdot \text{м}^2/\text{кг}$ [4]; σ_m – ферромагнитная составляющая удельной намагниченности карбидной фазы образца; χ – общая удельная магнитная восприимчивость образца; χ_∞ – результирующая удельная магнитная восприимчивость χ_0 парамагнитного аустенита и парапроцесса χ_p ферромагнитной составляющей карбида образца: $\chi_\infty = \chi_p + \chi_0$; H – напряженность магнитного поля, $H = (1.16 \div 6.17) \cdot 10^5 \text{ A/м}$.

Из экспериментальной зависимости $\chi = f(1/H)$ (рис.1) методом экстраполяции [5] находили значение χ_∞ и по приведенной формуле определяли количество P_c карбидной фазы Fe_3C , выраженное в объемных процентах. Наклон прямых 1 и 2 свидетельствует, что исследуемая карбидная фаза ферромагнитна.

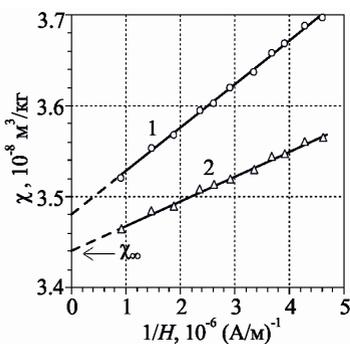


Рис.1. Зависимость удельной магнитной восприимчивости некоторых образцов стали 10X13H16Б от величины обратной напряженности магнитного поля H при различных содержаниях количества P_c карбидной фазы Fe_3C : 1- 0.00482%; 2 – 0.00275%

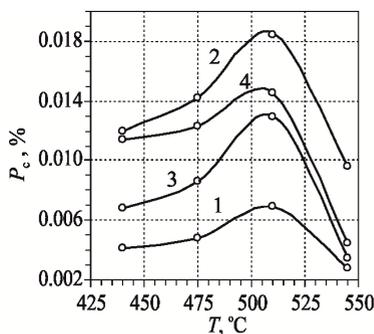


Рис.2. Зависимость количества выделившейся карбидной фазы P_c от температуры отпуска T (440, 475, 510, 545°C) образцов стали 10X13H16Б, предварительно закаленных в воду от температур: 1 – 850, 2 – 900, 3 – 950, 4 – 1000°C

Зависимость возникающего количества карбидной фазы P_c на основе железа от температуры отпуска (440, 475, 510, 545°C) для четырех частей стали, закаленных от 850, 900, 950 и 1000°C, показана на рисунке 2.

Анализ кривых 1...4 (см. рис.2) показывает, что максимальное количество карбидов выделяется во всех образцах при температуре близкой к 510°C. Для кривых 1, 3 и 4 сохраняется общая тенденция роста количества карбидов P_c с повышением температуры закалки исходных образцов от 850, 950, 1000°C. Кривая 2 (закалка от 900°C) должна бы занимать промежуточное положение между кривыми 1 и 3. Такое несоответствие объясняется тем, что исходные образцы после закалки от 900°C (кривая 2) уже содержали карбиды $P_c = 0.020\%$, а исходные образцы после закалки от 850, 950 и 1000°C (кривые 1, 3, 4) не содержали карбидов ($P_c=0$), так как эти образцы были парамагнитными, но с разной удельной магнитной восприимчивостью χ_0 аустенита: после закалок от 850, 950, 1000°C соответственно $\chi_0 = 3.66, 3.71, 3.75 \cdot 10^{-8} \text{ м}^3/\text{кг}$. В исходных образцах с увеличением температуры закалки возрастает скорость диффузии атомов, что приводит после закалки к разным атомно-магнитным состояниям аустенита, т.е. к разным значениям удельной магнитной восприимчивости χ_0 аустенита ($3.66, 3.71, 3.75 \cdot 10^{-8} \text{ м}^3/\text{кг}$ для образцов, закаленных от 850, 950, 1000°C).

Можно предположить, что такое разное атомно-магнитное состояние аустенита обуславливает разное количество образующейся карбидной фазы, т.е. по χ_0 исходных образцов можно прогнозировать количество образовавшейся ферромагнитной карбидной фазы при термообработке. На рисунке 3 показана зависимость содержания образовавшейся ферромагнитной карбидной фазы P_c после термической обработки (510°C) от удельной магнитной восприимчивости χ_0 аустенита исходных образцов после закалок (850, 950, 1000°C).

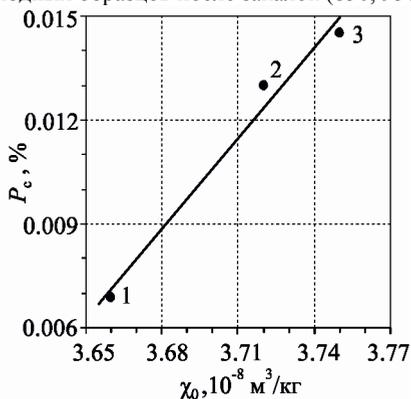


Рис.3. Зависимость количества образовавшейся ферромагнитной карбидной фазы P_c в объемных процентах после отпуска (510°C) от удельной магнитной восприимчивости χ_0 аустенита, предварительно закаленных образцов от температур: 1-850, 2-950, 3-1000°C.

Таким образом, найдена корреляция между количеством выделившейся ферромагнитной карбидной фазы и удельной магнитной восприимчивостью аустенита, которая характеризует атомно-магнитное состояние аустенита. Можно предположить, что такое низкое содержание карбидной фазы не может существенно влиять на свойства аустенитной стали. По-видимому, важную роль играет атомно-магнитное состояние аустенита, а низкое содержание карбидов является мерой (индикатором) свойств аустенитных сталей.

Выводы

1. Предложен чувствительный магнитометрический метод определения количества ферромагнитной карбидной фазы от 0.002% и выше для сталей с аустенитной матрицей.
2. Применение чувствительного магнитометрического метода позволило выявить для стали 10X13N16Б тенденцию увеличения карбидной фазы на основе железа (Fe_3C) после отпуска при 440, 475, 510, 545°C для каждой партии образцов после закалки 850, 950, 1000°C. Максимум выделения карбидной фазы приходится на температуру отпуска $\approx 510^\circ C$.
3. Установлено, что количество образовавшееся ферромагнитной карбидной фазы после термообработки зависит от атомно-магнитного состояния аустенита, которое определяется удельной парамагнитной восприимчивостью.

Список использованных источников

1. Коняева М.А. Электронная структура, магнитные свойства и стабильность бинарных и тройных карбидов $(Fe,Cr)_3$ и $(Fe,Cr)_7C_3$ / М.А.Коняева, Н.И.Медведева // Физика твердого тела. – 2009. - Т51.- № 10. - С.1965-1969.
2. Туманов А.Т. Физические методы исследования металлов / А.Т.Туманов. - М.: Машиностроение. - 1971. - 551с.
3. Химушин Ф.Ф. Нержавеющие стали / Ф.Ф.Химушин. - М.: Металлургия. - 1967. - 798с.
4. Русакова А.В. EBSD-изучение мартенситного превращения в реакторной стали 12X18N10Т, холоднодеформированной и облученной ионами криптона с энергией 1.56 МэВ/нуклон / А.В.Русакова, О.П.Максимкин, М.Н.Гусев // Вестник НЯЦ РК. – 2011.- № 2.- С.144-149.
5. Снежной Г.В. Интегральный физический метод идентификации α -фазы в аустенитных хромоникелевых сталях / Г.В.Снежной, В.Г.Мищенко, В.Л.Снежной //Литье и металлургия.- 2009.- №3(52).- С.241-244.
6. Снежной Г.В. Фазовые превращения в хромоникелевых сталях 18-10 со стабильным и нестабильным аустенитом / Г.В.Снежной, В.Г.Мищенко, В.Л.Снежной // Сб.научных трудов «Стародубовские чтения 2011». Серия «Строительство, материаловедение, машиностроение. - 2011.- С.641-647.