

УДК 621.74

Г.В. СНЕЖНОЙ

Запорожский национальный технический университет, Запорожье, Украина

ИДЕНТИФИКАЦИЯ НИЗКИХ СОДЕРЖАНИЙ ФЕРРИТА И МАРТЕНСИТА В АУСТЕНИТНЫХ ХРОМОНИКЕЛЕВЫХ СТАЛЯХ

Приведены результаты развития начальной стадии $\gamma + \alpha' \rightarrow \gamma$ и $\gamma + \delta + \alpha' \rightarrow \gamma + \delta$ превращений при малых пластических деформациях и термообработке сталей типа 18-10. Получены температурные зависимости магнитной восприимчивости χ разделенных фаз α' -мартенсита и δ -феррита. Предложен магнитометрический метод количественного определения и разделения малых содержаний δ -феррита и α' -мартенсита деформации, присутствующих одновременно в аустенитной матрице. Обнаружен температурный гистерезис кривых χ , вызванный как фазовым превращением, так и изменением магнитного состояния деформированного аустенита.

Ключевые слова: аустенитная хромоникелевая сталь, феррит, мартенсит деформации, магнитная восприимчивость.

Введение

Благодаря служебным и механическим свойствам в различных условиях широко используются в авиационной технике стали типа 18-10. В последнее время при исследовании аустенитных сталей уделяется большое внимание определению низкого содержания α -фазы (0,005...5,0%) в связи с ее влиянием на физико-химические свойства [1, 2].

Поэтому контроль низких содержаний α -фазы имеет большое практическое значение. Особенно значительные трудности возникают тогда, когда в аустенитной матрице одновременно находятся незначительное количество феррита и мартенсита. Положение точки Кюри, в основном, определяется ее химическим составом. Поэтому температура точки Кюри и ее изменение при термообработке и деформации содержит сведения о фазовом составе [3].

В связи с этим целью настоящего исследования явилось количественное разделение малых содержаний δ -феррита (Φ) и α' -мартенсита деформации (M), присутствующих одновременно в аустенитной матрице (A) сталей типа 18-10, а также проследить начальную стадию превращений: $A+M \rightarrow A$, $A+\Phi+M \rightarrow A+\Phi$ при малых пластических деформациях сжатия, получить температурные зависимости магнитной восприимчивости разделенных фаз α' -мартенсита и δ -феррита.

Методика исследования и полученные результаты

Для определения низких содержаний ферромагнитных фаз P_α в сталях использовали магнито-

метрический метод, учитывающий намагниченность парамагнитного аустенита [4].

Объектом исследования служили стали 12X18H9T (0,12% C, 17,854% Cr, 9,42% Ni, 0,252% Ti, 1,316% Mn, 0,250% Si, 0,121% Mo) и 12X18H10T (0,12% C, 18,089% Cr, 10,463% Ni, 0,460% Ti, 1,582% Mn, 0,304% Si, 0,112% Mo). Стали нагревали до 1050°C, выдерживали 30 мин., а затем закаляли в воду. Сталь 12X18H10T становилась полностью аустенизированной – однофазной (A), а 12X18H9 – двухфазной ($A+\Phi$) [6]. Образцы вырезались без перегрева в виде параллелепипедов размером 3x3x3 мм³, поверхность которых затем полировалась абразивной бумагой и электрополировалась.

Относительную одноосную деформацию сжатия определяли по формуле $\varepsilon = (d - d_0) / d_0$, где d_0 и d соответственно толщина образца до и после сжатия. До нагрева определялось количество ферромагнитной фазы в объемных процентах. Затем исследовали зависимости удельной магнитной восприимчивости χ образцов в поле $H = 2,55 \cdot 10^5$ А/м от температуры при нагреве до 850 °C и последующем охлаждении до комнатной температуры. Скорость нагрева и охлаждения 10 град/мин.

Идентификация δ -феррита и α' -мартенсита осуществлялась по точкам Кюри. Для δ -феррита она равна 610°C, а – α' -мартенсита 650°C [3]. Так как мартенсит деформации менее легирован чем δ -феррит, то соответственно имеет точку Кюри при более высокой температуре, т.е. ближе к точке Кюри железа [3].

На рис. 1 – 6 показаны кривые температурного гистерезиса удельной магнитной восприимчивости

χ исследуемых сталей для разных состояний, полученных термообработкой и деформацией.

На рис. 1 показана зависимость χ при нагреве (кривая 1) до 850 °С и охлаждении (кривая 2) до комнатной температуры деформированной ($\varepsilon = 14,88\%$) двухфазной стали (A+M) 12X18H10T.

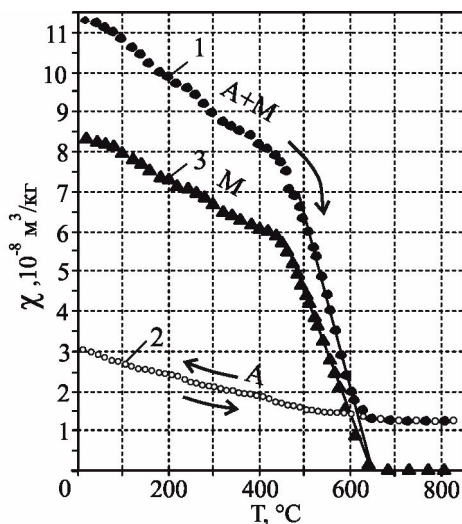


Рис. 1. Температурная зависимость χ деформированной ($\varepsilon=14,88\%$) двухфазной (A+M) стали 12X18H10T: 1 – нагрев, исходное $P_{\alpha'} = 0,143\%$; 2 – охлаждение, конечное $P_{\alpha'} = 0$, парамагнитное состояние аустенита (A); 3 – для мартенсита деформации (M) $P_{\alpha'} = 0,143\%$ после вычета кривой 2 из 1

В области 400...850 °С в стали происходит одновременно фазовые превращения 1-го рода ($\alpha' \rightarrow \gamma$) и второго рода (ферромагнетик $\rightarrow$ парамагнетик). Сталь 12X18H10T после закалки в воду с 1050 °С не содержала δ -феррит $P_{\delta} = 0$ [5], а после деформации $\varepsilon = 14,88\%$ стала двухфазной (A+M), содержащая до нагрева исходное количество мартенсита $P_{\alpha'} = 0,143\%$, а после охлаждения (кривая 2) $P_{\alpha'} = 0$, т.е. получили парамагнитное аустенитное состояние (A). Если вычесть из 1 кривую 2, получим кривую 3 для мартенсита деформации $P_{\alpha'} = 0,143\%$. Экстраполируя прямые участки кривых 1, 3 на ось температуры, определяем точку Кюри 650 °С, что подтверждает присутствие мартенсита деформации. Как видим, удалось идентифицировать первые порции зарождающегося мартенсита деформации.

Аналогичные исследования представлены на рис. 2, но только для δ -феррита. В этом случае рассматривается сталь 12X18H9T, которую не удалось полностью аустенизировать [5]. В исходном до нагреве и конечном после охлаждении недеформированном ($\varepsilon = 0$) двухфазном состоянии (A+Ф) коли-

чество δ -феррита $P_{\delta} = 0,027\%$ не изменилось (кривая 1, рис. 2). Если вычесть из кривой 1 кривую 2 (заимствована из рис. 1), получим температурную зависимость χ для δ -феррита $P_{\delta} = 0,027\%$ с точкой Кюри 600 °С. Следовательно, по зависимости $\chi = f(T)$ идентифицировано низкое содержание δ -феррита в стали 12X18H9T.

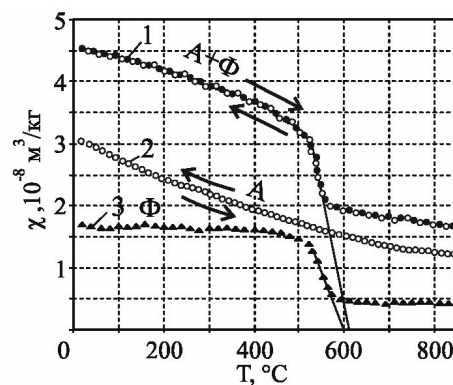


Рис. 2. Температурная зависимость χ недеформированной ($\varepsilon=0$) двухфазной (A+Ф) стали 12X18H9T: 1 – нагрев (исходное $P_{\delta} = 0,027\%$) и обратное охлаждение (конечное $P_{\delta} = 0,027\%$); кривая 2 заимствована из рис. 1; 3 – для δ -феррита (Ф) $P_{\delta} = 0,027\%$ после вычета кривой 2 из кривой 1

Теперь рассмотрим возможность идентификации мартенсита деформации в трехфазном (A+Ф+M) состоянии стали 12X18H9T (рис. 3). Эта сталь в недеформированном состоянии ($\varepsilon = 0$) содержала количество δ -феррита $P_{\delta} = 0,106\%$. Деформация ($\varepsilon = 6,9\%$) привела к увеличению не только α' -мартенсита, но и δ -феррита [6]. Количество δ -феррита и α' -мартенсита до нагрева составило $P_{\delta+\alpha'} = 1,687\%$. После нагрева (кривая 1) и охлаждения (кривая 2) $P_{\delta} = 0,204\%$ не совпадает с исходным $P_{\delta} = 0,106\%$ для недеформированной стали, т.к. деформация $\varepsilon = 6,9\%$ привела к росту δ -феррита [6]. Если вычесть из кривой 1 кривую 2, получим кривую 3 для α' -мартенсита деформации $P_{\alpha'} = 1,483\%$ с точкой Кюри 650 °С. На рис. 4 представлена та же зависимость $\chi = f(T)$, что и на рис. 3, но для большей деформации $\varepsilon = 10,25\%$, по которой можно идентифицировать мартенсит деформации в трехфазном (A+Ф+M) состоянии стали 12X18H10T.

Так как удельная магнитная восприимчивость деформированного парамагнитного аустенита стали 12X18H10T возрастает от 2,8 до $3,05 \cdot 10^{-8} \text{ м}^3/\text{кг}$ [5], то возникает необходимость хотя бы приближенно проследить такое изменение для стали 12X18H9T.

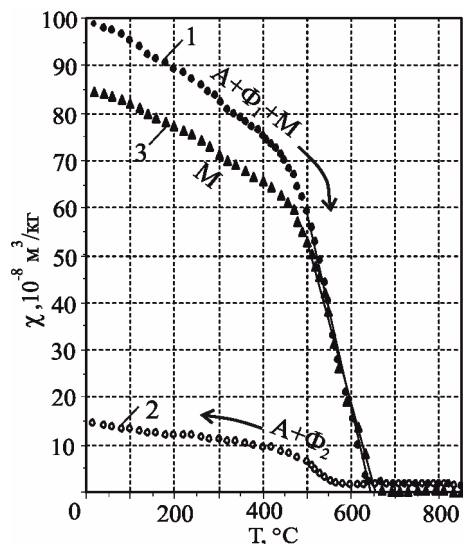


Рис. 3. Температурная зависимость χ деформированной ($\varepsilon = 6,9\%$) трехфазной (A+Φ+M) стали 12X18H9T: 1 – нагрев (исходное $P_{\delta+\alpha'} = 1,687\%$); 2 – охлаждение, двухфазное состояние (A+Φ), конечное $P_{\delta} = 0,204\%$; 3 – для мартенсита деформации (M) $P_{\alpha'} = 1,483\%$ после вычета кривой 2 из кривой 1

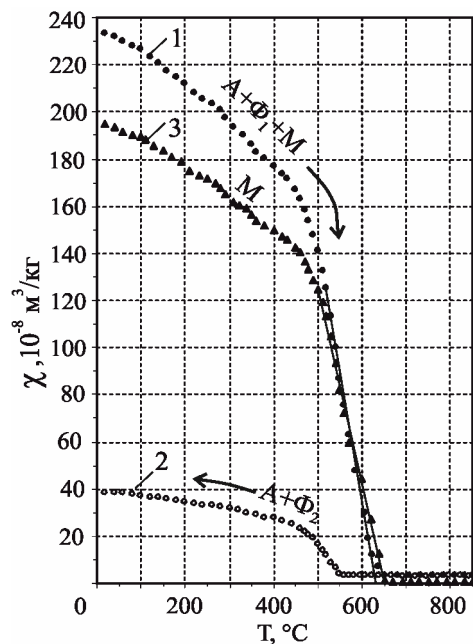


Рис. 4. Температурная зависимость χ деформированной ($\varepsilon = 10,25\%$) трехфазной (A+Φ+M) стали 12X18H9T: 1 – нагрев (исходное $P_{\delta+\alpha'} = 4,06\%$); 2 – охлаждение, двухфазное состояние (A+Φ), конечное $P_{\delta} = 0,564\%$; 3 – для мартенсита деформации (M) $P_{\alpha'} = 3,386\%$ после вычета кривой 2 из кривой 1

На рис. 5 и 6 показана зависимость χ двухфазной (A+Φ) стали соответственно после деформации

$\varepsilon = 1,8\%$ и $\varepsilon = 2,2\%$. Незначительный (рис. 5) и достаточно заметный (рис. 6) температурный гистерезис кривых нагрева и охлаждения вызван как $\Phi \rightarrow A$ превращением, так и изменением χ деформированного (до нагрева) и возвратившегося в недеформированное состояние аустенита после нагрева и охлаждения.

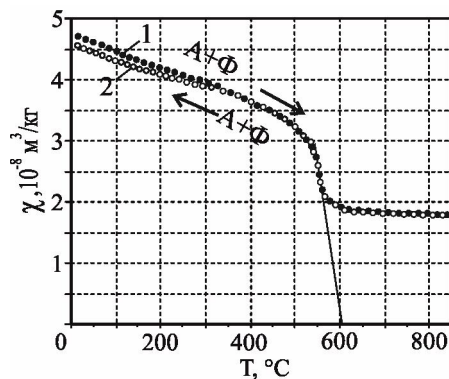


Рис. 5. Температурная зависимость χ деформированной ($\varepsilon = 1,8\%$) до возникновения α' двухфазной (A+Φ) стали 12X18H9T: 1 – нагрев (исходное $P_{\delta} = 0,029\%$); 2 – охлаждение, конечное $P_{\delta} = 0,027\%$

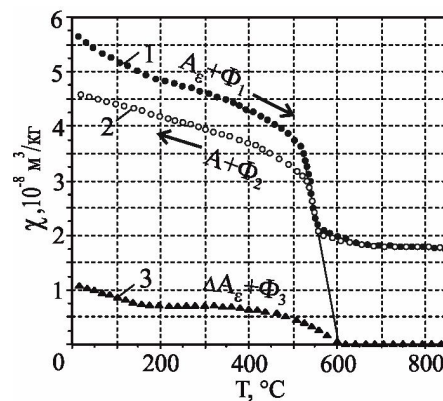


Рис. 6. Температурная зависимость χ деформированной до возникновения α' ($\varepsilon = 2,2\%$) двухфазной (A+Φ) стали 12X18H9T: 1 – нагрев (исходное $P_{\delta_1} = 0,037\%$); 2 – охлаждение, конечное $P_{\delta_2} = 0,021\%$; кривая 3 – после вычета кривой 2 из кривой 1 ($P_{\delta_3} = 0,016\%$, $\Delta A = A_{\varepsilon} - A$ – разность удельных магнитных восприимчивостей деформированного и недеформированного аустенита)

Таким образом, если вычесть из кривой 1 кривую 2, то получим кривую 3 (рис. 6), описывающую температурную зависимость результирующей удельной магнитной восприимчивости оставшегося δ -феррита (Φ_3) и разницы удельных магнитных восприимчивостей деформированного и недеформированного аустенита ΔA_{ε} .

Выводы

Предложен магнитометрический метод количественного определения и разделения малых содержаний δ -феррита (Φ) и α' -мартенсита деформации (М), присутствующих одновременно в аустенитной матрице хромоникелевых сталей типа 18-10.

Литература

1. Применение магнитных методов для исследования эволюции структуры в аустенитных нержавеющей сталях после длительной эксплуатации энергоблоков на АЭС / В.М. Ажажа, В.А. Десненко, Л.С. Ожигов, Ж.С. Ажажа, И.В. Свечкарев, А.В. Федорченко // *Вопросы атомной науки и техники*. – 2009. – № 4 (2). – С. 241-246.

2. Максимкин О.П. Параметры образования мартенситной α' -фазы при деформации нержавеющей сталей, облученных в реакторах АХ ВВРр-К

и БН-350 / О.П. Максимкин, Н.Н. Гусев, И.С. Осипов // *Вестник НЯЦ РК*. – 2007. – Вып. 3. – С. 12-17.

3. Энтин С.Д. Анализ фазовых превращений по магнитной восприимчивости / С.Д. Энтин, А.В. Бариленко // *Тр. ЦНИИТМАШ*. – 1964. – № 41. – С. 67-72.

4. 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.

5. 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. науч. тр. Стародубовские чтения 2011. Серия «Строительство, материаловедение, машиностроение»*. – Днепропетровск: ПГАСА, 2011. – С. 641-647.

6. Снежной Г.В. Определение деформационной мартенситной точки ε_s в хромоникелевых сталях аустенитного класса / Г.В. Снежной // *Вестник двигателестроения*. – 2011. – № 1. – С. 158-162.

Поступила в редакцию 27.05.2011

Рецензент: д-р физ.-мат. наук, проф. В.В. Погосов, Запорожский национальный технический университет, Запорожье, Украина.

ІДЕНТИФІКАЦІЯ НИЗЬКОГО ВМІСТУ ФЕРИТУ І МАРТЕНСИТУ В АУСТЕНІТНИХ ХРОМОНІКЕЛЕВИХ СТАЛЯХ

Г.В. Сніжної

Наведено результати розвитку початкової стадії $\gamma + \alpha' \rightarrow \gamma$ і $\gamma + \delta + \alpha' \rightarrow \gamma + \delta$ при малих пластичних деформаціях і термообробки сталей типу 18-10. Отримано температурні залежності магнітної сприйнятливості χ розділених фаз α' -мартенситу і δ -фериту. Запропоновано магнітометричний метод кількісного визначення та поділу малих змістів δ -фериту і α' -мартенситу деформації, присутніх одночасно в аустенітній матриці. Виявлено температурний гістерезис кривих χ , викликаний як фазовим перетворенням, так і зміною магнітного стану деформованого аустеніту.

Ключові слова: аустенітна хромонікелева сталь, ферит, мартенсит деформації, магнітна сприйнятливості.

IDENTIFICATION OF THE LOW CONTENT OF FERRITE AND MARTENSITE IN AUSTENITIC CHROMIUM-NICKEL STEELS

G.V. Snezhnoi

The results of the initial stage $\gamma + \alpha' \rightarrow \gamma$ and $\gamma + \delta + \alpha' \rightarrow \gamma + \delta$ transitions at small plastic deformation and heat treatment of steels 18-10 shows. The temperature dependence of magnetic susceptibility χ of a separation of phases α' -martensite and δ -ferrite obtained. Magnetometer method for quantitative determination and separation of small amounts of δ -ferrite and α' -martensite strain present simultaneously in the austenitic matrix proposed. The temperature hysteresis curves of χ , caused a phase transformation, and changes the magnetic state of the deformed austenite were found.

Key words: austenitic chrome-nickel steel, ferrite, martensite deformation, magnetic susceptibility.

Снежной Геннадий Валентинович – канд. физ.-мат. наук, доцент, Запорожский национальный технический университет, Запорожье, Украина, e-mail: snow@zntu.edu.ua.