

УДК 544.22:539.89

ВЛИЯНИЕ СКОРОСТИ КРУЧЕНИЯ В УСЛОВИЯХ ИНТЕНСИВНОЙ ПЛАСТИЧЕСКОЙ ДЕФОРМАЦИИ НА НАКОВАЛЬНЯХ БРИДЖМЕНА НА СТРУКТУРНО-ФАЗОВЫЕ ПРЕВРАЩЕНИЯ В МЕТАСТАБИЛЬНОЙ АУСТЕНИТНОЙ СТАЛИ

© И.Ю. Литовченко, А.Н. Тюменцев, А.В. Корзников, С.А. Аккузин

Ключевые слова: аустенитные стали; пластическая деформация; мартенситные превращения.

Исследовано влияние скорости кручения под давлением на наковальнях Бриджмена на фазовые превращения в метастабильной аустенитной стали. Показано, что при повышенной скорости кручения в материале реализуются не только прямые ($\gamma \rightarrow \alpha'$), но и обратные ($\alpha' \rightarrow \gamma$) мартенситные превращения.

Известно, что пластическая деформация метастабильных аустенитных сталей приводит к ($\gamma \rightarrow \alpha'$), ($\gamma \rightarrow \epsilon$) и ($\gamma \rightarrow \epsilon \rightarrow \alpha'$) мартенситным превращениям [1]. Они во многом определяют особенности дефектной структуры и фазового состава сталей.

В [2, 3] показано, что в условиях интенсивной пластической деформации (ИПД) кручением под давлением метастабильных аустенитных сталей возможны не только прямые ($\gamma \rightarrow \alpha'$), но и обратные ($\alpha' \rightarrow \gamma$) мартенситные превращения. При этом скорость кручения оказывает существенное влияние на фазовые превращения, в т. ч. за счет повышения температуры в процессе деформации [2].

В настоящей работе исследованы особенности дефектной структуры метастабильной аустенитной стали при различных скоростях кручения в наковальнях Бриджмена. Для экспериментального подтверждения реализации обратных мартенситных превращений изучено изменение объемной доли α' -мартенсита от степени деформации кручением. Исследованы особенности дефектной структуры и разориентации кристаллической решетки при формировании двухфазных СМК и НК структурных состояний.

Кручению подвергали метастабильную аустенитную сталь Fe – 18 % Cr – 8 % Ni – Ti, в полностью аустенитном состоянии, полученном после закалки. Деформацию осуществляли под давлением 8 ГПа при числе оборотов наковальни от 1 до 8, что соответствует истинной логарифмической деформации $e = 2,5\text{--}6,9$. Скорость кручения 200 град/мин. и 915 град/мин.

Электронно-микроскопические исследования проведены на микроскопе Philips CM-12 при ускоряющем напряжении 120 кВ. Изменение фазового состава исследовали методом рентгеноструктурного фазового анализа на диффрактометре Shimadzu XRD-6000 с использованием $\text{Cu } K_{\alpha}$ излучения в геометрии Брегга-Брентано с фокусирующим монохроматором на вторичном пучке. Расчет объемной доли фаз проводили в программе POWDER CELL 2.4 с учетом текстуры фаз,

формирующейся в процессе деформации. Для определения объемного содержания магнитной (мартенситной) фазы использовали метод измерения удельной намагниченности в зависимости от напряженности магнитного поля.

Результаты структурных исследований свидетельствуют о реализации ($\gamma \rightarrow \alpha'$) фазовых превращений и формировании структурно-фазовых неоднородностей на мезо- и микромасштабных уровнях. Наблюдаются преимущественно аустенитные, мартенситные и двухфазные области. При этом различия в структурно-фазовом состоянии связаны с локальными вариациями в объемном содержании α' -мартенсита. Рентгеноструктурный анализ не обнаруживает ϵ -мартенсита, однако электронно-микроскопические исследования показали наличие небольшого количества этой фазы в виде тонких пластинок.

На рис. 1 представлены графики зависимости объемного содержания α' -мартенсита от степени деформации кручением, полученные методом рентгеноструктурного анализа и измерений удельной намагниченности. В случае малой скорости кручения (200 град/мин.) объемное содержание мартенсита монотонно возрастает с увеличением степени деформации и достигает ~80 % при $N = 8$. В случае повышенной скорости кручения (915 град/мин.) содержание мартенсита сначала возрастает до ~50 %, с последующим снижением до ~25 %. Снижение объемного содержания мартенсита предполагает, что в процессе деформации реализуются не только прямые ($\gamma \rightarrow \alpha'$), но и обратные ($\alpha' \rightarrow \gamma$) мартенситные превращения. Электронно-микроскопические исследования показали, что на начальных стадиях деформации кручением в аустенитной структуре развивается интенсивное механическое двойникование по одной или более системам с формированием ламельных микродвойниковых структур. В этих структурах зарождаются и растут кристаллы α' -мартенсита. С увеличением степени деформации формируется структура, состоящая из фрагментов аустенита и мартенсита СМК и НК масштаба.

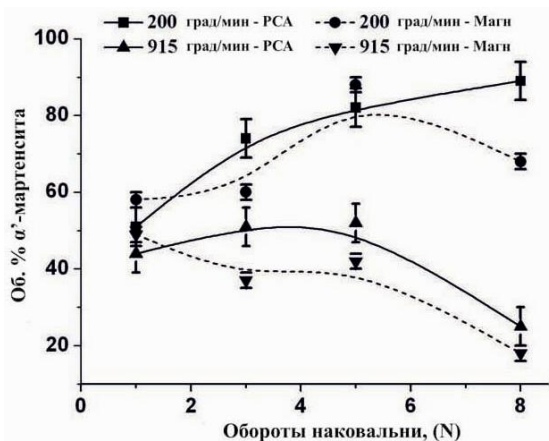


Рис. 1. Зависимость объемного содержания мартенсита от числа оборотов наковальни в процессе кручения под давлением

Структурное состояние и объемное содержание мартенсита после 8 оборотов деформации кручением для двух изученных скоростей деформации существенно различается. Для малой скорости деформации (200 град/мин.) характерно наличие преимущественно ламельной структуры α' -мартенсита (рис. 2), внутри которой часто наблюдаются тонкие (нано)пластинки деформационного ε -мартенсита.

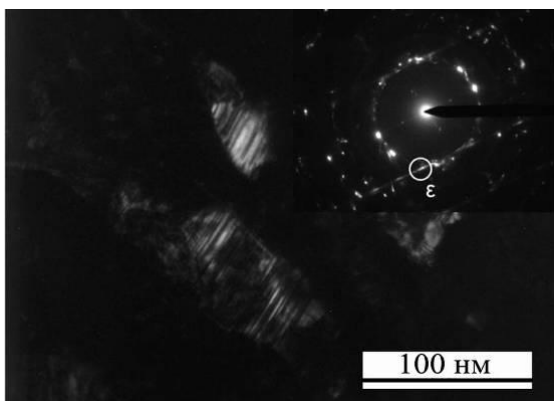


Рис. 2. Темнопольное изображение совместно в рефлексах α' и ε мартенсита и соответствующая микродифракционная картина

Для повышенной (915 град/мин.) скорости кручения характерно наличие преимущественно фрагментированной аустенитной структуры (рис. 3). Среди фрагментов аустенита наблюдается значительное количество высокоугловых разориентировок, близких к $\approx(50-60)^\circ \langle 110 \rangle$. В [4] показано, что разориентировки такого типа могут быть получены в результате прямых и обратных ($\gamma \rightarrow \alpha' \rightarrow \gamma$) мартенситных превращений с осуществлением обратных превращений по альтернативным системам. Существенной особенностью рассматриваемого структурного состояния являются области динамической рекристаллизации аустенита. Предполагается, что динамическая рекристаллизация может происходить в процессе обратного $\alpha' \rightarrow \gamma$ мартенситного превращения.

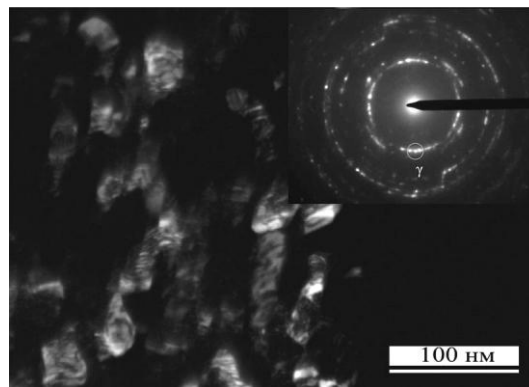


Рис. 3. Темнопольное изображение в рефлексах аустенита и соответствующая микродифракционная картина

Таким образом, повышенная скорость кручения сдерживает прямое ($\gamma \rightarrow \alpha'$) превращение и способствует обратному ($\alpha' \rightarrow \gamma$) превращению. По нашему мнению, основным фактором реализации обратных превращений являются поля высоких локальных напряжений и их градиенты, формирующиеся в процессе кручения под давлением в СМК и НК мартенситной структуре. Повышение температуры и высокое гидростатическое давление в процессе деформации являются факторами, способствующими обратному превращению мартенсита в аустенит.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Lecroisey F., Pineau A.* Martensitic transformations induced by plastic deformation in the Fe-Ni-Cr-C system // *Metall. Trans.* 1972. V. 3. P. 387-396.
2. *Li J.G., Umemoto M., Todaka Y., Fujisaku K. and Tsuchiya K.* The dynamic phase transformation and formation of nanocrystalline structure in SUS304 austenitic stainless steel subjected to high pressure torsion // *Rev. Adv. Mater. Sci.* 2008. V. 18. P. 577-582.
3. *Litovchenko I.Yu., Tyumentsev A.N., Zahozheva M.I. and Korznikov A.V.* Direct and reverse martensitic transformation and formation of nanostructured states during severe plastic deformation of metastable austenitic stainless steel // *Rev. Adv. Mater. Sci.* 2012. V. 31. P. 47-53.
4. *Тюменцев А.Н., Литовченко И.Ю., Пинжун Ю.П., Коротаев А.Д., Сурикова Н.С., Гирсова С.Л., Нестеренков В.А.* Новый механизм локализации деформации в аустенитных сталях. I, II // *ФММ.* 2003. Т. 95. № 2. С. 86-95; № 3. С. 88-96.

БЛАГОДАРНОСТИ: Исследования проведены с использованием оборудования Томского материаловедческого центра коллективного пользования (ТМЦКП) Национального исследовательского Томского государственного университета.

Поступила в редакцию 10 апреля 2013 г.

Litovchenko I.Y., Tyumentsev A.N., Korznikov A.V., Akkuzin S.A. INFLUENCE OF RATE OF LOADING UNDER SEVERE PLASTIC DEFORMATION IN BRIDGMAN ANVILS ON STRUCTURAL-PHASE TRANSFORMATIONS OF METASTABLE AUSTENITIC STEEL

The influence of the rate of high pressure torsion loading in Bridgman anvils on phase transformations in meta-stable austenitic steel is investigated. It is shown that high speed of loading leads to not only the direct ($\gamma \rightarrow \alpha'$), but also reverse ($\alpha' \rightarrow \gamma$) martensitic transformation.

Key words: austenitic steels; plastic deformation; martensitic transformation.