УДК 669.1.017: 669-15

С. А. Аккузин
Научный исследовательский Томский государственный университет,
г. Томск
s.a.akkuzin@gmail.ru
Научный руководитель – доц., канд. физ.-мат. наук *И. Ю. Литовченко*

МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА МЕТАСТАБИЛЬНОЙ АУСТЕНИТНОЙ СТАЛИ ПОСЛЕ ТЕРМОМЕХАНИЧЕСКИХ ОБРАБОТОК

АННОТАЦИЯ

Исследованы особенности структурных состояний и механических свойств метастабильной аустенитной стали после термомеханических обработок, включающих низкотемпературную, комнатную и теплую деформации, а также последующих отжигов. Показано, что в этих условиях в стали реализуются прямые (γ→α′) и обратные (α′→γ) мартенситные превращения и формируются субмикрокристаллические структурные состояния. Предложенные варианты термомеханических обработок позволяют повысить прочностные свойства стали в субмикрокристаллическом состоянии более чем в 4–6 раз относительно исходных значений.

Ключевые слова: метастабильная аустенитная сталь, деформация, мартенситное превращение.

ABSTRACT

The features of structural states and mechanical properties of metastable austenitic steel after thermomechanical treatments, including low-, ambient and warm-temperatures deformations and subsequent annealing are investigated. It is shown that under these conditions the direct (γ → α′) and reverse (α′ → γ) martensitic transformations are realized and submicrocrystalline structural states are formed. The proposed thermomechanical treatments allow increasing the strength properties of the steel in the submicrocrystalline state more than 4 - 6 times the original values.

Key words: metastable austenitic steel, deformation, martensitic transformation.

В метастабильных аустенитных сталях субмикрокристаллические состояния могут быть сформированы с использованием прямых (γ → α′) мартенситных превращений при охлаждении и (или) пластической деформации, и последующих обратных (α′ → γ) превращений при нагреве [1–2]. Известно, что деформация при повышенных температурах способствует обратному превращению мартенсита в аустенит [3–4].

© Аккузин С. А., 2015

В настоящей работе исследована хромоникелевая метастабильная аустенитная сталь Fe–18%Cr–10%Ni–Ti (Fe-18.02%Cr-9.77%Ni-1.4%Mn-0.59%Ti) после низкотемпературной, комнатной и теплой деформаций, а также последующих отжигов. Перед деформацией образцы закаливали в воду после выдержки 1100 °С 1 час. В исходном состоянии объемное содержание аустенита составляло ~ 100 %, средний размер зерна ~ 40 мкм. Начальный размер образцов ~ 30×20×12 мм. В отличие от методов интенсивной пластической деформации, использованы относительно малые степени деформации прокаткой ($e < 1$, e – истинная логарифмическая деформация).

Низкотемпературную деформацию осуществляли прокаткой $\varepsilon \approx 10–20$ % при температуре жидкого азота за несколько проходов. Перед помещением в прокатный стан и между проходами образцы выдерживали в жидком азоте. Деформацию при комнатной температуре проводили за несколько проходов с общей степенью $\varepsilon \approx 45$ %. Теплую деформацию $\varepsilon \approx 25–40$ % осуществляли в интервале температур Т = 400–600 °С. После выхода из прокатного стана образцы закаливали в воду. Последующие отжиги выполняли в интервале температур Т = 600–800 °С длительностью от 200 секунд до 1 часа.

Электронно-микроскопические исследования проводили на просвечивающем электронном микроскопе Philips CM-12 при ускоряющем напряжении 120 kV. Изменение фазового состава исследовали на рентгеновском дифрактометре Shimadzu XRD - 6000. Для определения объемного содержания магнитной фазы использован метод измерения удельной намагниченности в зависимости от напряженности магнитного поля на приборе Магнитометр Н-04.

Механические испытания осуществляли методом активного растяжения на универсальной вакуумной испытательной машине типа Поляни с подвижным нижним захватом при комнатной температуре со скоростью деформации $\varepsilon \approx 2 \cdot 10^{-3}$ $с^{-1}$ с использованием образцов в форме двойных лопаток с размерами рабочей части 13×2×1 мм.

Рентгеноструктурный анализ, измерения удельной намагниченности и электронно-микроскопические исследования показали, что деформация с охлаждением в жидком азоте приводит к развитию интенсивного ($\gamma \rightarrow \alpha'$) фазового превращения. По данным рентгеноструктурного анализа (РСА) и магнитных измерений объемное содержание α'– мартенсита составляет ~ 55 %. Полученный мартенсит является деформационным, поскольку выдержка образцов при Т = –196 °С не приводит к развитию мартенситного превращения. Для формирования такого же содержания мартенсита в условиях деформации при комнатной температуре требуются намного большие степени деформации, ($e \approx 2–4$).

Согласно электронно-микроскопическим исследованиям, дефектная структура стали после низкотемпературной деформации представлена тонкими ламелями субмикронного масштаба, состоящими из пакетов α' – мартенсита, микродвойников аустенита и отдельных пластин

ε – мартенсита. Полученное структурное состояние обеспечивает высокие прочностные свойства стали – предел текучести 920–930 МПа, пластичность 14–15 %.

Результаты РСА и магнитных измерений свидетельствуют, что деформация при комнатной температуре (после низкотемпературной деформации) приводит к формированию α' – мартенсита ~ 80 %. Для данного состояния характерна ламельная двухфазная (α' + γ) структура субмикрокристаллического размера. Также в структуре наблюдаются микродвойники аустенита и дефекты упаковки. Значения предела текучести достигают 1160–1260 МПа при снижении пластичности до 2–3 %. Использование последующего отжига при 800 °С 200 секунд позволяет увеличить пластичность до 12–14 %, при этом значение предела текучести уменьшается до 800–890 МПа.

В процессе теплой деформации при температурах Т = 400–600 °С (после низкотемпературной деформации), а также дополнительных отжигов формируются субмикрокристаллические структурные состояния с различным соотношением объемных долей мартенсита и аустенита (до 95 %). Между полученными зернами и фрагментами наблюдаются как малоугловые, так и высокоугловые, в том двойниковые разориентировки. По форме, размерам и разориентировкам аустенитные ламели подобны пакетному мартенситу и могут быть охарактеризованы как “пакетный аустенит”.

Полученные субмикрокристаллические структурные состояния позволяют достичь более высоких значений предела текучести стали 1260–1350 МПа. По сравнению с низкотемпературной деформацией предел текучести выше примерно на 200–300 МПа, а по сравнению с деформацией при комнатной температуре 100–200 МПа. При этом относительное удлинение находится в интервале 3–24 %.

Показана возможность формирования субмикрокристаллических структурных состояний в метастабильной аустенитной стали с использованием прямых и обратных деформационных мартенситных превращений после термомеханических обработок, включающих низкотемпературную, комнатную и теплую деформации, а также последующие отжиги. Указанные структурные состояния сформированы при относительно малых степенях деформации прокаткой ($e < 1$) без использования методов интенсивной пластической деформации.

Исследования проведены с использованием оборудования Томского регионального центра коллективного пользования ТГУ.

ЛИТЕРАТУРА

1. Валиев Р. З. Объемные наноструктурные металлические материалы / Р. З. Валиев, И. В. Александров. – М. : ИКЦ «Академкнига», 2007. – 398 с.
2. Shakhova I., Dudko V., Belyakov A., Tsuzaki K., Kaibyshev R. // Materials Science and Engineering A. – 2012.– V. 545. – P. 176–186.

3. The dynamic phase transformation and formation of nanocrystalline structure in SUS304 austenitic stainless steel subjected to high pressure torsion / Li J. G., Umemoto M., Todaka Y.[et al.] // Rev. Adv. Mater. Sci. – 2008. – V. 18. – PP. 577–582.
4. Litovchenko I. Yu. Reversible martensitic transformation produced by severe plastic deformation of metastable austenitic steel / I. Yu. Litovchenko, A. N. Tyumentsev, A. V. Korznikov // Materials Science Forum –2013. – V. 738–739. – P. 491–495.