

МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА КОНСТРУКЦИОННОЙ НИЗКОУГЛЕРОДИСТОЙ СТАЛИ 10Х3Г3МФ ПОСЛЕ ХОЛОДНОЙ ПЛАСТИЧЕСКОЙ ДЕФОРМАЦИИ МЕТОДОМ РАДИАЛЬНОЙ КОВКИ

*А.Н. БАЛАХНИН, аспирант,
Д.А. КОСТЮК, студент
Д.О. ПАНОВ, ст. преподаватель,
(ПНИПУ, г. Пермь)
А.А. НИКУЛИНА, канд. техн. наук, доцент
Ю.Н. РОМАШОВА, аспирант
(НГТУ, г. Новосибирск)*

Статья поступила 3 сентября 2012 года

Балахнин А.Н. – 614990, г. Пермь, Комсомольский проспект, 29,
Пермский национальный исследовательский политехнический университет,
e-mail: mto@pstu.ru

Представлены результаты механических испытаний и фратографического анализа низкоуглеродистой стали 10Х3Г3МФ после холодной пластической деформации методом радиальнойковки.

Ключевые слова: низкоуглеродистая сталь, радиальнаяковка, пакетный мартенсит, холодная пластическая деформация.

Введение

При сочетании операций термической обработки и холодной пластической деформации (ХПД) можно реализовать в материале зернограницно-субструктурный механизм упрочнения, что приводит к повышению уровня характеристик прочности и надежности.

Радиальнаяковка (РК), реализующая мягкую схему деформации [1], низкоуглеродистых мартенситных сталей, обладающих в закаленном состоянии наряду с высоким уровнем прочности хорошей пластичностью при комнатной температуре [2], позволяет достичь высоких степеней деформации и существенно повысить уровень свойств материала.

Целью данной работы является изучение возможности повышения уровня механических свойств низкоуглеродистой стали 10Х3Г3МФ методом холодной радиальнойковки в исходно закаленном состоянии.

Материалы и методики проведения исследований

В качестве материала исследования выбрана низкоуглеродистая системно-легированная сталь 10Х3Г3МФ, имеющая следующий химический состав, % (масс.): 0,09 С; 2,78 Мн; 2,79 Cr; 0,43 Мо; 0,38 Si; 0,17 Ni; 0,13 V; 0,19 Cu; 0,012 S; 0,023 Р.

При охлаждении стали 10Х3Г3МФ с температур горячейковки вследствие высокой устойчивости переохлажденного аустенита в ней сформирована структура пакетного мартенсита. Далее сталь 10Х3Г3МФ подвергали ХПД на радиально-ковочной машине SKK 10 с круга диаметром 19 мм на круг 12 мм, что составляет 60 % деформации. Ковка проходила в три прохода: 20, 40 и 60 % деформации. В качестве степени пластической деформации принимали величину укова ϵ , определяемую по результатам изменения площади поперечного сечения образца до и послековки.

На одноосное растяжение сталь испытывали с помощью системы универсальной сервогидравлической типа Instron 300DX. Расчет характеристик прочности (σ_B , $\sigma_{0,2}$) и пластичности (δ , ψ) осуществили в соответствии с требованиями ГОСТ 1497 – 84 на пятикратных цилиндрических образцах типа III № 7.

Испытания на ударный изгиб проводили на маятниковом копре типа Metrocom в соответствии с ГОСТ 9454–78 на образцах с усталостной трещиной типа 17.

Фратографические исследования образцов стали 10Х3Г3МФ после испытаний на ударную вязкость КСТ проводили при помощи растрового электронного микроскопа Carl Zeiss EVO50.

Результаты исследований и их обсуждение

Результаты испытаний на одноосное растяжение и ударную вязкость образцов стали 10Х3Г3МФ в исходно закаленном состоянии и после ХПД методом РК до степени деформации 60 % представлены в таблице.

Механические свойства стали 10Х3Г3МФ после различных режимов обработки

Режим обработки	$\sigma_{0,2}$, МПа	σ_B , МПа	δ , %	ψ , %	КСТ, МДж/м ²
Исходно-закаленное состояние	940	1290	15	63	0,21
РК 60 %	1790	1790	7	53	0,55

Анализ результатов испытаний показал, что после проведения ХПД методом РК до степени 60 % происходит увеличение предела прочности σ_B на 40 % от значения прочности исходно-закаленной стали, при этом наблюдается снижение относительного удлинения δ более чем в два раза и относительного сужения ψ на 10 %. Значение ударной вязкости КСТ после деформации возрастает более чем в 2,5 раза.

Рост уровня прочности холоднодеформированной стали обусловлен увеличением плотности дефектов кристаллического строения и дополнительным диспергированием структуры стали 10Х3Г3МФ в ходе радиальнойковки.

Диаграммы одноосного растяжения образцов стали 10Х3Г3МФ представлены на рис. 1.

На диаграмме одноосного растяжения исходно закаленного образца существуют области упругой деформации (порядка 1,5 %), равномерной пластической (порядка 6 %) и локальной (порядка 8,5 %) деформации (рис. 1).

Кривая растяжения холоднодеформированной стали меняет свой характер: на диаграмме отсутствует участок равномерной пластической деформации, т.е. практически сразу при достижении предела упругости был достигнут предел прочности и началась

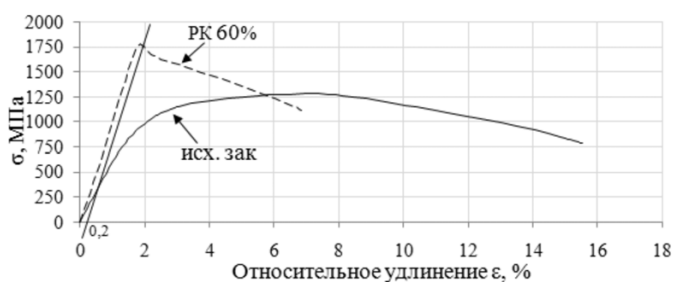


Рис. 1. Диаграммы одноосного растяжения образцов стали 10Х3Г3МФ в исходном закаленном с температур горячейковки состоянии и после ХПД методом РК до степени деформации 60 %

локализация пластической деформации — образование шейки. Это свидетельствует о том, что при ХПД методом РК был реализован практически весь ресурс стали к равномерному пластическому течению без образования трещин. В данных условиях определение предела текучести $\sigma_{0,2}$ в том числе и условного предела текучести $\sigma_{0,2}$, является некорректным, поэтому предел текучести принимается равным пределу прочности.

Фрактографический анализ показал, что на изломе исходно-закаленной стали 10Х3Г3МФ (рис. 2, а) присутствуют развитые губы боковой утяжки и плоская однородная по сечению область в центре. Излом холоднодеформированной стали (рис. 2, б) имеет развитый рельеф сложного профиля, отражающий неоднородность материала, сформированную при радиальнойковке: при анализе распределения микротвердости по сечению образцов было установлено, что ХПД 60 % методом РК приводит к формированию в прутке относительно однородной сердцевины с максимальным уровнем твердости и периферийной части, где твердость плавно убывает от границы с сердцевиной к краю образца до уровня исходно-закаленного горячекованого состояния. На изломе присутствуют макроступеньки, которые сформировались при изменении направления движения трещины на границах зон прутка с разной твердостью. Губы утяжки в данном случае выражены слабо.

Анализ поверхности разрушения исходно-закаленного образца (рис. 3, а), показал, что разрушение происходит по микромеханизму квазискола: присутствуют преимущественно фасетки транскристаллитного скола с развитой субструктурой поверхности, что характерно для пакетного мартенсита.

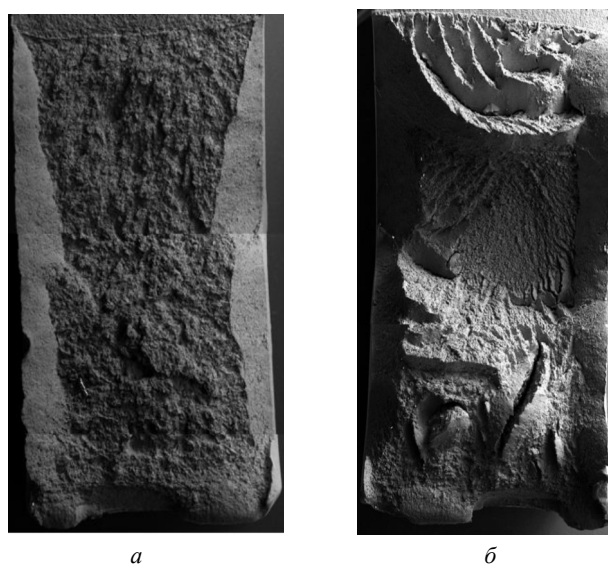


Рис. 2. Изломы стали 10Х3Г3МФ после испытаний на КСТ в исходном закаленном состоянии (а) и после ХПД 60 % методом РК (б), ×8

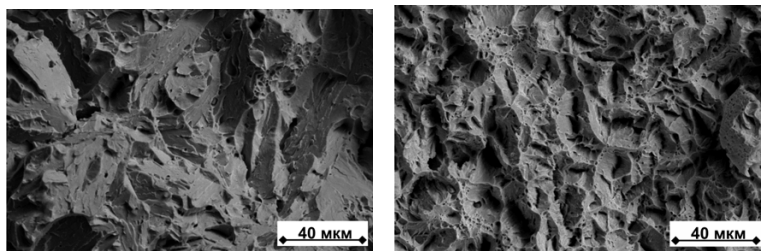


Рис. 3. Поверхность разрушения стали 10Х3Г3МФ после испытаний на КСТ в исходно-закаленном состоянии (а) и после ХПД 60 % методом РК (б)

Как известно, измельчение зерна приводит обычно к одновременному повышению прочности и вязкости металла, т.е. к увеличению сопротивления хрупкому разрушению [3]. Диспергирование структуры исходно закаленной стали 10Х3Г3МФ в результате ХПД методом РК приводит к смене микромеханизма разрушения с квазискола на вязкое разрушение (рис. 3, б): поверхность излома имеет ямочное строение, местами встречаются ямки-конусы.

Сменой микромеханизма разрушения и развитым макростроением излома объясняется значительный (более чем в 2,5 раза) рост величины КСТ после ХПД методом РК.

Выводы

Холодная пластическая деформация методом радиальнойковки со степенью деформации 60 % закаленной стали 10Х3Г3МФ позволяет повысить относительно исходного состояния предел прочности (σ_B) на 40 % до значения 1790 МПа и величину ударной вязкости КСТ более чем в 2,5 раза до 0,55 МДж/м².

Фрактографический анализ образцов после испытаний на КСТ показал, что после ХПД методом РК со степенью деформации 60 % происходит смена микромеханизма разрушения: разрушение по механизму квазискола сменяется вязким разрушением.

Список литературы

1. В.А. Тюрин, В.А. Лазоркин, И.А. Поспелов. Ковка на радиально-обжимных машинах. – М.: Машиностроение, 1990. – 256 с.
2. Митрохович Н.Н. Симонов Ю.Н., Клейнер Л.М., Швецов В.В. Технологичность и конструкционная прочность низкоуглеродистых сталей с мартенситной структурой: учеб. пособие / Перм. гос. техн. ун-т. – Пермь, 2004. – 123 с.
3. Либовиц Г. Разрушение. – Т. 6. – М.: Металлургия, 1976. – 496 с.

Mechanical properties of constructional low carbon steel 10Cr3Mn3MoV after cold plastic deformation by radial forging method

A.N. Balakhnin, D.A. Kostuk, D.O. Panov,
A.A. Nikulina, Yu.N. Romashova

The article presents the results of research of mechanical properties and fractography of constructional low carbon steel 10Cr3Mn3MoV after cold plastic deformation by radial forging method.

Key words: low carbon steel, radial forging, batch martensite, cold plastic deformation.