

МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА СТАЛИ 09Г2С ПРИ НИЗКОТЕМПЕРАТУРНОМ ОТЖИГЕ ПОСЛЕ ХОЛОДНОГО РАВНОКАНАЛЬНОГО УГЛОВОГО ПРЕССОВАНИЯ

© 2010 С.П. Яковлева, С.Н. Махарова

Институт физико-технических проблем Севера им. В.П. Ларионова СО РАН, г. Якутск

Поступила в редакцию 03.04.2010

Исследовано влияние холодного равноканального углового прессования с последующим низкотемпературным отжигом на механические свойства и хладостойкость низколегированной стали 09Г2С. Показано, что полученные в ходе интенсивной пластической деформации структуры с наноразмерными элементами обеспечили комплексное повышение характеристик прочности и сопротивления хрупкому разрушению феррито-перлитной стали.

Ключевые слова: *механические свойства, равноканальное угловое прессование, низкотемпературный отжиг*

Интенсивная пластическая деформация равноканальным угловым (РКУ) прессованием – один из перспективных методов получения объемных наноструктурированных металлических материалов [1]. При РКУ прессовании заготовка продавливается через специальную оснастку в виде двух пересекающихся под углом каналов одинакового сечения. При прохождении заготовки через зону пересечения каналов в материале происходит деформация простого сдвига высокой интенсивности, и размер зерна уменьшается вплоть до формирования субмикро- и нанокристаллических состояний [2]. Это приводит к значительному изменению механических свойств металлов: значения микротвердости могут в 2-7 раз превышать микротвердость крупнозернистых аналогов; при этом очень высокая прочность сочетается с достаточной пластичностью [1, 2]. Кроме того, измельчение зерна является одним из способов понижения температуры вязко-хрупкого перехода металлических материалов. Возможность оптимального сочетания механических свойств субмикро- и наноматериалов открывает перспективы их применения в качестве новых конструкционных и функциональных материалов.

Обычно РКУ прессование проводят при повышенных температурах, с практической точки зрения интересно изучение процессов диспергирования структуры металлов при понижении температур прессования. Кроме того, для формирования ультрадисперсных структур может оказаться перспективной комбинация холодного (при комнатной температуре) РКУП и нагрева.

Цель работы – экспериментальное исследование характеристик прочности и сопротивления хрупкому разрушению низколегированной конструкционной стали 09Г2С после объемного наноструктурирования.

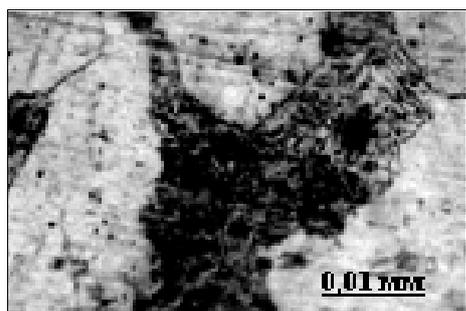
Материал и методика эксперимента. Эксперименты проведены на широко применяемой в условиях холодного климата конструкционной стали 09Г2С (0,09% С, 1,26% Мп, 0,64% Si, 0,08% Cr, 0,1% Ni, 0,02% Al, 0,14% Cu) с ферритно-перлитной структурой; средний размер зерна феррита в исходном состоянии 10 мкм. Цилиндрические образцы Ø20 и длиной 80 мм подвергались холодной (при 20°C) деформации РКУ прессованием за два прохода; угол пересечения каналов 90°. Образцы после РКУП отжигали в течение 1 часа при температурах 350, 450°C. Температуры нагрева выбраны, исходя из совокупности результатов ранее проведенных исследований [3].

Для определения механических свойств материала после холодного РКУ прессования использованы плоские образцы для растяжения с головкой типа I по ГОСТ 1497-84 и образцы для ударных испытаний с концентратором вида V по ГОСТ 9454-78. Испытания на статическое растяжение пропорциональных плоских образцов типа I проводились на испытательной машине UTS TestSysteme GmbH» (Lammerweg 29.D-89079 Ulm) модели UTS 20 K с механическим приводом при скорости деформирования 1 мм/мин и величине предельной нагрузки 1 т. Механические характеристики определяли в соответствии с ГОСТ 1497-84 и 11150-84. Ударные образцы испытаны на маятниковом копре «МК-30» при комнатной температуре и при –40°C.

Яковлева Софья Петровна, доктор технических наук, профессор, заведующая отделом материаловедения. E-mail: s.p.yakovleva@iptpn.yasn.ru
Махарова Сусанна Николаевна, кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник. E-mail: s.n.maharova@iptpn.yasn.ru

Основные результаты и их обсуждение.

Ранее нами были изучены возможности формирования наноразмерных элементов структуры в конструкционной низколегированной стали 09Г2С при холодном РКУ прессовании и последующем нагреве в диапазоне умеренно высоких температур: 250, 350, 450 и 550°C [3, 4]. Согласно результатам этих исследований интенсивная двухцикловая пластическая деформация ферритно-перлитной стали 09Г2С методом холодного РКУ прессования при 20°C обеспечила получение субмикроструктурного состояния с наноразмерными (первые десятки нанометров) элементами структуры.



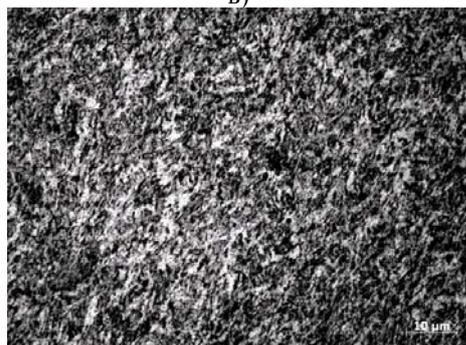
а)



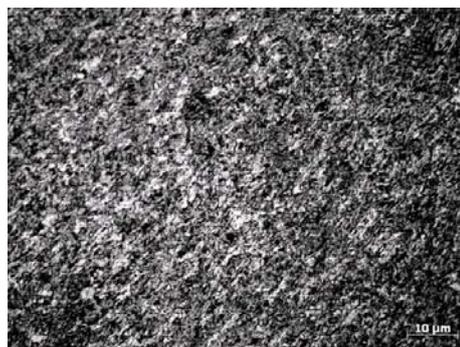
б)



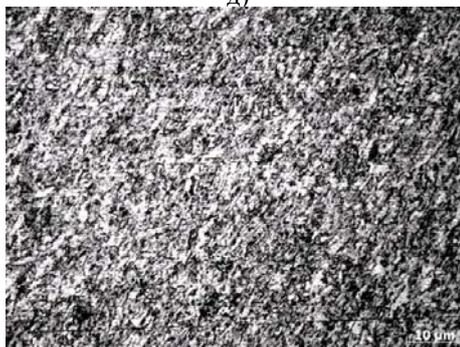
в)



г)



д)



е)

Рис. 1. Микроструктура стали 09Г2С в исходном состоянии (а), после холодного РКУП (б) и нагрева при 250°C (в), 350°C (г), 450°C (е)

На рис. 1 показана микроструктура стали после всех видов примененной обработки. Холодное РКУ прессование привело к диспергированию структуры в 5 и более раз: минимальные размеры карбидной составляющей ~ 300-500 нм, средний диаметр ферритного зерна 5 мкм, что в 2 раза ниже исходного (рис. 1, б). В ходе последующего нагрева можно наблюдать значительное изменение структуры (рис. 1, в-е). Видно, что размер ферритных площадок уменьшается, продолжается процесс диспергирования карбидов, сопровождающийся их сфероидизацией и расседоточением. Микротвердость при этом повысилась на 65%, коэрцитивная сила в 2,3 раза. Отмечено улучшение однородности полученных холодным РКУ прессованием структур по сравнению со структурами, сформированными из этой же стали методом теплого РКУ прессования.

Как показали проведенные исследования, механические характеристики низколегированной стали 09Г2С после наноструктурирования достигают значений, характерных для высокопрочных сталей (рис. 2). При режиме «холодное РКУП + ТО 350°C» предел текучести и предел прочности увеличились втрое и составили соответственно 985 и 1400 МПа; относительное удлинение при этом упало до 3%. При отжиге до 450°C отмечается некоторое снижение характеристик прочности. Следует отметить, что у образцов с наноразмерными элементами структуры нет резкого снижения пластичности при отрицательных температурах испытания. Из рис. 2, б видно, что при всех режимах обработки значения предела текучести и предела прочности

практически совпадают, что свидетельствует о высокопрочном состоянии материала. Резкое увеличение прочности считается следствием и свидетельством перехода структуры в субмикронанокристаллическое состояние.

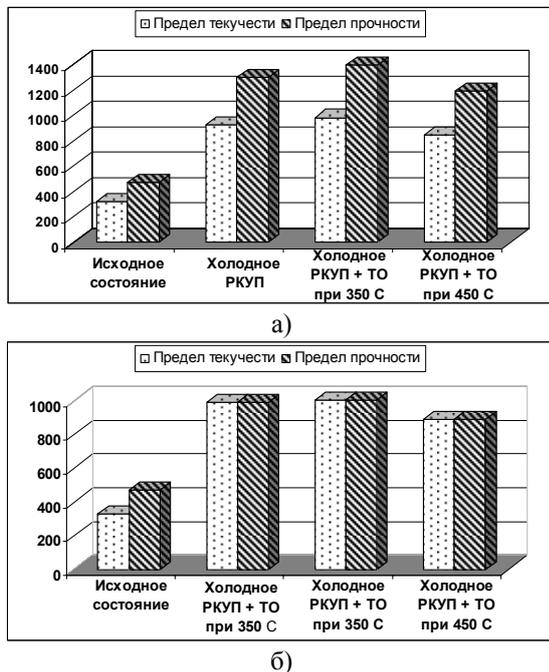


Рис. 2. Значения предела прочности и предела текучести стали 09Г2С после комбинированного воздействия холодного РКУП и последующего отжига: температура испытаний а) +20°C; б) – 40°C.

Одним из основных показателей механических свойств металлов наряду параметрами прочности и пластичности является ударная вязкость, характеризующая, прежде всего, их склонность к хрупкому разрушению и эксплуатационные свойства при низких температурах. Динамические испытания при комнатной температуре выявили многократное улучшение ударной вязкости после холодного РКУ прессования и последующего отжига (таблица 1). Ударная вязкость при 20°C повысилась в ~3 раза. Особый интерес представляет то, что при –40°C уровень ударной вязкости сохраняется.

Таблица 1. Ударная вязкость стали 09Г2С после холодного РКУ прессования и отжига

Режимы обработки	KCV, МДж·м ⁻²	
	при +20°C	при – 40°C
исходное состояние	0,22	0,13
холодное РКУП	0,63	0,14
холодное РКУП+350°C	0,45	0,11
холодное РКУП+450°C	0,58	0,13

Выводы: метод холодного РКУ прессования является эффективным инструментом для наноструктурирования низколегированной стали и может обеспечить комплексное улучшение механических характеристик: при многократном росте прочности получено повышение ударной вязкости стали при +20°C; при –40°C уровень ударной вязкости сохраняется.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Сегал, В.М.* Пластическая обработка металлов простым сдвигом / *В.М. Сегал, В.И. Резников, А.И. Дробышевский* и др. // Известия АН СССР. Металлы. – 1981. - № 1. – С. 115-123.
2. *Валиев, Р.З.* Наноструктурные материалы, полученные интенсивной пластической деформацией / *Р.З. Валиев, И.В. Александров.* – М.: Логос, 2000. – 272 с.
3. *Яковлева, С.П.* Формирование наноразмерных элементов структуры при низкотемпературной рекристаллизации ферритно-перлитной стали после интенсивной холодной деформации / *С.П. Яковлева, С.Н. Махарова* // Труды IV Евразийского симпозиума по проблемам прочности материалов и машин для регионов холодного климата: Пленарные доклады. – Якутск: Издательство ЯНЦ СО РАН, 2008. – С. 282-295.
4. *Яковлева, С.П.* Образование наноразмерных элементов структуры в стали 09Г2С при низкотемпературном отжиге после интенсивной пластической деформации / *С.П. Яковлева, С.Н. Махарова, М.З. Борисова* // Сб. материалов III между. конференции «Деформация и разрушение материалов и наноматериалов» (12-13 октября 2009 г., Москва). – М.: Интерконтакт Наука, 2009. – Т. 1. – С. 256-257.

MECHANICAL PROPERTIES OF STEEL 09Г2С AT LOW TEMPERATURE ANNEALING AFTER COLD EQUALLY CHANNEL ANGULAR PRESSING

© 2010 S.P. Yakovleva, S.N. Maharova
Institute of Physicotechnical Problems of the North SB RAS, Yakutsk

Influence cold equally channel angular pressing with subsequent low-temperature annealing on mechanical properties and cold resistance of low alloy steel 09Г2С is investigated. It is shown, that structures received during intensive plastic deformation with nanosize elements have provided complex increase of mechanical properties and resistance to fragile destruction of ferrite-perlitic steel.

Key words: *mechanical properties, equally channel angular pressing, low-temperature annealing*

Sofia Yakovleva, Doctor of Technical Sciences, Professor, Chief of Material Science Department. E-mail: s.p.yakovleva@iptpn.ysn.ru
Susanna Maharova, Candidate of Technical Sciences, Leading Research Fellow. E-mail: s.n.maharova@iptpn.ysn.ru