

ТЕЗИСЫ ДОКЛАДОВ

INTERNATIONAL WORKSHOP

**«Multiscale Biomechanics and Tribology
of Inorganic and Organic Systems»**

МЕЖДУНАРОДНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ

**«Перспективные материалы с иерархической структурой
для новых технологий и надежных конструкций»**

**VIII ВСЕРОССИЙСКАЯ НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКАЯ
КОНФЕРЕНЦИЯ С МЕЖДУНАРОДНЫМ УЧАСТИЕМ,
ПОСВЯЩЕННАЯ 50-ЛЕТИЮ ОСНОВАНИЯ
ИНСТИТУТА ХИМИИ НЕФТИ**

«Добыча, подготовка, транспорт нефти и газа»

DOI: 10.17223/9785946218412/254

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ПОПЕРЕЧНО-ВИНТОВОЙ ПРОКАТКИ НА СТРУКТУРУ И МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ТРУБНОЙ СТАЛИ 09Г2С

¹Власов И.В., ²Сурикова Н.С., ²Мишин И.П.,

^{1,2}Панин С.В., ¹Смирнова А.С., ²Яковлев А.В., ²Станкевич Р.В.

¹Томский политехнический университет, Томск

²Институт физики прочности и материаловедения СО РАН, Томск

Высокие прочностные характеристики конструкционных сталей традиционно достигаются путём введения различных легирующих элементов, проведения сложных многоступенчатых термомеханических обработок и т. д. С другой стороны, малоуглеродистые низколегированные стали характеризуются невысокими прочностными свойствами, сочетающими высокую пластичность/вязкость и хорошую свариваемость. Однако, применение к ним обработок, совмещающих достижение высоких степеней деформации и контролируемого термического воздействия с последующим охлаждением, могут приводить к существенному повышению, как предела текучести, так и предела прочности [1, 2]. Таким образом, возможно изготовление высокопрочных и ответственных деталей без использования дорогостоящего легирования. Недостатком таких обработок является создания сильно деформированного состояния, зачастую сопровождающегося охрупчиванием материала.

Для решения проблемы повышения прочности и снижения хрупкости низколегированных сталей используют, в том числе, контролируемую прокатку, обеспечивающую градиентную модификацию структуры в объеме материала [3]. Тем самым достигается формирование материала с повышенной прочностью в поверхностном слое и сохранением вязкости/пластичности в сердцевине. Одним из таких методов, активно разрабатываемых в ИФПМ СО РАН для трубных сталей, является «теплая» поперечно-винтовая прокатка. Предварительно подобранные температурно-деформационные режимы прокатки [4], включая количество проходов, позволяют формировать в объёме материала многоуровневую структуру с высокими диссипативными свойствами, эффективно подавляющую локализацию пластического течения и значительно сдерживающую зарождение и распространение трещин.

В качестве объекта исследования была выбрана конструкционная низколегированная сталь 09Г2С, широко применяемая как в строительстве трубопроводных систем, так и для элементов несущих конструкций различного назначения. Прокатку прутков проводили на трёхвалковом стане. Было выполнено 5 проходов от температуры 850 С с закалкой в воду после каждого прохода ($E_{\text{сумм}}=73,77\%$). Целью данного исследования является изучение влияния поперечно-винтовой (ПВ) прокатки на структуру и механические свойства данной стали.

В состоянии поставки сталь 09Г2С имеет феррито-перлитную структуру с характерным размером зерна 21 ± 2 мкм. После ПВ-прокатки в продольном и поперечном направлении в поверхностном слое глубиной 1 мм формируется мелкодисперсная структура, состоящая из феррита и разрушенных пластин перлитной фазы. Проведены исследования структуры стали в состоянии поставки и после прокатки с помощью просвечивающего электронного микроскопа (рис. 1,а,б). В перлитном зерне материала без прокатки видны характерные пластины цементита толщиной 100-150 нм (рис. 1,а). В ферритной фазе встречаются карбидные включения размером 250-400 нм. После прокатки происходит измельчение ферритного зерна и разрушение цементитных пластин (рис. 1,б). Средний размер субзерна после прокатки составляет порядка 300 нм, а в поверхностном слое может достигать 100 нм.

Проведено измерение микротвёрдости в поперечном сечении прутка после ПВ-прокатки от поверхности к центру (рисунок 1,в). Наибольшее увеличение микротвёрдости наблюдается в поверхностном слое глубиной до 3 мм, а упрочнение происходит по всему объёму прутка. Образцы для испытаний на статическое растяжение вырезали из прутка после ПВ-прокатки на глубине от 3 мм, где перепад значений микротвёрдости был не таким большим, как в

Секция 4. Научные основы разработки материалов с многоуровневой иерархической структурой, в том числе для экстремальных условий эксплуатации

поверхностном слое. Это приводило к умеренному разбросу характеристик прочности при растяжении (таблица 1). По результатам испытаний на статическое растяжение видно, что после ПВ-прокатки сохраняется как зуб, так и площадка текучести (рисунок 1,г). Напряжение на площадке текучести и предел пропорциональности повышаются на 26%, а зуб текучести по уровню напряжений сопоставим с пределом прочности. Протяженность площадки текучести увеличивается в 3 раза.

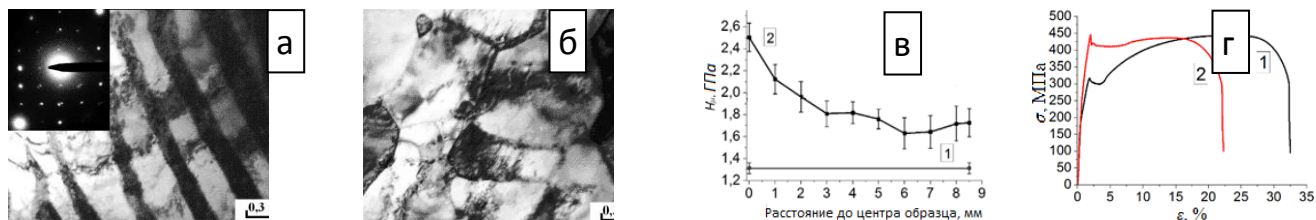


Рис. 1 – а) структура стали 09Г2С в исходном состоянии, б) после ПВ-прокатки; в) график микротвёрдости прутка после проката от края к центру; г) диаграмма растяжения; 1-в состоянии поставки; 2 - после проката

Таблица 1 – Результаты механических испытаний на статическое растяжение

Состояние	$\sigma_{ц}$	$\sigma_{пл.текучести}$	$\epsilon_{пл.текучести}, \%$	$\sigma_{зуб текучести}$	$\sigma, \text{МПа}$	$\epsilon, \%$
Исходное	163±10	297±10	1,9±0,1	307±20	443±20	32±3
Прокат	219±10	403±20	6±0,5	431±20	438±20	21±3 (↓34%)

Таким образом, в результате ПВ-прокатки стали 09Г2С происходит градиентное измельчение структуры, от мелкодисперстного состояния в поверхностном слое до формирования текстуры и измельчения зёрен в сердцевине. Подобные изменения приводят к повышению микротвёрдости с аналогичным градиентным распределением. На диаграмме нагружения образца после ПВ-прокатки сохраняется стадия «параболического упрочнения», значение предела прочности не изменилось, а снижение величины прикладываемой нагрузки при статическом растяжении происходит плавно, аналогично необработанному материалу.

Благодарности: Работа выполнена в рамках плана фундаментальных научных исследований государственных академий наук 2013-2020 гг. Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научных проектов № 18-38-00679 и 18-08-00516, а также грантов президента НШ-5875.2018.8 и СП-2456.2019.1.

1. Cao. R., Ding. Y., Zhao X., et. al. Effect of rolling reductions on microstructure and properties of 2Cr13/316L multi-layered steel composite plate by accumulative roll-bonding // Journal of Materials Research. 2018. Vol. 33. Issue. 24. P. 4317-4328.
2. Samant S.S., Singh I.V., Singh R.N. Influence of intermediate rolling on mechanical behavior of modified 9Cr-1Mo steel // Materials Science and Engineering a Structural Materials Properties Microstructure and Processing. 2018. Vol. 738. P. 135-152.
3. Деревягина Л.С., Гордиенко А.И. Улучшение механических свойств и характеристик низкотемпературного разрушения трубной стали // Сборник трудов конференции Перспективные материалы с иерархической структурой для новых технологий и надежных конструкций. 2018. С. 340-34.
4. Пишулова А.А., Гордиенко А.И., Деревягина Л.С. Влияние температурных режимов поперечно-винтовой прокатки на особенности формирования структуры и механические свойства низкоуглеродистой трубной стали // Сборник трудов конференции Перспективные материалы конструкционного и медицинского назначения. 2018. С. 76-77.