

ПОВЫШЕНИЕ УДАРНОЙ ВЯЗКОСТИ ТРУБНОЙ СТАЛИ 09Г2С МЕТОДОМ ПОПЕРЕЧНО-ВИНТОВОЙ ПРОКАТКИ

*А.В. ЯКОВЛЕВ¹, И.В. ВЛАСОВ², Н.С. СУРИКОВА²,
А.С. СМИРНОВА², И.П. МИШИН², С.В. ПАНИН^{1,2}*

¹ Томский политехнический университет

² Институт физики прочности и материаловедения СО РАН

E-mail: alexandryakov1@gmail.com

Магистральные трубопроводы являются стратегическими промышленными объектами, а контроль их технического состояния, а также исследование способов сохранения/повышения эксплуатационных характеристик являются актуальными научно-техническими задачами [1]. В то же время, основными факторами, приводящими к выходу из строя элементов трубопровода, являются коррозионный износ в процессе эксплуатации, деформационное старение [2], вызванное продолжительным воздействием статической нагрузки, низкие температуры, приводящие к резкому снижению ударной вязкости [3].

Для решения проблемы повышения ударной вязкости в работе предложен метод поперечно винтовой прокатки (ПВП), заключающийся в прокате цилиндрической заготовки тремя валками, вращающимися в одном направлении и установленными под углом друг другу. При этом происходит вращение заготовки относительно собственной оси таким образом, что любая точка поверхности движется по винтовой траектории. Предварительно подобранные температурно-деформационные режимы воздействия позволяют создавать в объёме материала многоуровневую структуру с высокими диссипативными свойствами (за счет реализации эффекта кривизны кристаллической решетки и формирования двухфазной ламеллярной мезоскопической структуры), обеспечивающие эффективное демпфирование быстроподводимой механической энергии (при ударных испытаниях), а также подавляющие локализацию пластического течения и эффективно сдерживающие зарождение и распространения трещин при динамических нагружениях [4].

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. ПВП проводили на трёхвалковом стане. Было выполнено 5 проходов от температуры 850° С с закалкой в воду после каждого прохода ($E_{сумм}=73,77\%$). Целью данного исследования является изучение влияния поперечно-винтовой прокатки на структуру и ударную вязкость стали 09Г2С. После ПВП в продольном и поперечном направлении в поверхностном слое формируется мелкодисперсная структура, состоящая из феррита и разрушенных пластин перлитной фазы (рисунок 1, а).

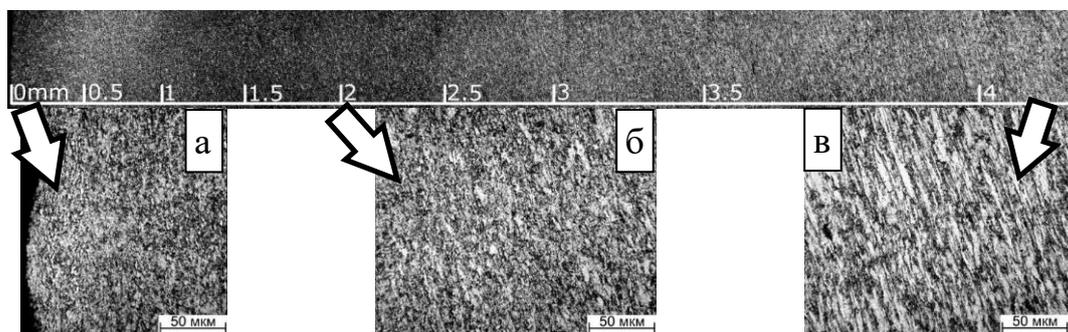


Рисунок 1 - Фотографии микроструктуры образца после поперечно винтовой прокатки

На глубине более 1 мм в продольном направлении становятся различимы отдельные вытянутые ферритные зёрна, рисунок 1, б, в, сохранившиеся после деформации. В

поперечном направлении такие зёрна выглядят как равноосные светлые фазы. При дальнейшем перемещении к центру прутка фиксируется увеличение размера и количества различных вытянутых ферритных зёрен, а на расстоянии от 4 мм хорошо заметна сформированная текстура. В поперечном направлении на данной глубине различимы фазы феррита и перлита. В результате деформации при ПВП «размываются» перлитные прослойки между ферритными зёрнами (в отличие от образцов в состоянии поставки), а границы фаз выглядят более «рваными».

В результате пятиступенчатой прокатки удалось повысить ударную вязкость на всём исследуемом температурном интервале (до $-70\text{ }^{\circ}\text{C}$), рисунок 2, а. Рассчитана величина энергии, потраченной на зарождение и распространение трещины, рисунок 2, б, в. Показано, что основной причиной повышения ударной вязкости после прокатки является эффективное сопротивление распространению трещины, что видно по отношению затраченной энергии на данном этапе, рисунок 2, в, в то время как на этапе зарождения трещины значения энергий для обоих типов образцов достаточно близки, рисунок 2, б.

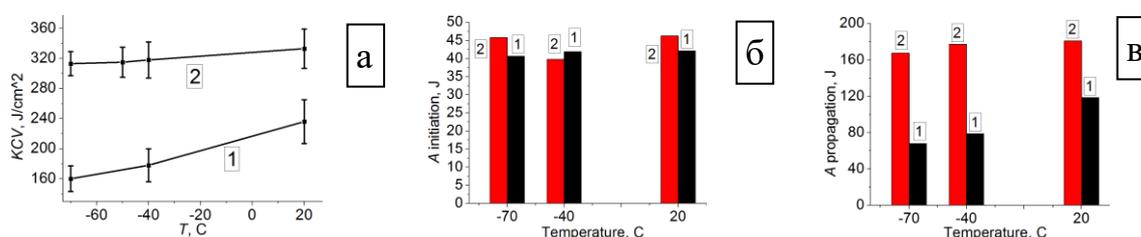


Рисунок 2 - а) график ударной вязкости; б) работа зарождения трещины; в) работа распространения трещины; 1 - исходное состояние; 2 - образец после ПВП

В процессе поперечно винтовой прокатки стали 09Г2С развиваются эффекты деформационного упрочнения, что сопровождается уменьшением размера зерна, формированием текстуры с градиентным изменением по сечению прутка, а также в продольном направлении. Тем самым, образец Шарпи характеризуется более прочным поверхностным слоем и более вязким материалом в сердцевине. Такое сочетание позволяет эффективно сопротивляться распространению трещины и приводит к практически двукратному повышению ударной вязкости при отрицательных температурах.

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.

Список литературы

1. Панин В.Е., Деревягина Л.С., Лебедев М.П., и др. Научные основы хладноломкости конструкционных сталей с ОЦК кристаллической решеткой и деградации их структуры при эксплуатации в условиях отрицательных температур // Физ. мезомех. - 2016. - Т. 19. - № 2. - С. 5-14
2. Syromyatnikova A. S. Degradation of physical and mechanical condition of the main gas pipeline metal at long operation in the conditions of the cryolitozone // Phys. Mesom. - 2014. - Vol. 17. - Issue 2. - P. 85-91 (in Russian).
3. Nastich S. Yu., et. al. Effect of temperature for the start of finish rolling on coiled steel X70 microstructure and cold resistance 2012, Volume 56, Issue 7, pp 519–525.
4. Пищулова А.А., Гордиенко А.И., Деревягина Л.С. Влияние температурных режимов поперечно-винтовой прокатки на особенности формирования структуры и механические свойства низкоуглеродистой трубной стали // Труды конференции: Перспективные материалы конструкционного и медицинского назначения. - 2018. - С. 76-77.