

6. Anoshkin A.N., Pisarev P.V., Ermakov D.A. and Maksimova K.A. Numerical prediction of the elastic characteristics of spatially reinforced composite materials // IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering. - 2017. - 286. - 012029. - doi:10.1088/1757-899X/286/1/012029.
7. Fathi B., Esfandehb M., Khalifeh Soltanic A., Taghavianc H. Effect of corona discharge treatment on dynamic mechanical properties of unsaturated polyester carbon fiber pultruded composites // Polym.-Plast. Technol. Eng. - 2014. - V. 53(2). - pp.162–166.

## **ВЛИЯНИЕ ТЕМПЕРАТУРНЫХ РЕЖИМОВ ПОПЕРЕЧНО-ВИНТОВОЙ ПРОКАТКИ НА ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ СТРУКТУРЫ И МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА НИЗКОУГЛЕРОДИСТОЙ ТРУБНОЙ СТАЛИ**

*А.А. ПИЩУЛОВА<sup>1</sup>, А.И. ГОРДИЕНКО<sup>2</sup>, Л.С. ДЕРЕВЯГИНА<sup>3</sup>*

<sup>1</sup>Национальный исследовательский Томский политехнический университет

<sup>2,3</sup>Институт физики прочности и материаловедения СО РАН

E-mail: [vip.pishulova@mail.ru](mailto:vip.pishulova@mail.ru)

### **Введение**

Успехи в развитии новых технологий создания материалов, разработка оригинальных методов и режимов их обработки позволяют получать комплекс качественно улучшенных служебных свойств. Важную роль в ряду развивающихся перспективных материалов занимают низкоуглеродистые, малолегированные стали, получившие широкое распространение при строительстве нефте- и газопроводов, работающих в холодных климатических условиях Северных регионов страны. Основными требованиями, предъявляемыми к механическим свойствам таких сталей, являются высокие прочностные свойства и низкая температура вязко-хрупкого перехода. Улучшение механических свойств низкоуглеродистых сталей достигали путем модификации их структуры с применением методов интенсивных пластических деформаций (ИПД) (равноканального углового прессования, всесторонней изотермической ковки, интенсивной теплой прокатки и т.д.) или различных схем термомеханической обработки (в частности, контролируемой прокатки в условиях вариации скорости охлаждения).

### **Материалы и методика исследований**

Для исследований была взята низкоуглеродистая малолегированная трубная сталь 10Г2ФБЮ. Была применена поперечно-винтовая прокатка (ПВП) по трем режимам: режим I – прокатка в  $\gamma$ -области от температуры 1000 °С; режим II – прокатка вблизи точки  $A_{r3}$ ; режим III – прокатка от 850 °С с завершением в  $(\gamma+\alpha)$ -области. Микроструктурные исследования выполняли с использованием оптической, растровой микроскопии, а также с помощью метода анализа дифракции обратно рассеянных электронов. Механические испытания образцов на статическое растяжение выполнены на установке типа Поляни, испытания на ударный изгиб образцов проводили на маятниковом копре INSTRON MPX 450 в диапазоне температур от +20 до -70 °С.

### **Результаты и их обсуждение**

В состоянии поставки микроструктура стали 10Г2ФБЮ представлена широкими областями из квазиполигональных зерен феррита и перлита. Средний размер ферритных зерен составляет  $d=12$  мкм, микротвердость ферритных областей составляет 1620 МПа, перлитных – 2300 МПа.

После ПВП в структуре стали по сравнению с исходным состоянием распределение ферритных и перлитных областей становится более однородным, наблюдается уменьшение размеров колоний перлита и чередование светлых и темных полос. В светлых ферритных областях средний размер зерен в зависимости от режима обработки уменьшается до 5 и 3 мкм, наиболее мелкодисперсная и равномерная структура наблюдается после обработки по

режиму III. Встречаются полосы с типичной бейнитной структурой, которая представлена мелкодисперсными пластинами и квазиравноосными зёрнами средним размером  $d = 2,7$  мкм.

С помощью анализа EBSD-карт выявлены различия в структурах стали после выбранных режимов. После режима I выявлена значительная неоднородность по размеру ферритной фазы, также обнаружены более извилистые границы зёрен и цвет некоторых зёрен неоднородный, что указывает на их фрагментацию. При деформации от 920 °C и 850 °C вблизи области  $\gamma$ - $\alpha$ -превращения отсутствует рекристаллизация, происходит наклеп аустенита, накопление плотности дефектов структуры и упорядоченное их распределение, что при последующем охлаждении способствует образованию более мелкозернистой и однородной структуры.

В результате обработки прочностные свойства стали возрастают, при сохранении пластичности на уровне значений исходного состояния. Наибольшее увеличение прочности наблюдается для образцов после 3го режима обработки, предел текучести возрастает на 35%, предел прочности на 20%.

#### **Заключение**

В результате проделанной работы были сделаны следующие выводы:

1) Применение поперечно-винтовой прокатки стали 10Г2ФБЮ по режимам I-III приводит к измельчению ферритных зёрен стали с 12 мкм (для исходного состояния) до 3-5 мкм, более однородному чередованию феррита и перлита, уменьшению общей доли перлитных зёрен с 20 % до 14 – 8,5 %, формированию мелкодисперсных бейнитных областей.

2) Такие изменения в структуре способствуют повышению прочностных характеристик стали после обработки до 20-30 % (предел прочности увеличился с 650 МПа до 790 МПа при прокатке по режиму III), при этом пластичность сохраняется на уровне значений исходного состояния стали.

3) Поперечно-винтовая прокатка позволяет значительно улучшить низкотемпературные характеристики стали в условиях ударного нагружения. Температура вязко-хрупкого перехода стали после обработки по режиму I смещается в область температур ниже -55 °C, а по режимам II и III – ниже -70 °C.

Было установлено, что наилучшим комплексом свойств обладает сталь прокатанная по режиму III в ( $\gamma$ + $\alpha$ ) – области.

#### **Список литературы**

1. Счастливцев В.М., Табатчикова Т.И., Яковлева И.Л. и др. Влияние режимов термомеханической обработки на структуру и механические свойства листового проката из низкоуглеродистых низколегированных сталей // Вопросы материаловедения. – 2005. – №3(43). – С.13-23.
2. Настич С.Ю. Особенности ферритно-бейнитной структуры и сопротивление вязким разрушениям высокопрочных трубных сталей // Деформация и разрушение материалов.– 2012. №7. – С. 9-13.
3. Эфрон Л.И. Металловедение в «большой» металлургии. Трубные стали. – М.: Металлургиздат, 2012. – 696 с.