

**ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ МИКРОСТРУКТУР И МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА
В РАЗНЫХ СЕЧЕНИЯХ ПРУТКА НИЗКОУГЛЕРОДИСТОЙ СТАЛИ
ПОСЛЕ ПОПЕРЕЧНО-ВИНТОВОЙ ПРОКАТКИ**

А.О. МИТЯШИНА¹, А.И. ГОРДИЕНКО^{1,2}

¹Томский политехнический университет

²Институт физики прочности и материаловедения СО РАН

E-mail: agni.mityashina@yandex.ru

Для повышения механических свойств низкоуглеродистых малолегированных сталей используют различные виды термомеханических обработок (ТМО). Для дополнительного упрочнения стали после ТМО используют ускоренное охлаждение, которое способствует формированию бейнитных структур [1]. Традиционно при производстве стального проката и труб используется продольная прокатка. Другим вариантом термомеханической обработки является метод поперечно-винтовой прокатки (ПВП), используемый при прошивке и раскатке трубных заготовок и получении бесшовных труб. Поперечно-винтовая прокатка характеризуется высокими сдвиговыми деформациями. В очаге деформации на поверхности прутка реализуется схема близкая к всестороннему неравномерному сжатию. Было показано, что при реализации неравномерного одноименного объемно-напряженного состояния достигается максимальная пластичность материала [2]. Следовательно, наибольшая проработка структуры будет происходить во внешней зоне прокатываемого прутка. В центре прутка реализуется схема деформации растяжением [3]. Разные схемы напряженного состояния, реализуемые на поверхности и в центральных сечениях прутка, будут способствовать формированию отличающихся структур. Это может привести к тому, что свойства материала в разных сечениях прутка будут различаться. В связи с этим, целью настоящей работы являлось изучение и сравнение микроструктур и механических свойств в разных сечениях прутка низкоуглеродистой стали после поперечно-винтовой прокатки.

Низкоуглеродистую сталь 10Г2ФБЮ подвергали обработке методом поперечно-винтовой прокатки, которую выполняли от температур 850 °С с последующим ускоренным охлаждением. Охлаждение осуществляли со скоростью 6°С/с при помощи спреера до температуры 530 °С, выдерживали при этой температуре три минуты и затем ускоренно охлаждали до температуры 200 °С.

Микроструктурные исследования стали выполняли с помощью оптического микроскопа марки Zeiss Axiovert и растрового электронного микроскопа (LEO EVO 50). Микротвердость по Виккерсу измеряли с помощью микротвердомера ПМТ-3 с нагрузкой 50 г. Испытания на статическое растяжение проводили на установке Поляни.

В горячекатаном состоянии низкоуглеродистая сталь представлена феррито-перлитной структурой, рисунок 1 а. Перлит представляет собой области, неравномерно распределенные в структуре образца.

В результате проведения поперечно-винтовой прокатки микроструктура низкоуглеродистой стали становится более однородной, рисунок 1 б и в. В микроструктуре стали наблюдается измельчение ферритных зерен с 12 мкм до 5,4-6,0 мкм и уменьшение доли и размеров областей перлитной фазы, по сравнению с горячекатаным состоянием, таблица 1. После обработки стали помимо ферритной и перлитной фаз, наблюдается формирование бейнитной составляющей, рисунок 1 б и в.

Было обнаружено, что микроструктуры в сечении близком к краю и центральном сечении прутка отличаются. Во-первых, значение среднего размера ферритных зерен больше в центральных сечениях прутка (6,0 мкм), по сравнению с сечениями близкими к краю прутка (5,4 мкм), таблица 1. Во-вторых, изменяется и доля бейнитной фазы. В сечениях близких к краю прутка ее доля больше (17,5 %), чем в центральных сечениях (14,7 %), таблица 1.

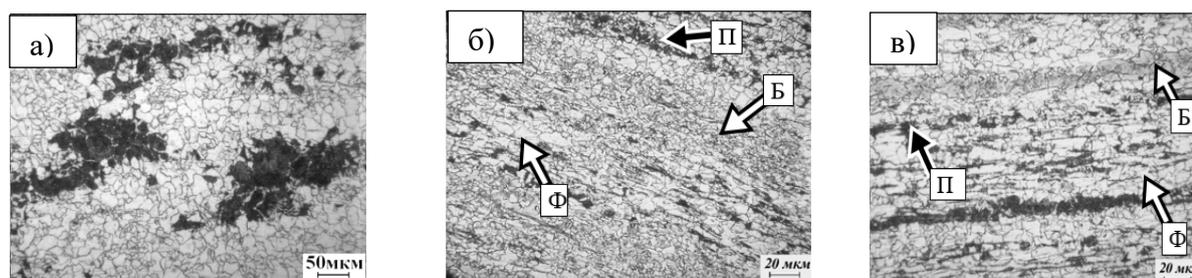


Рисунок 1 – Микроструктуры стали 10Г2ФБЮ в горячекатаном состоянии (а) и после поперечно-винтовой прокатки в сечении близком к краю (б) и в центральном сечении прутка (в):
Ф – феррит; П – перлит; Б – бейнит

Таблица 1 – Структурные параметры стали 10Г2ФБЮ в горячекатаном состоянии и после прокатки

Сталь 10Г2ФБЮ	<i>D</i> ферритных зерен, мкм	Объемная доля бейнита, %	Объемная доля перлита, %
Исходное состояние	12	-	20
Режим I Сечение близкое к краю	5,4	17,5	6,2
Режим I Центральное сечение	6,0	14,7	7,7

Исследования с помощью РЭМ позволили обнаружить присутствие в микроструктуре мартенсит-аустенитной (М-А) составляющей и карбидных включений Fe_3C , рисунок 2. По данным РЭМ в разных сечениях прутка формируется разный тип бейнитной составляющей. В сечениях близких к краю прутка формируется гранулярный бейнит, а в центральном сечении прутка наблюдается формирование реечного бейнита, рисунок 2.

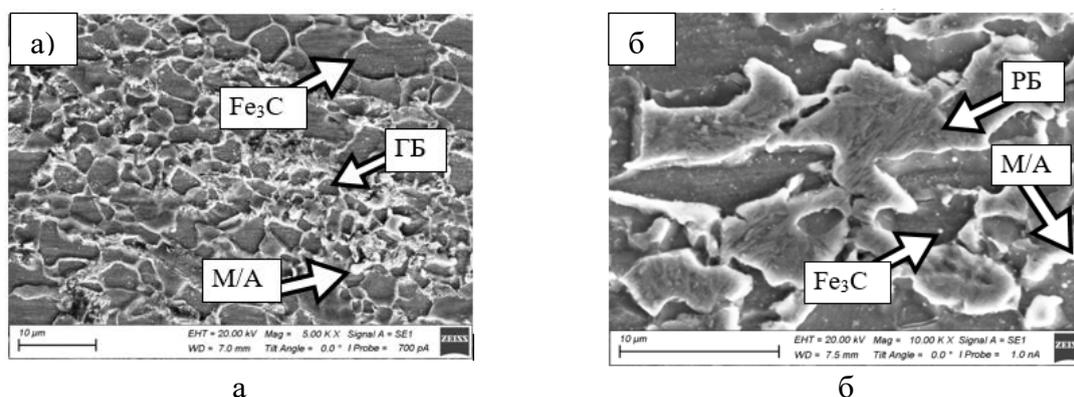


Рисунок 2 – РЭМ-изображения микроструктур стали после поперечно-винтовой прокатки в сечении близком к краю (а) и в центральном сечении прутка (б):
ГБ – гранулярный бейнит; РБ – реечный бейнит; М-А – М-А составляющая

При проведении дюрометрических исследований в сечении близком к краю прокатанного прутка наблюдали увеличение значений микротвердости ферритной матрицы до 184 HV_{50} , таблица 2, а в центральном сечении прутка до 179 HV_{50} , по сравнению с горячекатаным состоянием (165 HV_{50}). Данный результат связан с измельчением ферритных зерен относительно исходного состояния и с упрочнением матрицы карбидами. Формирование реечного бейнита в центральных сечениях прутка способствовало тому, что микротвердость в

бейнитных областях выше, таблица 2, по сравнению с сечениями, близкими к краю прутка, где сформировался гранулярный бейнит.

Таблица 2 – Результаты измерений микротвердости и механических испытаний образцов стали 10Г2ФБЮ

Сталь 10Г2ФБЮ	$\sigma_{0.2}$, МПа	σ_B , МПа	ϵ , %	HV ₅₀ Ферритной составляющей	HV ₅₀ Бейнитной составляющей
Исходное состояние	360	650	23	165	-
Режим I Сечение близкое к краю	460 ↑27%	710 ↑9,2%	26 ↑13%	184	235
Режим I Центральное сечение	440 ↑22%	780 ↑20%	18,5 ↓19,5%	179	285

Проведение испытаний на растяжение образцов стали в горячекатаном состоянии и после поперечно-винтовой прокатки выявило наличие площадки текучести на диаграммах растяжения во всех исследованных случаях, рисунок 3. Прочностные характеристики стали после проведения поперечно-винтовой прокатки повышаются на 15–31 %, относительно горячекатаного состояния стали ($\sigma_B = 650$ МПа). При сравнении значений прочности в разных сечениях прутка был сделан вывод о том, что образцы из центральных сечений прутка обладают более высокой прочностью, по сравнению с образцами из сечений близких к краю прутка, таблица 2. При этом, пластичность образцов из центральных сечений ниже. Это связано с формированием более прочного реечного бейнита в центральных сечениях прутка.

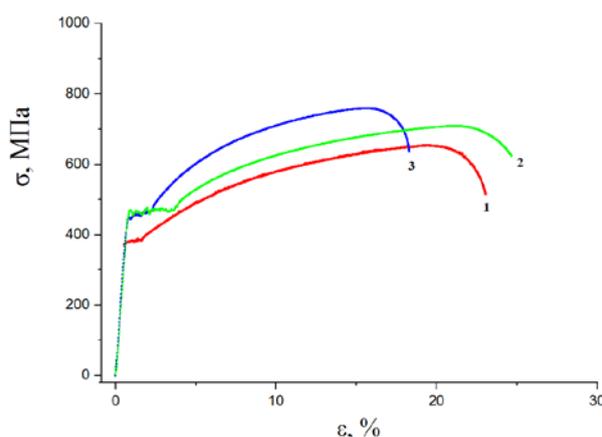


Рисунок 3 – Диаграммы растяжения образцов стали 10Г2ФБЮ
1 – исходное состояние; 2 – сечение близкое к краю прокатанного прутка;
3 – центральное сечение прокатанного прутка

Авторы благодарят Мишина И.П. (ИФПМ СО РАН) за помощь в проведении поперечно-винтовой прокатки.

Список литературы

1. Константинова А.А. Особенности термической обработки низкоуглеродистой стали // Современные проблемы и направления развития металлостроения и термической обработки металлов и сплавов. – 2020. – С. 86–89.
2. Пашинская Е.Г. Физико-механические основы измельчения структуры при комбинированной пластической деформации // Вебер. – Донецк, 2009. – С. 352.
3. Найзабеков А.Б., Арбуз А.С. Влияние поперечно-винтовой прокатки на микроструктуру стали 40Х // Вестник КазНТУ. – 2015. – №5. – С.249–255.