

ТЕЗИСЫ ДОКЛАДОВ

МЕЖДУНАРОДНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ

**«Физическая мезомеханика.
Материалы с многоуровневой иерархически
организованной структурой и интеллектуальные
производственные технологии»,**

посвященная 90-летию со дня рождения
основателя и первого директора ИФПМ СО РАН
академика Виктора Евгеньевича Панина

в рамках
**Международного междисциплинарного симпозиума
«Иерархические материалы: разработка и приложения
для новых технологий и надежных конструкций»**

**5–9 октября 2020 года
Томск, Россия**

Томск
Издательство ТГУ
2020

DOI: 10.17223/9785946219242/44

ПОВЫШЕНИЕ УСТАЛОСТНОЙ ДОЛГОВЕЧНОСТИ ТРУБНОЙ СТАЛИ 09Г2С С ПОМОЩЬЮ ПОПЕРЕЧНО ВИНТОВОЙ ПРОКАТКИ

¹Власов И.В., ^{1,2}Панин С.В., ¹Сурикова Н.С., ²Яковлев А.В., ¹Гоморова Ю.П., ¹Мишин И.П.
¹Институт физики прочности и материаловедения СО РАН, Томск
²НИИ Томский политехнический университет, Томск

В последние годы в литературе активно обсуждается начало развития эры «гетерогенных материалов» [1, 2]. Под гетерогенными материалами подразумеваются материалы с высокой неоднородностью свойств. Механизм кратного повышения механических свойств гетерогенных материалов в работе [1] объясняется за счет различий в развитии деформации в мягких (пластичных) и твердых (прочных) доменах. Сочетание прочных и пластичных фаз приводит к аккомодации деформации в соседних областях, возникновению градиентов деформации за счет развития встречных напряжений на границах зерен и формированию дислокационных скоплений, не сопровождающихся образованием микронесплошностей. Показано, что формирование ламеллярного (слоистого) микростроения является предпочтительным с позиции реализации механизмов, обеспечивающих достижение высоких прочностных и пластических свойств.

Указанные перспективные направления, тем не менее, имеют значительное ограничение. Так, согласно работе [2] если размеры зерна снижаются ниже 1 мкм, пластичность материалов начинает резко падать, что существенно ограничивает использование такого материала на практике.

В качестве методов объёмного измельчения зерна и создания гетерогенной структуры, активно применяется равноканальное угловое прессование [3], а также метод формирования ламинатного (волокнустого) строения с помощью поперечно-винтовой прокатки (ПВП) [4]. В литературе обсуждаются различные пути преодоления проблемы снижения пластичности ультрамелкозернистых (наноструктурированных) материалов, в том числе путем создания градиентов свойств [5].

В данной работе проведена ПВП стали с целью создания неоднородной гетерогенной структуры и повышения усталостной долговечности. В качестве объекта исследования была выбрана хорошо изученная феррито-перлитная сталь 09Г2С.

Выявлено, что в результате пятиступенчатой поперечно-винтовой прокатки прутка в поверхностном слое глубиной до ~1 мм происходит формирование мелкодисперсной структуры (рис. 1,б), испытавшей сильную пластическую деформацию, в то время как в нижележащих слоях формируется «волокнустая» структура, состоящая из тонких вытянутых ферритных зёрен, ориентированных в направлении ПВП (рис. 1,в).

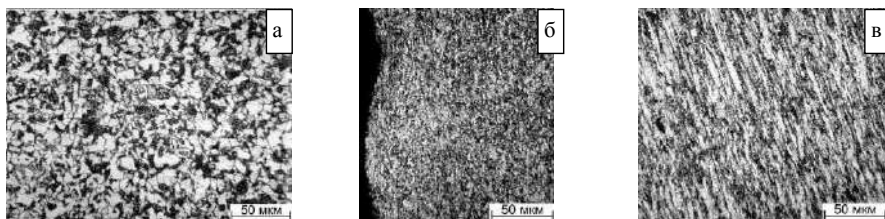


Рис. 1. Фотографии микроструктуры образца после поперечно винтовой прокатки; а) состояние поставки, б), в) после ПВП

Показано, что после ПВП происходит плавное снижение микротвёрдости от поверхности к центру прутка (рис. 2,а), при этом, наибольшее интенсивное изменение наблюдается в поверхностном слое глубиной до 3 мм.

После ПВП в процессе статического растяжения на кривой течения сохраняется зуб и

Секция 2. Неустойчивость, локализация деформации и разрушения в материалах с иерархической структурой

площадка текучести (рис. 2,б), размер которых повышается до 2 раз относительно необработанной стали; при этом на треть повышается предел прочности и снижается относительное удлинение. Разрушение стали после ПВП после формирования «шейки» происходит плавно, аналогично образцу в состоянии поставки.

Образцы, вырезанные ближе к краю прутка (рис. 2,в, area 1), где материал испытал наибольшую пластическую деформацию в процессе ПВП, имеют более высокие прочностные характеристики, но меньшее относительное удлинение по сравнению с образцами, вырезанными из центральной части прутка (рис. 2,в, area 3). Таким образом, сформированная структура материала обеспечивает более высокие прочностные свойства, при сохранении пластичности и приемлемой вязкости. Сформированные протяженные границы зёрен препятствуют развитию пластической деформации, а наличие ферритной фазы без значительного упрочнения в центральной части прутка позволяет обеспечить высокую пластичность и вязкий характер разрушения.

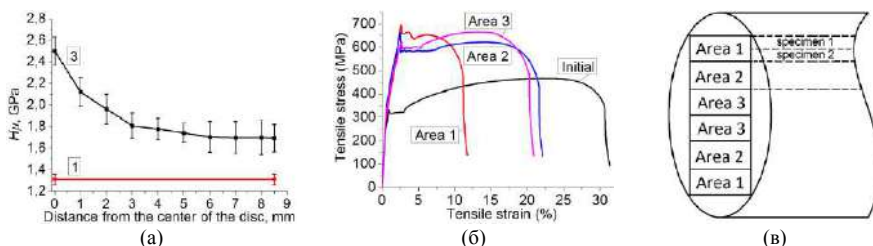


Рис. 2. (а) измерение микротвёрдости; (б) диаграмма растяжения; (в) схематичное изображение места изготовления образцов; 1 – в состоянии поставки; 2 – после ПВП

Пятиступенчатая прокатка стали при циклическом растяжении привела к повышению усталостной долговечности до 3,5 раза (таблица №1). Наиболее высокие значения количества циклов до разрушения получены в образцах, вырезанных из центральной части прутка. Основной причиной повышения усталостной долговечности авторы называют повышение прочности стали, формирование «волоконистой» мезоструктуры и сохранение высокой пластичности материала после ПВП.

Таблица 1. – Результаты испытаний циклического растяжения

Состояние	Зона	Количество циклов до разрушения
Исходное	-	80 000±5 000
После прокатки	Area 1	200 000±10 000 (150% ↑)
	Area 2	225 000±12 000(181% ↑)
	Area 3	305 000±15 000 (281% ↑)

Благодарности: Работа выполнена в рамках государственного задания ИФПМ СО РАН, проект III.23.1.1 и финансовой поддержке РФФИ в рамках научных проектов № 18-38-00679 и 18-08-00516.

- Xiaolei Wu, Yuntian Zhu Heterogeneous materials: a new class of materials with unprecedented mechanical properties // Materials Research Letters. 2017. Vol. 5. P. 527-532.
- Lu K. Making strong nanomaterials ductile with gradients // Science. 2014. Vol. 345. Iss. 6203. P. 1455-1456.
- Астафурова Е.Г., Захарова Г.Г., Найденкин Е.В., Добаткин С.В., Рааб Г.И. Влияние равноканального углового прессования на структуру и механические свойства низкоуглеродистой стали 10Г2ФТ // ФММ. 2010. Т. 110. № 3. С. 275–284.
- Завдоев А.В. Особенности формирования структуры и свойств малоуглеродистой стали при тепловой винтовой экструзии // Физика и техника высоких давлений. 2013. Т. 23. № 4. С. 100–106.
- K. Lu. Making strong nanomaterials ductile with gradients // Science. 2014. Vol. 345. Iss. 6203. P. 1455-1456.