

УДК 670.191.33

DOI: 10.17223/00213411/63/7/59

*И.В. ВЛАСОВ, С.В. ПАНИН, Н.С. СУРИКОВА, А.В. ЯКОВЛЕВ, И.П. МИШИН*

### **ИЗУЧЕНИЕ СТРУКТУРЫ И СОПРОТИВЛЕНИЯ ДЕФОРМИРОВАНИЮ ПРИ СТАТИЧЕСКОМ И УДАРНОМ НАГРУЖЕНИИ МАЛОУГЛЕРОДИСТОЙ СТАЛИ 09Г2С ПОСЛЕ ПОПЕРЕЧНО-ВИНТОВОЙ ПРОКАТКИ \***

Проведено исследование структуры и механических свойств вязкой феррито-перлитной стали 09Г2С после поперечно-винтовой прокатки (ПВП). Показано, что после ПВП с постепенным снижением температуры в интервале 850–500 °С на каждом проходе в поверхностном слое глубиной примерно до 1 мм формируется мелко-дисперсная структура, свидетельствующая о развитии интенсивной пластической деформации, в то время как в нижележащих слоях формируется сильно текстурированная «ламеллярная» структура, состоящая из тонких вытянутых ферритных зёрен, ориентированных вдоль оси прутка (в направлении ПВП). Наибольшее упрочнение материала наблюдается в поверхностном слое толщиной до 3 мм, наименьшее – в приосевой зоне. При статическом растяжении стали было установлено, что ПВП приводит к повышению предела прочности и снижению относительного удлинения. На кривых течения образцов стали после ПВП сохраняется зуб и площадка текучести, протяженность которой увеличивается примерно в 2 раза по сравнению с образцами исходной стали. Эксперименты по ударному нагружению показали, что ПВП приводит к повышению значений  $KCV$  (ударной вязкости) стали в среднем на 10–25 %, в то же время при отрицательных температурах разница может достигать 60 %.

**Ключевые слова:** контролируемая поперечно-винтовая прокатка, механические испытания, микроструктура, ударная вязкость, разрушение, гетерогенные материалы, трубная сталь.

#### **Введение**

В последние годы в литературе активно обсуждается развитие «гетерогенных материалов» (Heterogeneous Materials) [1, 2]. Под гетерогенными материалами подразумеваются материалы с высокой неоднородностью свойств. Причина кратного повышения механических свойств гетерогенных материалов в работе [1] объясняется различием в развитии деформации в пластичных и прочных фазах. Их сочетание приводит к аккомодации деформации в соседних областях, возникновению градиентов деформации за счёт развития встречных напряжений на границах зёрен и формированию дислокационных скоплений, не сопровождающихся образованием микронесплошностей. С этой точки зрения формирование «ламеллярного» (слоистого) микро-, мезо- и макро-строения в металлах и сплавах является предпочтительным с позиции реализации механизмов, обеспечивающих одновременное достижение высоких прочностных и пластических свойств.

Это перспективное направление тем не менее имеет значительное ограничение. Так, согласно [2], если размеры зёрен снижаются ниже 1 мкм, пластичность материалов резко уменьшается, что существенно ограничивает возможность их использования на практике [3]. В литературе обсуждаются различные пути преодоления проблемы снижения пластичности ультрамелкозернистых (наноструктурированных) материалов, в том числе путём формирования градиентного характера изменения их свойств [4]. В качестве методов объёмного измельчения зерна и создания гетерогенной структуры активно применяются равноканальное угловое прессование [5] и др. подходы интенсивной (сдвиговой) пластической деформации. Также эффективен метод формирования «ламеллярного» строения с помощью поперечно-винтовой прокатки (ПВП) [6–9].

В данной работе метод ПВП использовали для создания неоднородной гетерогенной мезо-структуры, прежде всего для повышения ударной вязкости. В качестве объекта исследования была выбрана хорошо изученная вязкая конструкционная сталь 09Г2С феррито-перлитного класса.

#### **Материал и методика исследований**

Высокотемпературную многопроходную поперечно-винтовую прокатку стали с понижением температуры на каждом последующем проходе проводили на трёхвалковом министане винтовой прокатки РСП «14-40» в интервале температур 850–500 °С. После каждого прохода выполняли закалку в воду. Суммарная степень истинной логарифмической деформации стали после пяти

\* Работа выполнена в рамках госзадания ИФПМ СО РАН, проект III.23.1.1.

Уважаемые читатели!

Доступ к полнотекстовой версии журнала  
**«Известия высших учебных заведений. Физика»**  
осуществляется на платформе  
Научной электронной библиотеки eLIBRARY.RU  
на платной основе:

<https://www.elibrary.ru/contents.asp?titleid=7725>