

## ДЕФОРМИРОВАНИЕ УПРОЧНЕННОЙ СТАЛИ

Иванов А.М., Лукин Е.С.

ФГБУН «Институт физико-технических проблем Севера им. В.П. Ларионова  
СО РАН», Якутск, Россия, [a.m.ivanov@jptpn.ysn.ru](mailto:a.m.ivanov@jptpn.ysn.ru)

**Введение.** Как известно, в инженерной практике используют макроскопические характеристики прочности (пределы текучести и прочности) и пластичности (относительное удлинение и сужение) [1]. Для полного понимания сопротивления деформированию и механических свойств металлических материалов необходимы данные о микромеханизмах данного процесса. Задача установления взаимосвязи между микроскопическим и макроскопическим аспектами процесса деформирования актуальна и по настоящее время. Анализ диаграмм деформирования позволяет судить о закономерностях, особенностях деформирования материалов. По диаграммам деформирования определяют механические характеристики материалов. При понижении температуры испытания образцов напряжение, необходимое для преодоления дислокациями препятствий в кристаллической решетке, возрастает, что влияет на характеристики деформации и разрушения металлических материалов [2].

В работе рассматриваются диаграммы деформирования низкоуглеродистой стали СтЗсп в различных состояниях (в состоянии поставки, после экструзии, равноканального углового прессования (РКУП), а также после РКУП и экструзии), полученные при комнатной и отрицательной температуре.

**Материал и методика эксперимента.** Исследовалась конструкционная низкоуглеродистая сталь СтЗсп следующего состава, %: 0,18 С, 0,23 Si, 0,60 Mn, 0,01 Cr,  $\leq 0,003$  Ni, 0,01 P, 0,01 S, 0,05 Cu, 0,05 Al, остальное Fe. Химический анализ проведен на атомно-эмиссионном спектрометре «Foundry-Master» фирмы «Worldwide Analytical Systems AG (WASAG, Германия)».

Размеры заготовок следующие:  $\varnothing 12 \times 40$  мм для экструзии и  $\varnothing 19,7 \times 100$  мм для РКУП. Для реализации режима «РКУП + экструзия», вначале проводилось РКУ-прессование, затем из выпрессованной заготовки изготавливалась заготовка для экструзии. Технологическая обработка заготовок во всех случаях осуществлялась с помощью гидравлического пресса ПСУ–125 с максимальным усилием 1250 кН. Все операции выполнялись в один проход при температуре 673 К. Заготовка предварительно прогревается в муфельной печи до температуры 673 К, после чего она помещается в технологическую оснастку, нагретую до 673 К с помощью накидной печи. Для уменьшения трения поверхности заготовки об стенки канала матрицы использовалась технологическая смазка «РОСОЙЛ-АНГЕЛИНА» с добавками чешуйчатого графита.

Механические испытания образцов на одноосное растяжение были выполнены при комнатной температуре и температуре 213 К на разрывной машине фирмы UTS TestSysteme GmbH (Lammerweg 29.D-89079 Ulm) модели UTS 20k (Германия) при постоянной скорости нагружения, равной  $\approx 3,33 \cdot 10^{-5}$  м·с<sup>-1</sup>.

**Результаты исследований.** Полученные результаты по характеристикам прочности стали СтЗсп в различных состояниях представлены в таблице. В результате экструзии предел текучести  $\sigma_T$  повысился в 2,4 раза, предел прочности  $\sigma_B$  – в 1,8 раз. РКУП и РКУП с экструзией дали следующее повышение: при РКУП –  $\sigma_T$  в 2,3 раза,  $\sigma_B$  в 1,7 раз; при РКУП и экструзии –  $\sigma_T$  в 2,5 раз,  $\sigma_B$  в 1,8 раз. Как видно, при экструзии и РКУП получают сопоставимые значения предела текучести, а предел прочности экструдированной стали незначительно превышает  $\sigma_B$  стали, подвергнутой РКУП. В то

же время, комбинация РКУП и экструзии незначительно повышает  $\sigma_T$  по отношению к экструзии и РКУП, взятых каждый в отдельности. Предел прочности в случае «РКУП+экструзия» практически равен  $\sigma_B$ , достигнутой в результате экструзии, но превышает значение данной характеристики для стали, подвергнутой РКУП.

На рисунках 1 и 2 в качестве примера представлены графики деформирования некоторых образцов из стали СтЗсп в различных состояниях при температуре испытаний 293 и 213 К. Упрочнение стали в исходном состоянии сопровождается понижением её пластичности (рис. 1). Различие в пластичности упрочненной по трем использованным режимам обработки небольшое, в пределах 7-10 %. Из представленных данных следует, что деформационная обработка значительно повышает прочность и понижает пластичность стали СтЗсп, но вместе с тем, для рассмотренных схем деформационной обработки при однопроходных режимах получена сопоставимая пластичность.

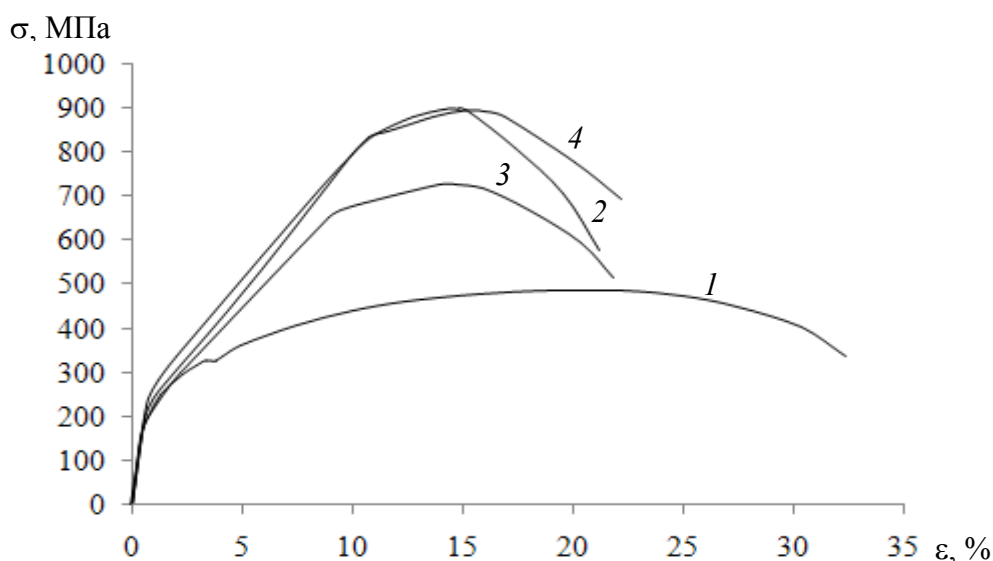


Рисунок 1 - Диаграммы деформирования стали СтЗсп при температуре 293 К:  
1 – исходное состояние; 2 – после экструзии; 3 – после РКУП;  
4 – после РКУП + экструзии.

Таблица – Характеристики прочности стали СтЗсп

№	Состояние стали	$\sigma_T$ , МПа	$\sigma_B$ , МПа
Температура испытания: 293 К			
1	Исходное состояние – состояние поставки	324	483,5
2	Экструзия, 673 К, n=1	763	873
3	РКУП, 673 К, n=1	753,5	806,5
4	РКУП, 673 К, n=1 + экструзия, 673 К, n=1	818	864,5
Температура испытания: 213 К			
5	Состояние поставки – состояние поставки	369,5	547
6	Экструзия, 673 К, n=1	790,5	880
7	РКУП, 673 К, n=1	773	843,5
8	РКУП, 673 К, n=1 + экструзия, 673 К, n=1	854	910,5

Понижение температуры испытания до 213 К сказывается на некотором повышении  $\sigma_T$  и  $\sigma_B$  для стали в исходном состоянии, а для упрочненной разными

способами стали понижение температуры на изменение этих характеристик практически не сказывается (табл., рис. 2).

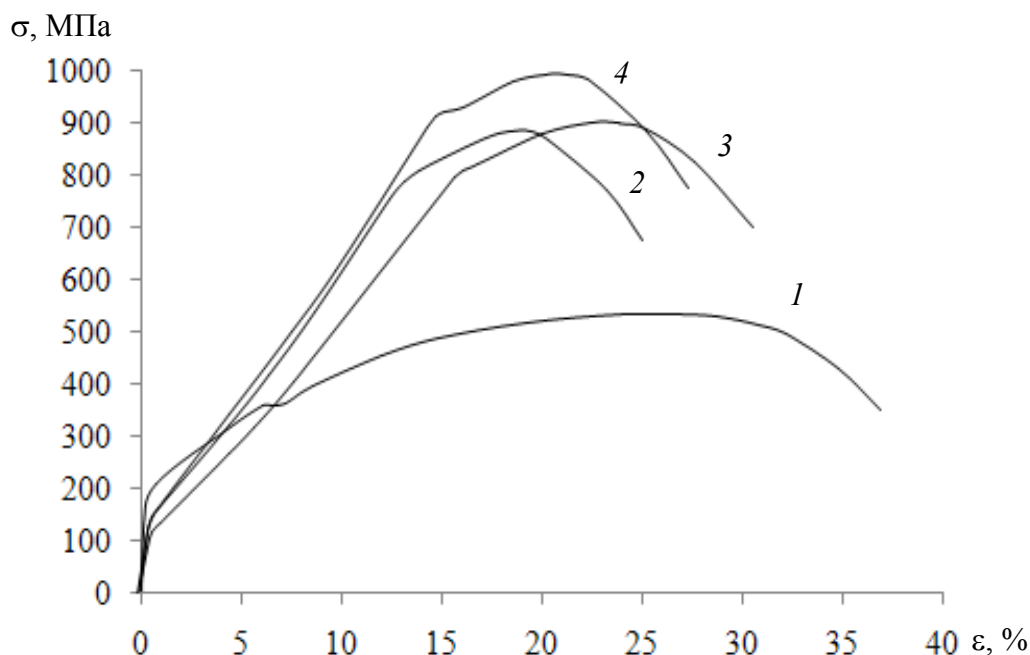


Рисунок 2- Диаграммы деформирования стали Ст3сп при температуре 213 К:  
 1 – исходное состояние; 2 – после экструзии; 3 – после РКУП;  
 4 – после РКУП + экструзии.

Показано повышение относительного остаточного удлинения образцов из Ст3сп при понижении температуры испытаний за исключением случая экструзии.

**Заключение.** Таким образом, в рассматриваемом диапазоне температуры испытаний прочностные характеристики упрочненной стали Ст3сп являются параметрами, малочувствительными к снижению температуры, тогда как наблюдается изменение пластичности за исключением экструзии.

Анализ условных кривых деформирования образцов из Ст3сп в различных состояниях и температурах испытания, отражающих кинетику и стадийность деформирования образцов, на рис. 1 и рис. 2, а также данных в таблице показал, что такие характеристики, как равномерное и полное удлинение стали, обработанной посредством РКУП и РКУП с экструзией, при температуре испытания 213 К выше, чем в случае испытания при комнатной температуре.

*Исследование выполнено в рамках научного проекта № III.28.1.1 по программе III.28.1 СО РАН.*

#### Литература

1. Золоторевский В.С. Механические свойства металлов: Учебник для вузов. М.: Металлургия, 1983. 352 с.
2. Вигли Д.А. Механические свойства материалов при низких температурах. М.: Мир, 1974. 374 с.