

УДК 621.787.2

УПРОЧНЕНИЕ ПРОВОЛОКИ ИЗ СТАЛИ 3  
В ПРОЦЕССЕ ДЕФОРМИРОВАНИЯ ВОЛОЧЕНИЕМ

А.П. АКУЛИЧ, Я.А. АКУЛИЧ

Учреждение образования  
«БРЕСТСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ  
УНИВЕРСИТЕТ»  
Брест, Беларусь

В настоящее время низкоуглеродистая проволока из стали 3 находит применение в различных отраслях промышленности, что и обуславливает важность исследований в области повышения ее прочностных характеристик. В рамках определения путей решения данной задачи, были проведены исследования по изучению влияния термической обработки и различных температурно-скоростных режимов волочения с целью достижения максимальных показателей прочности проволоки.

Перед волочением были использованы два варианта термической обработки заготовки: отжиг и термическое упрочнение. Последнее заключается в резком охлаждении стали, нагретой до температур аустенизации. В результате отжига, который производился от температуры нагрева 920 °С, были получены следующие данные механических свойств проволоки: предел прочности  $\sigma_b=380$  МПа; предел текучести  $\sigma_T=290$  МПа; относительное удлинение  $\delta=37,5$  %; относительное сужение  $\psi=73$  %.

При термической обработке сталь 3 не претерпевает закалку на мартенсит. Даже максимально возможная скорость охлаждения после нагрева стали выше верхней критической точки  $A_{c3}$  оказывается недостаточной для мартенситного превращения.

Однако, несмотря на отсутствие мартенситного превращения, исследования показали, что ускоренное охлаждение приводит к значительному повышению прочностных характеристик при сохранении достаточно высокой пластичности.

Исследования показали, что максимальный прирост прочностных показателей заготовки (содержание углерода 0,12 %) относится к области температур термического упрочнения от 900 до 950 °С. В результате резкого охлаждения в воде с 920 °С пределы прочности и текучести исходной заготовки получили наибольшее увеличение и составили соответственно 920 и 870 МПа, а характеристики пластичности  $\psi$  и  $\delta$  оказались равными 54 % и 12 % соответственно.

Из сопоставления двух вариантов термической обработки следует, что термическое упрочнение проволоки из стали 3 по сравнению с отжигом, позволяет увеличить  $\sigma_b$  почти в 2,5 раза, а  $\sigma_T$  в 3 раза. Изменение механических свойств стали 3 в зависимости от режимов термической обработки подтверждается ее микроструктурой. Так в отожженном состоянии структура стали является крупнозернистой и состоит в основном



из феррита и незначительного количества перлита. Термическое упрочнение от температуры 920 °С обеспечивает преобладание в структуре высокоизмельченного перлита, а также небольшого количества перенасыщенного феррита.

Таким образом, в основе повышения прочности стали 3 при термическом упрочнении лежит понижение температуры превращения аустенита в перлитном интервале после нагрева ее выше критической точки  $A_{c3}$ . Между такой обработкой и обычной закалкой, как было показано выше, имеется принципиальное различие, но в то же время указанная обработка позволяет достичь высоких значений показателей прочности стали.

Исследование возможности дальнейшего упрочнения проволоки из стали 3 проводилось путем волочения в широком интервале повышенных температур до 500 °С, в различных скоростных режимах. Этот температурный интервал деформирования характеризуется значительными изменениями, происходящими в структуре металла, что и обуславливает изменение его механических свойств.

Волочение проволоки в условиях повышенных температур до 500 °С показало, что при определенных условиях деформирования обнаруживается нарушение обычной зависимости изменения механических свойств. Такая особенность характерна при волочении проволоки в температурном интервале деформационного старения металла, который для данной стали соответствует 150–350 °С.

Предварительная термическая обработка заготовки, оказывая влияние на величину зерна и содержание примесных атомов в твердом растворе, существенным образом влияет на протекание процессов динамического деформационного старения стали. Однако, это влияние носит преимущественно количественный характер. Проведенный анализ показывает, что склонность к деформационному старению термически упрочненной стали значительно ниже, чем отожженной. Так, например, в результате волочения отожженной заготовки ( $v_{\text{вол.}}=2$  м/мин, степень обжатия  $\varepsilon=19$  %) при температуре 250 °С, соответствующей максимальному развитию деформационного старения, значения  $\sigma_{\text{в}}$  и  $\sigma_{\text{т}}$  увеличились соответственно на 90 и 110 МПа, по сравнению с волочением при комнатной температуре. В то же время, волочение термически упрочненной заготовки при идентичных условиях приводит к незначительному увеличению прочностных свойств.

Таким образом, увеличение прочностных показателей стали 3 в области температур деформационного старения является следствием усиленного взаимодействия дислокаций с атомами примесей внедрения, особенно азота и углерода и процессов выпадения мелкодисперсных частиц.