

**С. А. Демидов, А. В. Левина, Н. Н. Озерец, В. А. Шарапова,
Г. А. Ягудин**

Уральский федеральный университет
имени первого Президента России Б. Н. Ельцина, г. Екатеринбург
stera.demidov@gmail.com

Научный руководитель – проф., д-р техн. наук *Л. А. Мальцева*

ИЗУЧЕНИЕ СТРУКТУРЫ, СВОЙСТВ И РЕЛАКСАЦИОННОЙ СТОЙКОСТИ АУСТЕНИТНОЙ СТАЛИ

АННОТАЦИЯ

В работе изучены структура, свойства и релаксационная стойкость аустенитной стали 03X14H10K5M2YUT после различных термомеханических обработок в соответствии с основными технологическими этапами получения высокопрочной проволоки. Наиболее высокое сопротивление релаксации напряжений наблюдается после обработки по режиму: закалка, холодная пластическая деформация и последующее старение при 500 °С, 1 ч. Сталь 03X14H10K5M2YUT после обработки по оптимальному режиму является теплостойкой и может быть использована для высоконагруженных пружин и упругих элементов.

Ключевые слова: аустенитная сталь, проволока, высоконагруженные пружины.

ABSTRACT

Structure, properties and the relaxation resistance of austenitic steel 03H14N10K5M2YUT after various thermomechanical treatments in accordance with the basic technological stages produce high-tensile wire have been studied in the work. After processing mode: quenching, cold working and subsequent aging at 500 °C, 1 hr. at the most rapid stress relaxation resistance. Steel 03H14N10K5M2YUT after processing by the optimum mode is heat resistant and can be used for heavy duty springs and elastic elements.

Key words: austenitic steel, wire, heavy duty springs.

На кафедре металловедения УрФУ разработана сталь 03X14H10K5M2YUT оригинальной системы легирования, которая обладает высокой пластичностью, что позволило проведение холодной пластической деформации для формирования высокопрочного состояния и получения проволоки тонкого сечения. Целью данного исследования является изучение структуры, свойств и релаксационной стойкости аустенитной стали 03X14H10K5M2YUT после различных термомеханических обработок

в соответствии с основными технологическими этапами получения высокопрочной проволоки.

Исследуемая сталь после закалки была подвергнута холодной пластической деформации волочением (с диаметра 5,2 на диаметр 2,5 мм). Затем проволока была сплющена в ленту шириной 5,7 мм и толщиной 0,6 мм. Степень деформации при волочении составила 77 %, при прокатке – 76 %. После закалки и деформации было проведено старение при температурах 300...600 °С в течение 1 ч.

Технология получения высокопрочных упругих элементов из метастабильных аустенитных сталей предполагает использование высоких суммарных степеней деформации волочением для проволоки или плющением для ленты. Пластическая деформация не только обеспечивает получение заготовки заданного размера, но и является эффективным способом структурного упрочнения и формирования конечных служебных свойств будущего изделия. В связи с этим, практический интерес представляло изучить потенциальные возможности новой исследуемой стали при холодной пластической деформации.

Как показали данные рентгеноструктурного анализа холоднодеформированных образцов, аустенит исследуемой стали 03X14N10K5M2ЮТ является деформационно-метастабильным и при холодной пластической деформации претерпевает мартенситное превращение. После волочения и плющения количество мартенсита составляет около 80 %.

В результате механических испытаний исследуемой стали после деформации установлено, что в процессе волочения и последующего плющения наряду с повышением прочностных характеристик ($\sigma_{0,2} = 580$ МПа, $\sigma_B = 1350$ МПа) наблюдали снижение пластических свойств ($\delta = 5$ %). Холодная пластическая деформация приводит к упрочнению не только в следствие наклепа и увеличения дефектности структуры, но и в результате протекания мартенситного превращения $\gamma \rightarrow \alpha$ и образования мелких кристаллов мартенсита деформации.

Ранее проведенными исследованиями было показано, что в метастабильных аустенитных сталях дополнительно повысить прочность можно при старении деформированных образцов, в результате которого из ОЦК-фазы (мартенсита деформации) выделяется интерметаллидная фаза NiAl. Последеформационное старение исследуемой стали привело к увеличению твердости на 120 HV. Наибольший прирост твердости наблюдается при старении 500 °С, что связано с выделением упрочняющей интерметаллидной фазы. При увеличении температуры старения до 600 °С в результате перестаривания твердость падает.

В связи с тем, что сталь 03X14N10K5M2ЮТ, в виду особенностей ее легирования, обладает высокой пластичностью и технологичностью в закаленном состоянии, это позволяет использовать метод интенсивных пластических деформации для формирования высоких прочностных

свойств. Особую важность приобретает выяснение способности данных сталей сопротивляться развитию релаксационных процессов при повышенных температурах, что дает возможность судить об уровне их теплостойкости.

Релаксацию напряжений при изгибе проводили при температуре 400 °С в течение 5, 10, 20, 30, 60, 120 мин, а затем с периодичностью через 2–3 часа до общей выдержки в 30 час. Испытания на релаксацию напряжений проводили на ленточных образцах, деформированных и состаренных при 400, 500 и 600 °С.

Исследование механических свойств пружинной ленты показало, что старение предварительно закаленных образцов не приводит к заметному изменению упругих свойств, в то время как холодная пластическая деформация (волочением и плющением) привела к существенному повышению предела упругости (с 300 до 750 МПа). Повышение упругих свойств в результате холодной пластической деформации обусловлено, с одной стороны, наклепом и усилением дефектности структуры γ -твердого раствора вследствие развития пластического деформирования путем скольжения и двойникования, а с другой стороны, интенсивностью протекания $\gamma \rightarrow \alpha$ превращения, появлением в аустените высокодисперсных кристаллов мартенсита деформации.

Следует подчеркнуть, что количество мартенсита деформации в исследуемой метастабильной аустенитной стали при деформации достигает ~80 %. Последующее старение дополнительно повышает предел упругости деформированной стали. Максимальные значения условного предела упругости ($\sigma_{0,03}$) достигаются при температурах 500 °С, что связано с процессами распада ОЦК-твердого раствора (мартенсита деформации) с образованием упорядоченного алюминида NiAl.

Наряду с упругими и пластическими свойствами пружинной ленты важной характеристикой является их релаксационная стойкость при повышенных температурах. Для высокопрочных материалов, к которым следует отнести и исследуемую метастабильную аустенитную сталь, следует иметь в виду, что достижение высокой прочности практически всегда основано на получении метастабильного состояния. Для метастабильного состояния релаксация обусловлена взаимодействием структурного и сдвигового механизма. Интенсивность процесса релаксации находится в сложной зависимости от температурно-временных параметров испытания и режимов термомеханического упрочнения. При определенных условиях релаксационная устойчивость может преимущественно зависеть от активности того механизма релаксации, который становится ведущим звеном в релаксационном процессе.

Наиболее низкая релаксационная стойкость наблюдается после закалки и пластической деформации. Значительная релаксация напряжений после закалки и холодной пластической деформации обусловлена интенсивным развитием структурного механизма релаксации, связанного с

протеканием процессов стабилизирующих структуру непосредственно в поле приложения напряжений изгиба. При анализе релаксационной стойкости нестабильных сталей необходимо учитывать также роль мартенсита деформации в осуществлении релаксации. Образование мартенсита способствует усилению упрочнения, при этом наиболее заметно его влияние наблюдается при старении.

Эффективность повышения прочностных свойств при старении находится в зависимости от объемной доли мартенсита. Деформационное старение можно рассматривать как гетерогенный распад ОЦК - твердого раствора в условиях высокой плотности дефектов, идущий с выделением частиц избыточной фазы. Оно не только способствует термической стабильности структуры, но и при соответствующих температурно-временных условиях нагрева может дополнительно повышать прочностные характеристики (в первую очередь предел упругости) деформированных сталей. Благодаря этому возрастает сопротивление сдвиговому механизму релаксации, ослабляется влияние структурного и, как следствие, наблюдается существенное усиление релаксационной стойкости.

Из полученных данных можно сделать вывод, что на релаксационную стойкость деформированной стали существенное влияние оказывает степень структурной метастабильности. Дополнительное старение увеличивает сопротивление релаксации напряжений при температуре 400 °С, особенно в том случае, когда температура старения становится выше температуры релаксации, т. е. при 500 и 600 °С, что сопровождается увеличением стабильности структуры. При этом снижение релаксирующего напряжения не превышает 12 %, что свидетельствует о высокой релаксационной стойкости стали 03X14H10K5M2ЮТ при повышенных температурах.

Сталь 03X14H10K5M2ЮТ после обработки по оптимальному режиму является теплостойкой и может быть использована для высоконагруженных пружин и упругих элементов