

## СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ КОНСТРУКЦИОННОЙ РЕССОРНО-ПРУЖИННОЙ СТАЛИ С ЦЕЛЬЮ ПОВЫШЕНИЯ МЕХАНИЧЕСКИХ И ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ СВОЙСТВ

*Н. К. ТУРСУНОВ, С. Н. АБСАТТАРОВ.*

*Ташкентский государственный транспортный университет, Республика Узбекистан*

Одной из ключевых задач науки и техники является улучшение эксплуатационных и технологических характеристик промышленных изделий, а также повышение технического уровня и качества продукции. Постоянное ужесточение требований к надежности работы конструктивных элементов требует более детального анализа условий их эксплуатации. Большинство деталей в процессе использования подвергаются циклическим нагрузкам, поэтому проблема выносливости материалов особенно актуальна для железнодорожной отрасли.

Наиболее важными элементами в этой сфере являются внутренние и наружные пружины тележек грузовых вагонов.

В настоящее время витые цилиндрические пружины (рисунок 1) широко применяются как упругие элементы ходовых частей вагонов. Благодаря таким преимуществам, как высокая упругость, простота производства, легкость установки и демонтажа, а также длительный срок службы, они практически полностью вытеснили листовые рессоры.

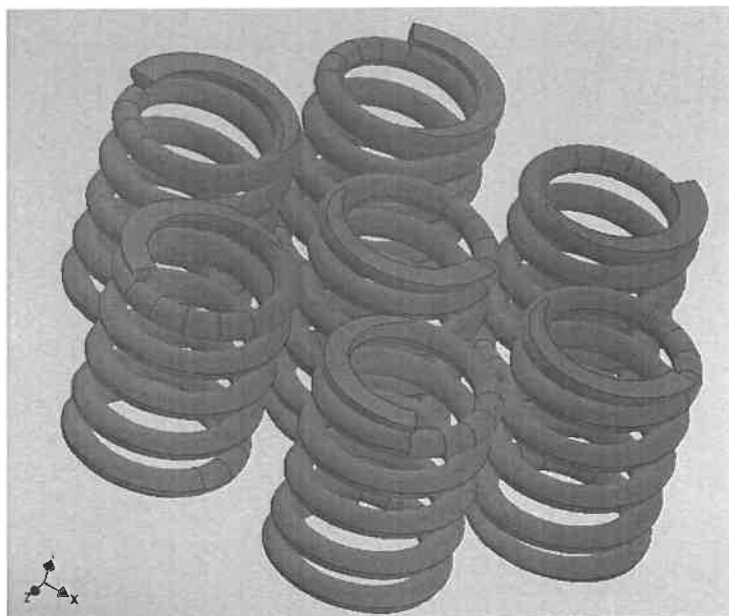


Рисунок 1 – Комплект наружных пружин рессорного подвешивания

Пружины и рессоры в процессе эксплуатации подвергаются многократным знакопеременным нагрузкам и должны полностью восстанавливать свои первоначальные размеры после их снятия [1]. В связи с этим металл, используемый для их изготовления, должен обладать не только необходимой прочностью при статических, динамических или циклических нагрузках, но и высокой пластичностью, пределом упругости, выносливостью и стойкостью к релаксации. В условиях работы в агрессивных средах металл также должен быть коррозионностойким.

На сегодня пружины упрочняют следующими методами:

- холодная пластическая деформация с последующим низкотемпературным отпуском (старением);
- закалка с отпуском (упрочнение за счет мартенситного превращения);
- закалка с последующим старением (упрочнение посредством дисперсионного твердения).

Кремнистые стали 55С2 (А) и 60С2 (А) широко применяются для изготовления рессор и пружин в автомобилях и на подвижном составе железнодорожного транспорта. Работа этих деталей связана с использованием только упругих свойств стали, которые зависят от конструкции пружины – коли-

чества витков, их диаметра и длины. Пластическая деформация недопустима, поэтому от материала требуется высокий предел упругости, а не высокая пластичность или ударная вязкость.

Основные требования к рессорно-пружинным сталям включают высокое сопротивление малым пластическим деформациям и стойкость к релаксации напряжений, что гарантирует точность работы пружин и стабильность их эксплуатационных характеристик. Пружинные стали упрочняются холодной пластической деформацией и закалкой с последующим отпуском, а готовые пружины подвергаются стабилизирующему отпуску.

Наивысшие эксплуатационные свойства достигаются при твердости HRC 40–45, что обеспечивается закалкой с полным мартенситным превращением и средним отпуском при температуре 400–500 °С, в зависимости от марки стали [2].

В данной работе были проведены эксперименты по термообработке внутренних (диаметр 22 мм) и наружных пружин (диаметр 30 мм) тележки грузового вагона для повышения их механических свойств. Пружины изготавливались из стали 55С2 по ГОСТ 14959, химический состав которой приведен в таблице 1, упрочнялись закалкой в масле и средним отпуском [1].

Таблица 1 – Химический состав исследуемой стали

Марка стали	Массовая доля элементов, %								
	C	Si	Mn	Cr	V	W	Ni	B	Cu, не более
55С2	0,52–0,6	1,5–2,0	0,6–0,9	<0,3	–	–	<0,25	–	0,2

В работе исследовали влияние температуры и продолжительности термообработки на механические свойства пружины. Температуру камеры печи в режиме закалки изменяли от 840 до 900 °С, а в режиме отпуска – от 430 до 480 °С (рисунок 2).

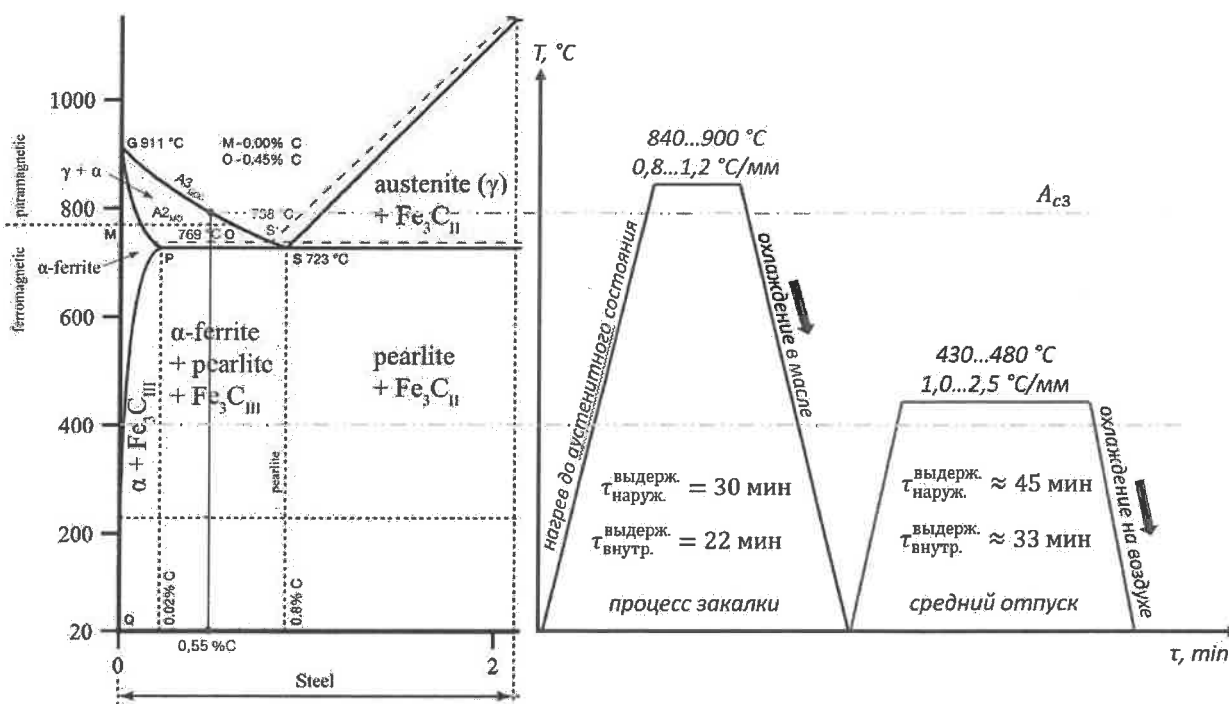


Рисунок 2 – Режим упрочняющей термической обработки стали 55С2

Продолжительность термообработки в режиме закалки варьировалась от 0,8 до 1,2 °С/мм, а в режиме отпуска – от 1 до 2,5 °С/мм. Проведено более 300 экспериментов с различными режимами обработки, что позволило в условиях опытно-промышленного производства выполнить комплексные исследования по термообработке внутренних и наружных пружин тележек грузовых вагонов.

На рисунке 3 представлена микроструктура стали 55С2, состоящая из перлита с небольшим количеством дозвтектоидного феррита, который находится в деформированном состоянии и беспорядочно ориентирован. Белые участки микроструктуры отражают различные формы нерастворенного цементита, который также присутствует в материале.

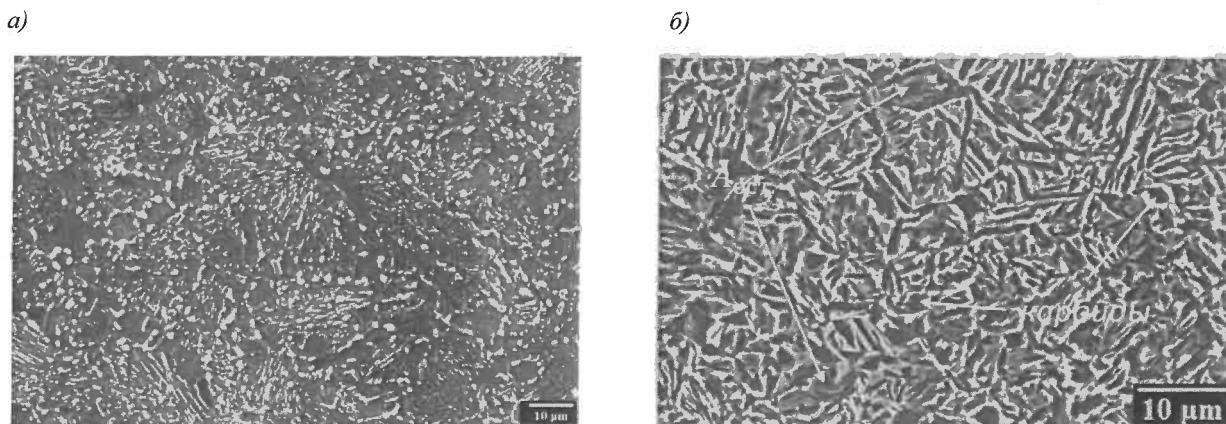


Рисунок 3 – Микроструктура исследуемой стали:  
*а* – до упрочняющей термообработки; *б* – после ТО

В микроструктуре стали после упрочняющей термообработки (см. рисунок 3, *б*) наблюдается бейнитная структура, которая состоит из темного травленого бейнитного феррита, мягкого феррита в отдельных зонах и остаточного аустенита. При температурном интервале 460–480 °С бейнит приобретает широкую перистую структуру, называемую верхним бейнитом. Присутствие мягкого феррита трудно выявить в образцах с верхнебейнитной структурой, так как бейнитно-ферритная структура, сформировавшаяся при этих температурах, также обладает пластинчатой морфологией, аналогичной мягкому ферриту. При более длительном отпуске и повышении температуры превращения (460–480 °С) происходит активное зарождение бейнитных ферритных игл, что приводит к увеличению бейнитно-ферритных пластин [3]. В результате снижается содержание остаточного аустенита в материале.

В ходе исследований были получены количественные зависимости основных технологических параметров термообработки, которые легли в основу новой технологической инструкции для производства пружин тележек грузовых вагонов. Эта инструкция отражает влияние температуры и времени выдержки в печи на механические и эксплуатационные свойства пружин.

Внедрение предложенной технологии позволило значительно улучшить качество готовой продукции, повысить ее механические характеристики, а также улучшить макро- и микроструктуру металла по сравнению с ранее применяемой технологией. Кроме того, это привело к увеличению выхода годных пружин тележек грузовых вагонов.

#### Список литературы

- 1 ГОСТ 1452–2011. Пружины цилиндрические винтовые тележек и ударно-тяговых приборов подвижного состава железных дорог. Технические условия (с изм. № 1, с поправкой). – М. : Стандартинформ, 2016. – 27 с.
- 2 Семёнов, М. Ю. Определение углеродного потенциала и коэффициента массопереноса углерода при вакуумной цементации сталей / М. Ю. Семёнов // *Металловедение и термическая обработка металлов*. – 2024. – № 1. – С. 8–13.
- 3 Acharya, P. P. Microstructure and mechanical properties of austempered AISI 9255 high-silicon steel / P. P. Acharya, R. Udupa, R. Bhat // *Materials Science and Technology*. – 2018. – Vol. 34, no. 3. – P. 355–365.

УДК 66.047.7:669.295

### НАГРЕВ НЕПОДВИЖНОГО СЛОЯ ОКАТЫШЕЙ ПОТОКОМ ГАЗА

*Н. К. ТУРСУНОВ, Э. М. БАХТЕЕВ, С. Н. АБСАТТАРОВ*

*Ташкентский государственный транспортный университет, Республика Узбекистан*

Проблема рационального использования топливно-энергетических ресурсов наиболее важна для энергоёмких промышленных производств [1].

Эффективное решение задачи оптимального управления любым сложным объектом, как правило, связано с достаточно полным рассмотрением физической сущности протекающих в нем процессов и анализом их особенностей [2, 3].