

Investigation of technological modes of heat treatment of steel 60Si2CrV to improve the mechanical characteristics of spring-loaded parts

S.N. Absattarov¹^a, N.Q. Tursunov¹^b

¹Tashkent state transport university, Tashkent, Uzbekistan

Abstract:

The article considers the effects of the temperature of the cooling medium during heat treatment on the mechanical characteristics of spring steel 60Si2CrV. The dependences of hardness, tensile strength and elongation of steel on the temperature of the quenching medium are shown. It has been established that the optimal temperature range of the cooling medium is from 20 to 30 °C, which makes it possible to achieve high mechanical characteristics of the material. The results obtained can be useful for optimizing the heat treatment of cylindrical springs of freight wagons, ensuring their durability and reliability.

Keywords:

hardness, temperature, cooling medium, quenching, tempering, fracture

Исследование технологических режимов термической обработки стали 60С2ХФА для улучшения механических характеристик рессорно-пружинных деталей

Абсаттаров С.Н.¹^a, Турсунов Н.К.¹^b

¹Ташкентский государственный транспортный университет, Ташкент, Узбекистан

Аннотация:

В статье рассмотрены влияния температуры охлаждающей среды при термической обработке на механические характеристики рессорно-пружинной стали 60С2ХФА. Показаны зависимости твердости, предела прочности и относительного удлинения стали от температуры закалочной среды. Установлено, что оптимальный температурный диапазон охлаждающей среды составляет от 20 до 30 °C, что позволяет достичь высоких механических характеристик материала. Полученные результаты могут быть полезны для оптимизации термической обработки цилиндрических пружин грузовых вагонов, обеспечивая их долговечность и надежность.

Ключевые слова:

твердость, температура, охлаждающая среда, закалка, отпуск, излом

1. Введение

Большинство пружинных сплавов — стали, упрочняемые мартенситным превращением, при котором обеспечиваются высокие значения твердости и прочности. Эти стали используют в различных областях машиностроения для изготовления весьма ответственных упругих элементов [1].

Упрочняющая термическая обработка пружинных сталей заключается в проведении закалки в масле с последующим отпуском. Установлено, что получаемая после такой обработки твердость пружин резко возрастает. Высокая твердость способствует возрастанию упругих свойств и предела прочности пружинных сталей, в результате чего остаточные деформации резко уменьшаются, и благодаря этому пружины более продолжительное время работают без недопустимых потерь геометрических и силовых параметров [2].

Охлаждение при закалке с аустенитной области должно обеспечить получение мартенситной структуры. Охлаждение необходимо осуществлять со скоростью большей, чем критическая скорость закалки [3]. Высокая скорость охлаждения должна быть в

температурном интервале минимальной устойчивости аустенита, а в мартенситном интервале ее желательно уменьшить, чтобы снизить возникающие внутренние напряжения [4]. Таким условиям охлаждения соответствуют минеральные масла.

Масло как закалочная среда имеет следующие преимущества: небольшую скорость охлаждения в мартенситном интервале температур, что уменьшает возникновение закалочных дефектов, и постоянство закаливающей способности в широком интервале температур среды. К недостаткам следует отнести повышенную воспламеняемость, недостаточную стабильность и низкую охлаждающую способность в области температур перлитного превращения, а также повышенную стоимость [5]. Перемешивание масла эффективно повышает скорость и равномерность охлаждения; в процессе работы масло окисляется, густеет и его охлаждающая способность уменьшается, что приводит к частым заменам отработанного масла на новое [6].

Температура закалочной среды влияет на критическую скорость закалки. Чем ниже температура масла, тем выше скорость охлаждения и наоборот [7]. В существующих литературах [8–11] рекомендуется интервал температуры масла от 40 до 80 °C для сталей

^a <https://orcid.org/0009-0003-3658-7616>

^b <https://orcid.org/0009-0008-7910-3980>



общего назначения, но отсутствуют нижний и верхний пределы температуры для пружинных сталей. Даже с наличием циркуляционного оборудования температура масла в закалочном баке значительно возрастает в момент опускания партии нагретых деталей, что еще больше понижает охлаждающую способность. Кроме того, отсутствуют систематические и литературные данные влияния температуры охлаждающей среды на механические свойства сталей, в связи с чем целью данной статьи явилась установление зависимости температуры закалочной среды на механические свойства рессорно-пружинной стали 60С2ХФА, применяемая для изготовления цилиндрических пружин грузовых вагонов железнодорожного транспорта.

2. Методология исследования

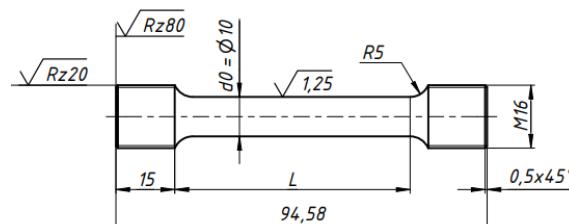
Объектами исследования служили галтели в количестве 14 шт. (рис. 1), изготовленные по ГОСТ 1497-84 [12] из прутков 60С2ХФА. Химический состав которых приведен в таблице 1.

Упрочняющая термическая обработка (рис. 2) проводилась^a в электрической камерной печи СНОП-12.15.10/1000. Исследуемые образцы нагревались под закалку вместе с пружинами до 880 ± 5 °C, выдержка 10 минут при этой температуре (из графика прокаливаемости стали 60С2ХФА на 1 мм закаленной зоны требуется 1 мин). Охлаждение осуществлялось в масле, температура которого варьировалась в пределах от $5 \pm 2,5$ до $40 \pm 2,5$ °C. Такой значительный допуск $\pm 2,5$ °C обусловлен со сложностью поддержания температуры масла постоянной во время закалки. Далее проводился отпуск образцов так же, как в процессе закалки, вместе с пружинами при температуре 510 °C. Продолжительность отпуска составляла 1 час. Охлаждение проводилось на спокойном воздухе.

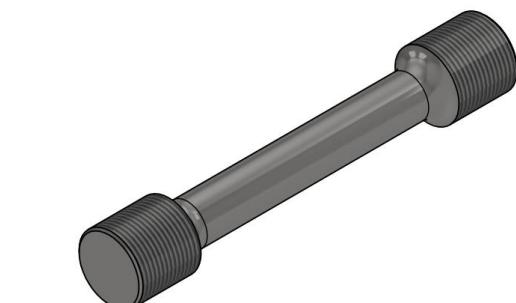
Таблица 1

Химический состав стали 60С2ХФА

C	0,56 – 0,64
Si	1,40 – 1,80
Mn	0,40 – 0,70
Cr	0,90 – 1,20
V	0,10 – 0,20
Ni	$\leq 0,30$
S	$\leq 0,025$
P	$\leq 0,025$
Cu, не более	0,20



a)



b)

Рис. 1. Образцы из стали 60С2ХФА:
а) чертеж изделия, б) 3D-модель образца

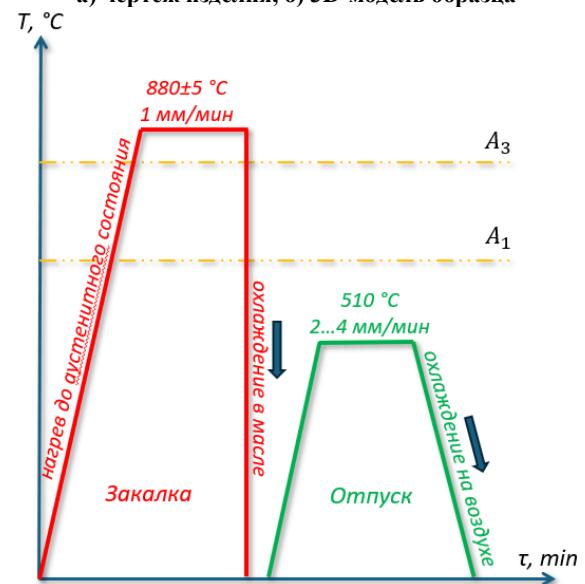


Рис. 2. Режим упрочняющей термической обработки стали марки 60С2ХФА

Перед измерением твердости образцов торцы были отшлифованы на шлифовально-полировальной машине Buehler MetaservTM Vector LC 250 (рис. 3). Твердость измерялась с помощью портативного комбинированного твердомера МЕТ-УДА (рис. 4) по шкале "С" Роквелла по принципу отскока. Диапазон измерений от 20 до 70 HRC, пределы допускаемой погрешности ± 2 HRC.



Рис. 3. Шлифовально-полировальная машина Buehler MetaservTM Vector LC 250

^a Термическая обработка образцов и пружин проводилась в пружинном цеху в Ташкентском литьево-механическом заводе.



Рис. 4. Твердомер портативный комбинированный МЕТ-УДА

Испытания на разрыв образцов проводились на универсальной испытательной машине типа ГМС-50 №134^b (рис. 5). Машина ГМС-50 является стационарной универсальной испытательной гидравлической установкой с вертикальным приложением нагрузки к испытуемому образцу. Диапазон измерения составляет от 2000 до 50000 кг. Погрешность показаний по шкале нагрузок не более ± 1 % от измеряемой нагрузки.



Рис. 5. Универсальная испытательная машина типа ГМС-50

^b Испытания на разрыв проводились в центральной лаборатории в Ташкентском тепловозоремонтном заводе

3. Заключение

По результатам испытания на разрыв получены макроскопические виды поверхностей изломов образцов (рис. 6), на которых заметны три зоны: 1 – волокнистая зона, 2 – радиальная зона, 3 – зона среза.

Волокнистая зона отвечает области медленного роста трещины. Она расположена в центре излома и окружает очаг разрушения, который находится на оси растяжения. Волокнистая зона состоит из области случайно расположенных тонких круговых борозд. Борозды расположены перпендикулярно к направлению распространения трещины – от очага к периферии образца. Такие признаки присущи стабильным субкритическим трещинам, распространение которых требует затраты относительно высокой энергии.

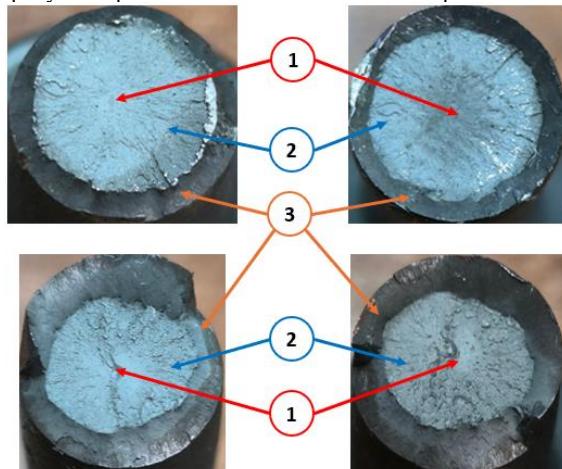


Рис. 6. Поверхности излома образцов после упрочняющей термической обработки

Точкой, в которой сходятся *радиальные рубцы*, является очаг излома. Рубцы довольно тонкие, что справедливо для высокопрочных сталей [13]. Тонкие радиальные рубцы указывают главным образом на наличие квазискола или межзеренного излома. *Зона среза* состоит из ровного кольцеобразного участка, смежного со свободной поверхностью образца. Поверхность данной зоны находится под углом $\sim 45^\circ$ к оси растяжения.

Получена зависимость твердости исследуемых образцов от температуры закалочной среды (рис. 7). Показаны верхний и нижний пределы температуры масла. По принятым нормам значение твердости пружины должна лежать в диапазоне от 40,5 до 46,5 HRC. Согласно полученным данным, нижняя температура масла соответствует 20°C , а верхняя $\sim 35^\circ\text{C}$. Зеленая область показывает рекомендуемый интервал температур, т.е. от 20 до 30°C . Такой вывод следует из явления проседания пружин, так как при заневоливании наблюдается уменьшение высоты пружины больше допускаемой. Полученная зависимость твердости от температуры масла является линейной с коэффициентом детерминации $R^2=0,9801$. Таким образом, с повышением температуры закалочной среды понижается твердость готового изделия.

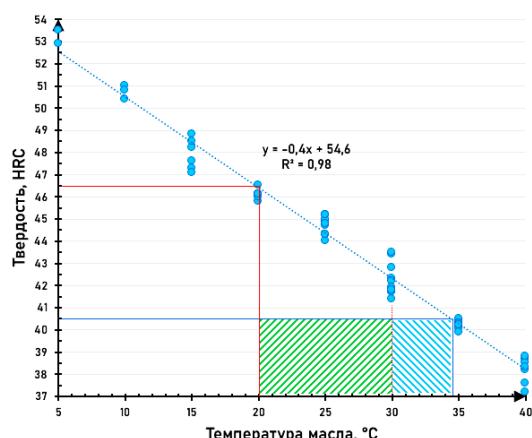


Рис. 7. Зависимость твердости стали 60С2ХФА от температуры масла

Зависимость предела прочности и относительного удлинения также получается линейной с коэффициентом корреляции $R^2=0,9763$ и $R^2=0,9767$ соответственно. (рис. 8). По ГОСТ 14959-2016 значение предела прочности для исследуемой марки должна составлять не менее 1670 МПа, а значение относительного удлинения — не менее 6 %. [14]. В интервале вышеприведенной (см. рис. 7) рекомендованной температуры масла (20...30 °C) значение предела прочности лежит в диапазоне ~ 1740...1880 МПа, а значение относительного удлинения — 6...9 %. Таким образом, полученные зависимости (рис. 8а, б) не противоречат указанным в ГОСТе требованиям.

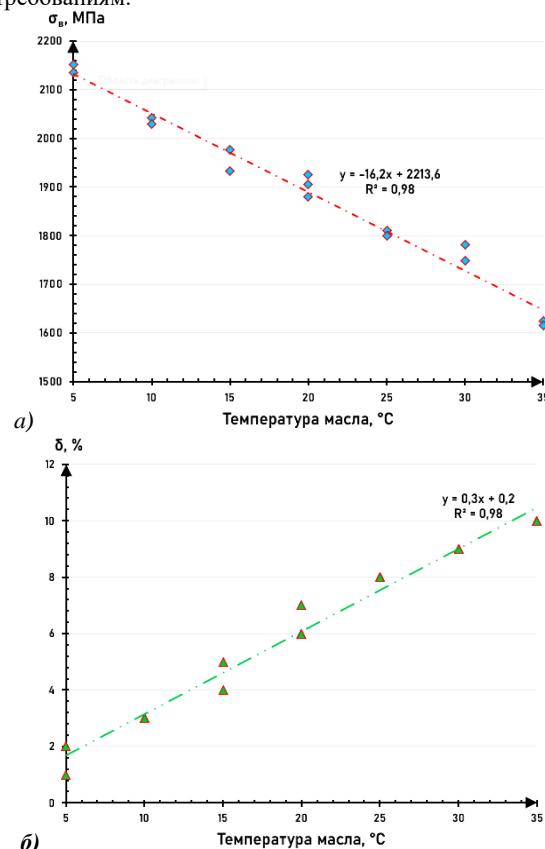


Рис. 8. Зависимость механических свойств (а – предела прочности, б – относительного удлинения) 60С2ХФА от температуры масла

4. Выводы

1. Проведены исследования технологических режимов термической обработки стали, используемой для рессорно-пружинных деталей. Показано, что температура охлаждающей среды оказывает значительное влияние на механические характеристики, стали марки 60С2ХФА, т.е. с повышением температуры среды твердость и предел прочности снижается, относительное удлинение увеличивается, а с понижением температуры наоборот.

2. Получена зависимость механических свойств от температуры охлаждающей среды, позволяющая прогнозировать характеристики стали марки 60С2ХФА при изменении условий охлаждения.

3. Установлено, что оптимальный температурный диапазон охлаждающей среды для обеспечения наилучших механических характеристик составляет от 20 до 30 °C. При этом интервале температур достигаются значения твердости по Роквеллю от 40,5 до 46,5 HRC, предела прочности от 1740 до 1880 МПа и относительного удлинения от 6 до 9 %, что соответствуют требованиям ГОСТ 14959-2016.

4. Использование охлаждающей среды с рекомендованной температурой, позволило минимизировать остаточные деформации пружин и продлить срок их эксплуатации без значительных потерь геометрических и силовых параметров, что положено в основу технологии термической обработки стали марки 60С2ХФА с улучшенными механическими и эксплуатационными свойствами рессорно-пружинных деталей Ташкентского литейно-механического завода.

Использованная литература / References

- [1] Рахштадт, А. Г. (1982). Пружинные стали и сплавы.
- [2] Тебенко, Ю. М., & Землянушнова, Н. Ю. (2005). Анализ методов улучшения качества пружин. Оборонный комплекс-научно-техническому прогрессу России, (2), 20-26.
- [3] Н. К. Турсунов, С. Н. Абсаттаров. Совершенствование технологии термической обработки конструкционной рессорно-пружинной стали с целью повышения механических и эксплуатационных свойств // Проблемы безопасности на транспорте: Материалы XIII Междунар. науч.-практ. конф., посвященной году качества; Гомель, БелГУТ. – 2024. – С. 153-155.
- [4] Salokhiddin, A., Nodirjon, T., Erkin, B., Sadreddin, A., & Kholida, K. (2024). Investigation of the Carbon Potential in a Low-Pressure Environment for Alloy Steels After the Carburizing Process. Universum: технические науки, 5(9 (126)), 5-8.
- [5] Лахтин, Ю. М., & Арзамасов, Б. Н. (1985). Химико-термическая обработка металлов.
- [6] Смирнов, М. А., Счастливцев, В. М., & Журавлев, Л. Г. (1999). Основы термической обработки стали: Учебное пособие. Екатеринбург: УрО РАН, 495.
- [7] Семёнов, М. Ю., Смирнов, А. Е., Фомина, Л. П., & Абсаттаров, С. Н. У. (2024). Определение углеродного потенциала и коэффициента массопереноса углерода



при вакуумной цементации сталей. Металловедение и термическая обработка металлов, (1), 8-13.

[8] ГОСТ 1497-84. Методы испытаний на растяжение. – М.: Стандартинформ, 2008.

[9] Марков, А. М., Габец, А. В., Габец, Д. А., & Гавриков, Д. В. (2016). Пружины рессорного комплекта тележек грузовых вагонов. Актуальные проблемы в машиностроении, (3), 194-198.

[10] Malinov, L., Burova, D., & Malysheva, I. (2018). Повышение механических свойств рессорно-пружинных сталей получением многофазной структуры с метастабильным аустенитом. Нові матеріали і технології в металургії та машинобудуванні, (1).

[11] Дубасов, В. М., Могильная, Е. П., & Пономарева, Н. В. (2016). Влияние режимов термической обработки на структуру и свойства наружных пружин подвижного состава. Ресурсосберегающие технологии производства и обработки давлением материалов в машиностроении, (1), 69-74.

[12] Malinov, L. S., Malysheva, I. E., & Malinova, D. V. (2012). Influence of Heat Treatment with Heating in the Intercritical Temperature Range on the Properties of Steels 60C2A and 60C2ХФА. Metallurgical and Mining Industry, 4(1), 27.

[13] Феллоуз, Д. (1982). Фрактография и атлас фрактограмм. М.: Металлургия.

[14] ГОСТ 14959-2016. Металлопродукция из рессорно-пружинной нелегированной и легированной стали. Технические условия. – М.: Стандартинформ, 2017.

Информация об авторах/ Information about the authors

Абсаттаров Салохиддин Нуритдин угли /Absattarov Salokhiddin Nuritdin ugli	Ташкентский государственный транспортный университет, ассистент кафедры «Материаловедение и машиностроение», asn17503@yandex.ru Тел.: +998903989996 https://orcid.org/0009-0003-3658-7616
Турсунов Нодиржон Каюмжонович /Tursunov Nodirjon Qayumjonovich	Ташкентский государственный транспортный университет, д.т.н., профессор кафедры «Материаловедение и машиностроение», u_nadir@mail.ru Тел.: +998990012371 https://orcid.org/0009-0008-7910-3980

