

УДК 671.78

DOI: 10.47813/mip.4.2022.4.30-35

EDN: [SKXUNX](#)



## Влияние процессов термической обработки на свойства и структуру углеродистой и легированной стали

**Р.В. Лукашевич, С.А. Арефьева\***

Краснодарский государственный технологический университет, 2,  
ул. Московская, Краснодар, 350042, Россия

\*E-mail: [materialoved@mail.ru](mailto:materialoved@mail.ru)

**Аннотация.** В статье рассматривается процесс обработки стали в условиях высоких температур, включая отжиг, закалку и отпуск. Особое внимание уделяется влиянию процесса на структуру и свойства материала. Также проанализированы отличительные особенности обработки разных видов стали: углеродистой и легированной. Посредством реализации опыта было подтверждено, что отжиг и отпуск оказывают негативное влияние на твердость и заметно упрощают работу со сталью, при этом закалка повышает показатели прочности и твердости исходного материала.

**Ключевые слова:** термическая обработка, сталь, закалка, отжиг, отпуск

## Influence of heat treatment processes on the properties and structure of carbon and alloy steel

**R.V. Lukashevich, S.A. Arefieva\***

Krasnodar State Technological University, 2, st. Moscow, Krasnodar, 350042, Russia

\*E-mail: [materialoved@mail.ru](mailto:materialoved@mail.ru)

**Abstract.** The article discusses the process of steel processing at high temperatures, including annealing, hardening and tempering. Particular attention is paid to the influence of the process on the structure and properties of the material. Also, the distinctive features of the processing of different types of steel: carbon and alloy steel are analyzed. Through the implementation of the experiment, it was confirmed that annealing and tempering have a negative effect on hardness and significantly simplify the work with steel, while hardening increases the strength and hardness of the source material.

**Keywords:** heat treatment, steel, hardening, annealing, tempering

## 1. Введение

Под термической обработкой принято понимать процесс нагревания и охлаждения металлов с использованием строго обозначенных заранее подобранных способов для получения заданного перечня свойств. Важно отметить, что черные и цветные металлы перед применением погружаются в условия высоких температур. Процедура реализуется в специальных печах, альтернативный вариант – это холодильные установки. С их помощью можно контролировать температурный режим на всех этапах технологического процесса. Это значимый фактор с точки зрения обеспечения эффективной закалки. Необходимо понимать, что игнорирование технологии может привести к негативным последствиям, ярким примером является придание металлу отрицательных свойств. Большое влияние на режим обработки в условиях высоких температур оказывает структурный состав материала. Все они установлены посредством реализации практических действий, подразумевающих под собой проведение многократных испытаний, по этой причине современные способы упрочнения при выполнении всех критериев дают возможность получать материалы высокого качества, обладающие высокими показателями прочности. На итоговый результат оказывают влияние множество факторов. Среди них можно выделить время нагрева, время выдержки детали из металла в условиях строго обозначенного температурного режима, скорость охлаждения, окружающие условия, это далеко не полный перечень факторов. В рамках этих процессов свойства металла подвергаются изменениям. К данным свойствам можно отнести электрическое сопротивление, магнетизм, показатели твердости, вязкость, пластичность, хрупкость и устойчивость перед коррозионными процессами.

## 2. Цель исследования

В качестве основной цели исследования можно выделить выполнение комплексного анализа влияния термической обработки на состав и структуру разных видов стали: углеродистая и легированная. Еще одна цель подразумевает обозначение различий этого процесса с принятием во внимание специфики химического состава.

## 3. Методы и материалы исследования

Для проведения исследования была выбрана сталь 40 и сталь 40X (состав представлен в содержании таблицы 1). Сталь 40 представляет собой конструкционную

углеродистую сталь высокого качества, широко применяется для изготовления деталей с хорошими эксплуатационными свойствами, может использоваться в температурных условиях до 425 градусов Цельсия. Сталь 40X – это конструкционная легированная сталь, которая нашла свое применение в области производства улучшаемых деталей с высокими показателями прочности. Отличительная особенность этого вида стали заключается в том, что в нее специальной вводят легирующие элементы, такое решение позволяет получить необходимые свойства, в контексте исследования речь идет о хроме (Cr). С точки зрения своей теплопроводности легированная сталь заметно уступает углеродистой стали. Важно отметить, что чем больше легированных элементов вводится в материал, тем ниже становится теплопроводность, особенно карбидообразующих сталей. Следствием снижения теплопроводности является увеличение разницы температур между наружным слоем и внутренним объемом детали, выполненной из стали, особенно в условиях быстрого нагрева, в результате может нарушиться целостность материала. Для легированных сталей, подвергаемых обработке в условиях высоких температур, требуется больше времени выдержке, по сравнению с углеродистой сталью. Это обусловлено тем, что легированная сталь обладает более низкой теплопроводностью, если сравнивать ее с углеродистой сталью, по этой причине для полного прогрева детали нужно больше времени. Также для получения оптимальных механических свойств возникает необходимость в выдержке для более полного растворения легированных карбидов в аустените. Скорость охлаждения материала в условиях высоких температур обозначается с принятием во внимание стабильности переохлажденного аустенита и величины критической скорости закалки. В связи с этим при термообработке деталей из легированной стали важно учитывать их размеры и форму.

**Таблица 1.** Химический состав в % вещества.

Марка стали	C	Mn	Si	S	Cr
40	0,37-0,45	0,5-0,8	0,17-0,37	≤0,04	≤0,25
40X	0,36-0,44	0,5-0,8	0,17-0,37	≤0,035	0,8-1,1

Образцы исследования представлены в виде кубов объемом 8см<sup>3</sup>. Структурное наполнение подготовленного шлифа подвергалась анализу посредством применения

микроскопа Axio Observer, для измерения твердости был использован твердомер Бринелля.

Исходная структура для обоих видов стали включала в себя перлит и феррит. Твердость в исходном состоянии для стали 40 была равна  $HV 10^{-1} = 187$  МПа, а для 40Х  $HV 10^{-1} = 217$  МПа (рисунок 1). Различие в твердости обусловлено легированным хромом ферритом.

#### 4. Полученные результаты

На первом этапе стали были подвергнуты отжигу. С принятием во внимание влияния легирующей добавки в стали 40Х, которое проявляется в том, что хром повышает критические точки превращения, феррит становится прочнее. Нами был реализован полный отжиг с температурой для стали 40 - 800 градусов Цельсия, а для стали 40Х – 850 градусов Цельсия. Время выдержки составило 30 минут, после этого материал медленно охлаждался в печи. Результатом обработки стало понижение показателей твердости у сталей, что характерно для отожженных сплавов, для стали 40 она составила  $HV 10^{-1} = 179$  МПа, для 40Х -  $HV 10^{-1} = 206$  МПа (рисунок 1). Следствием отжига является повышение мягкости, это делается для того, чтобы снять внутреннее напряжение, что позволяет получить однородную структуру, которая подходит для дальнейших операций механической обработки.

После отжига материал проходит закалку. Данная процедура подразумевает под собой термическую обработку, предполагающую нагрев сплава выше критической температуры, далее материал отправляется на быстрое охлаждение. С учетом того факта, что объектом анализа являются доэвтектоидные стали, было принято решение осуществлять полную закалку в условиях температуры 820-840 градусов Цельсия с выдержкой 35 минут и погружением в воду. Структура стали 40 при температуре нагрева под закалку включает в себя аустенит, вследствие охлаждения – мартенсит и остаточный аустенит. Твердость после прохождения закалки стала равняться  $HV 10^{-1} = 234$  МПа (рисунок 1).

Для стали 40Х температуру закалки важно подбирать с принятием во внимание легирующего элемента – хрома, который оказывает влияние на повышение критических точек. Она будет приблизительно равна 850-900 градусов Цельсия. Структура включает

в себя мартенсит и остаточный аустенит. Твердость после процесса стала равняться  $HV 10^{-1} = 255$  МПа (рисунок 1).

Отпуск представляет собой завершающую обработку, центральное место в которой занимает распад мартенсита, рекристаллизация и полигонизация. Основной целевой задачей является снятие напряжения закалки. При отпуске деталь подвергается воздействию высоких температур, после этого она выдерживается и охлаждается, в большинстве случаев, на воздухе. Отпуск проводится для того, чтобы подвергнуть изменениям структуру и свойства закаленной стали: снижение внутренних напряжений, повышение ударной вязкости и пластичности, снижение твердости и хрупкости металла. Присутствие в составе стали легирующих элементов вносит ряд изменений в практику отпуска.

Для стали 40 выполнялся низкий отпуск в условиях температурного режима 200 градусов Цельсия, выдержкой 90 минут и охлаждением в печи. Сталь 40 получила структуру отпущенного мартенсита с показателями твердости  $HV 10^{-1} = 230$  МПа (рисунок 1). Для стали 40X осуществлялся высокий отпуск с температурой 600 градусов Цельсия, с выдержкой 250 минут и охлаждением на воздухе, следствием этого станут лучшие свойства. Сочетание закалки и высокого отпуска принято называть улучшением. Следствием проведения всех действий стало то, что сталь 40X получила структуру сорбита отпуска – высокодисперсного перлита. Твердость стала равняться  $HV 10^{-1} = 245$  МПа (рисунок 1).

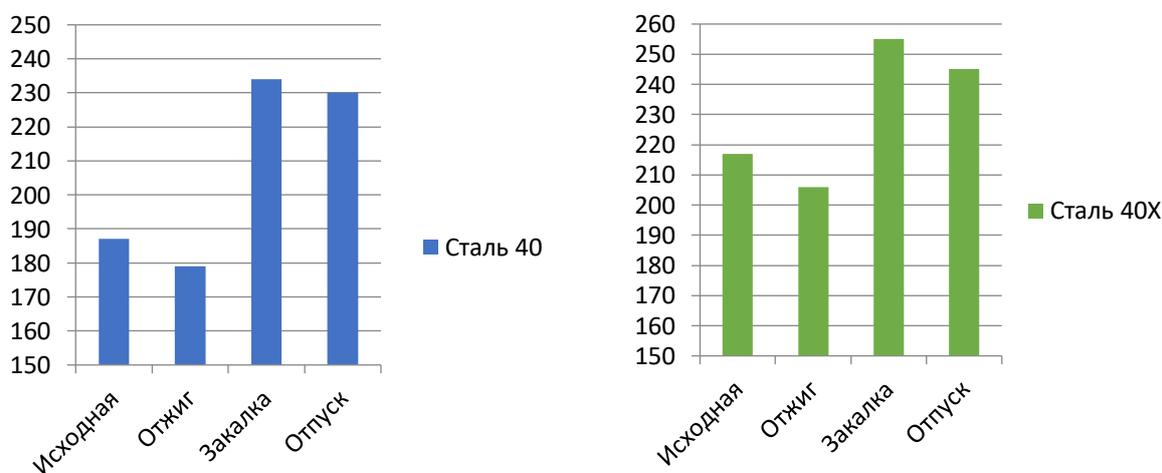


Рисунок 1. Твёрдость сталей 40 и 40X (МПа).

## 5. Выводы

Проведенное нами исследование о воздействии обработки стали в условиях высоких температур на свойства и структуру этого материала, позволяет сделать вывод о том, что отжиг и отпуск оказывают влияние на материал, в результате у него снижается твердость, одновременно с этим наблюдаются положительные тенденции с пластичностью, это же касается снятия внутреннего напряжения, что заметно облегчает работу со сталью, которой не нужно сталкиваться с большими нагрузками. Результатом закалки является повышение твердости, прочности и ударной вязкости материала, что дает возможность применять, выбранные виды стали в промышленном оборудовании. В ходе термической обработки легированной стали важно в технологии процесса принимать во внимание повышение критических точек и снижение теплопроводности.

## Список литературы

1. Ассонов, А. Д. Основные сведения о металлостроении и термической обработке / А. Д. Ассонов. – М.: Машиностроение, 2016. – 112 с.
2. Бочвар, А. А. Основы термической обработки сплавов / А. А. Бочвар. – М.: Медиа, 2014. – 118 с.
3. Лахтин, Ю. М. Металловедение и термообработка металлов. – М.: Металлургия, 1993, 447 с.