**Энгельсский технологический институт (филиал)
федерального государственного бюджетного образовательного
учреждения высшего образования
«Саратовский государственный технический университет
имени Гагарина Ю. А.»**

ИЗУЧЕНИЕ ОТПУСКА СТАЛИ

Методические указания
к выполнению лабораторной работы
по курсу «Материаловедение»
для студентов направлений

15.03.02 «Технологические машины и оборудование»
15.03.05 «Конструкторско-технологическое обеспечение
машиностроительных производств»
18.03.01 «Химическая технология»
23.03.01 «Нефтегазовое дело»

очной и заочной формы обучения

Энгельс 2026

Цель работы: изучить влияние исходной структуры закаленной конструкционной стали на структуру и механические свойства после отпуска.

Основные понятия

После полной объемной закалки деталей, изготовленных из конструкционных сталей, в поверхностном слое должна быть структура мартенсита или мартенсита (более 50%) с троститом в зависимости от размеров детали и способа охлаждения при закалке. При различной структуре закаленной стали ее твердость также будет разной, так как у мартенсита более высокая твердость, чем у троостита.

После закалки деталь обязательно подвергают отпуску, то есть нагреву до температур ниже первой критической точки A_1, выдержке при этой температуре и последующем охлаждении.

Отпуск является окончательной операцией термической обработки, в результате которой сталь получает требуемые механические свойства. В зависимости от температуры нагрева различают три вида отпуска: низкий (160-250 °С), средний (350-500 °С) и высокий (500-680 °С).

При низком отпуске частично снимаются внутренние напряжения закаленной детали и происходит уменьшение тетрагональности мартенсита. Образуется структура мартенсита отпуска: смесь из слабо пересыщенного твердого раствора углерода в α-железе и когерентно связанного с ним гексагонального ε-карбида (Fe_xC).

Низкий отпуск мало снижает твердость, повышает прочность и уменьшает склонность стали к хрупкому разрушению. Применяют низкий отпуск для деталей, которые испытывают в работе трение, высокие контактные нагрузки и поэтому должны иметь высокую твердость. Детали после поверхностной закалки или цементации с последующей закалкой также подвергают низкому отпуску.

В интервале температур отпуска 250-350 °С увеличивается склонность стали к хрупкому разрушению. Это явление получило название необратимой отпускной хрупкости. В связи с этим избегают проводить отпуск при таких температурах.

При среднем отпуске происходит превращение ε-карбида в цементит и полностью выделяется углерод из мартенсита с образованием мелких зерен цементита. Наблюдается полигонизация феррита, дальнейшее снижение внутренних напряжений. Частицы цементита, равномерно распределенные в феррите, представляют собой короткие пластинки толщиной 0,03 мкм, закономерно ориентированные по отношению к мартенситу. Их, конечно, нельзя увидеть в металлографический микроскоп. Образующуюся структуру после среднего отпуска называют троститом отпуска.

Средний отпуск применяют главным образом для пружин, рессор, а также для штампов холодной штамповки. Такой отпуск обеспечивает высокие пределы упругости и выносливости.

При высоком отпуске снижаются твердость и прочность стали, так как протекают процессы коагуляции (укрупнения) и сфероидизации (скругления) пластинок цементита. Структуру стали после высокого отпуска называют сорбитом отпуска. Размер частиц цементита округленной формы становится равным примерно 0,1 мкм. Такие мелкие частицы можно рассмотреть только в электронный микроскоп.

Закалку с высоким отпуском называют улучшением, так как по сравнению с нормализацией повышаются механические свойства стали, особенно ударная вязкость и предел текучести.

В отличие от мартенсита твердость троостита закалки при низком и среднем отпуске не изменяется, но при высоком отпуске снижается, так как протекает процесс постепенного превращения троостита закалки в сорбит отпуска. Это диффузионный процесс, поэтому его скорость возрастает с повышением температуры отпуска.

Материалы и оборудование

1. Образцы из стали марки 40Х диаметром 10-15 мм (3 образца закалены в воде, 3 образца - в масле).
2. Микрошлифы образцов стали марки 40Х, закаленных в воде и масле с разными структурами: мартенсит и мартенсит с троостит.
3. Муфельные лабораторные электропечи типа МП-2У.
4. Клещи стальные и медные.
5. Заточной станок.
6. Прибор для измерения твердости типа ТК-2М.
7. Металлографические микроскопы.

Порядок выполнения работы

1. Определить твердость HRC закаленных образцов до отпуска.
2. Отпустить закаленные образцы при различных температурах с последующим охлаждением в воде. Температура отпуска 200°С, 450°С и 650°С (по два образца при каждой температуре). Отпуск при 200 °С провести по цветам побежалости в печи, нагретой до 450 °С.
3. Определить твердость образцов после отпуска. Результаты измерения твердости (пункты 1 и 3) внести в таблицу.
4. Рассмотреть и схематично зарисовать микроструктуру стали, закаленной в воде и масле.

Таблица

Твердость HRC стали 40Х после закалки и отпуска

Исходная структура стали после закалки	Температура отпуска, ºС			
	Без отпуска	200	450	650
Мартенсит (закалка в воде)				
Мартенсит+троостит (закалка в масле)				

Анализ результатов эксперимента

По полученным данным построить график изменения твердости от температуры отпуска. Проанализировать полученные результаты, отразив влияние исходной структуры стали после закалки. Объяснить сущность физических процессов в стали при отпуске.

Выводы

Сформулировать письменно одно-два обобщающих заключения о научном и практическом значении результатов выполненной работы.

Вопросы для самопроверки

1. Какую структуру имеет закаленная сталь 40Х?
2. Что такое отпуск закаленной стали?
3. Какие превращения происходят при низком отпуске?
4. Какие превращения происходят при среднем отпуске?
5. Какие превращения происходят при высоком отпуске?
6. Как влияет отпуск на механические свойства стали?

7. Как зависят механические свойства стали при отпуске от исходной структуры закаленной стали?
8. С какой целью и для каких изделий используется низкий отпуск?
9. С какой целью и для каких изделий используется средний отпуск?
10. С какой целью и для каких изделий используется высокий отпуск?

ЛИТЕРАТУРА

1. Лахтин Ю.М. Материаловедение. / Ю.М. Лахтин Ю.М., В.П. Леонтьева. 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1990. 528 с.

2. Геллер Ю.А. Материаловедение. Методы анализа, лабораторные работы и задачи: учеб. пособие для вузов / Ю.А. Геллер, А.Г. Рахштадт. 6-е изд., перераб. и доп. М.:Металлургия, 1989. 456 с.

ИЗУЧЕНИЕ ОТПУСКА СТАЛИ

Методические указания
к выполнению лабораторной работы
по курсу «Материаловедение»
для студентов механических специальностей

Составили: ЗЕМЧЕНКОВ Владимир Степанович
МАХУКОВ Николай Георгиевич

Рецензент А. М. Долгих

Редактор Н.Н. Крылова

Подписано в печать 10.09.02 Формат 60x84 1/16
Бум. тип Усл. - печ. л. 0,46(0,5) Уч.-изд. л. 0,4
Тираж 100 экз. Заказ 112 Бесплатно

Саратовский государственный технический университет
410054 г. Саратов, ул. Политехническая, 77
Копи принтер СГТУ. 410054 г. Саратов, ул. Политехническая, 77