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

ИЗУЧЕНИЕ СТРУКТУРЫ СТАЛЕЙ В НЕРАВНОВЕСНОМ СОСТОЯНИИ

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 закономерности превращения аустенита углеродистых сталей при охлаждении с различными скоростями.

ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ

Аустенит – твердый раствор углерода в железе Fe – γ – способен к переохлаждению ниже линии PSK диаграммы равновесия железо-цементит, т.е. ниже эвтектоидной температуры (рис. 1 а).

При понижении температуры превращения аустенита происходит все большее измельчение кристаллических элементов микроструктуры, т.е. увеличивается степень дисперсности продуктов превращения. При этом увеличивается суммарная поверхность образующихся кристаллов, следовательно, запас свободной поверхностной энергии. Это и приводит к понижению термодинамической устойчивости структуры, т.е. к неравновесному состоянию.

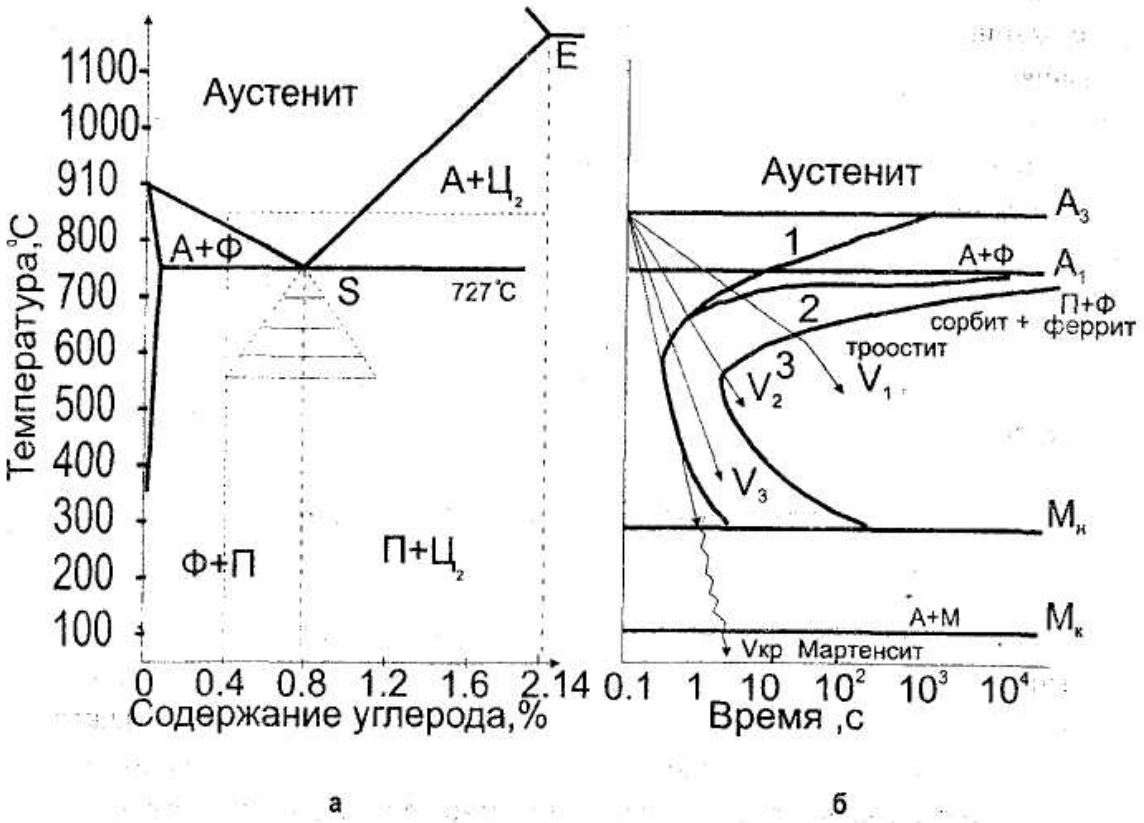

Рис. 1. Часть диаграммы равновесия Fe-Fe_3C (а) и диаграмма изотермического превращения доэвтектоидной стали 40 (б):

1 – кривая 1 – начало образования феррита; 2 – кривая 2 – начало превращения аустенита в феррито–цементитную смесь; 3 – кривая 3 – конец распада аустенита

Основным фактором, влияющим на положение температуры превращения аустенита углеродистых сталей, является скорость охлаждения. Для описания превращений аустенита при непрерывном охлаждении используются диаграммы термокинетического превращения (рис. 1 *б*).

При охлаждении на воздухе (нормализация) кривая охлаждения V_1 пересекает все три линии превращения (кривые 1, 2, 3 рис. 1 *б*) при 650 – 700 °С и сталь получает структуру сорбит + феррит. Сорбит представляет собой феррито-цементитную смесь, более дисперсную, чем перлит. В перлите суммарная толщина чередующихся пластинок феррита и цементита (межпластинчатое расстояние) составляет 0,6 – 1 мкм, а в сорбите – около 0,3 мкм. При большей скорости охлаждения V_2 при температуре 650 – 550 °С образуется еще более мелкая структура – троостит с межпластинчатым расстоянием 0,1 – 0,15 мкм.

В сталях, содержащих углерода меньше или больше 0,8%, сорбит и троостит называют квазиэвтектоидными структурами, т.к. содержание углерода в них отличается от эвтектоидного (рис. 1 *а* - ниже точки S).

Так, в стали 40 содержание углерода в сорбите может быть 0,6%, а в троостите – 0,4%;

В сорбите и троостите феррито-цементитная смесь настолько мелкая, что ее строение неразличимо в оптическом микроскопе. Эти структуры можно исследовать только под электронным микроскопом.

При скорости охлаждения V_3 (закалка в масле) кривая охлаждения пересекает только кривую 3 конца превращения. Это означает, что часть объёма ниже температуры $M_н$ претерпевает мартенситное превращение. В результате получается троосто-мартенситная структура.

Мартенситное превращение происходит при таких низких температурах, когда подавлена диффузия как железа, так и углерода. Происходит только перестройка кристаллической решетки Fe_γ в Fe_α без выделения углерода. Так как растворимость углерода в Fe_α при 20 °С не превышает 0,008%, то образуется однофазная структура – пересыщенный твердый раствор углерода в Fe_α. Это и есть *мартенсит.*

При скорости охлаждения, равной или более $V_{кр}$ (закалка в воде), аустенит полностью превращается в мартенсит, если содержание углерода менее 0,6%, иначе точка $M_к$ опускается в область отрицательных температур.

Бейнитного превращения при непрерывном охлаждении углеродистых сталей не происходит.

Механические свойства неравновесных структур — сорбита, троостита и мартенсита – зависят от содержания в них углерода. С увеличением содержания углерода в стали твердость и прочность указанных структур повышаются. В сорбите и троостите эти свойства повышаются благодаря возрастанию количества цементита, а в мартенсите – из-за возрастания тетрагональности кристаллической решетки.

Различают два типа мартенсита. В конструкционных сталях с содержанием углерода 0,3 – 0,5% кристаллы мартенсита имеют форму тонких реек или пакета из реек (реечный или массивный мартенсит). В высокоуглеродистых сталях образуется пластинчатый мартенсит. В плоскости шлифа эти пластины имеют вид игл, поэтому распространен термин «игольчатый мартенсит».

МЕТОДИКА ПРОВЕДЕНИЯ ЭКСПЕРИМЕНТА

Различные скорости охлаждения получаются на одном стандартном образце при определении прокаливаемости стали методом торцовой закалки. Наибольшая скорость охлаждения достигается у торца, охлаждае-

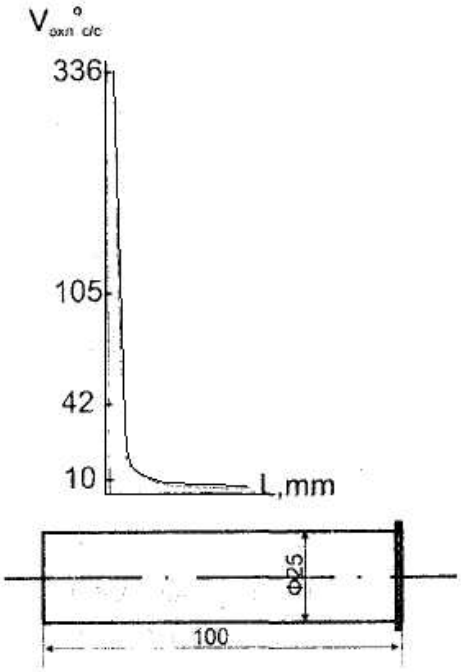

Рис. 2. Распределение скоростей охлаждения при 700°С по длине стандартного образца, закаливаемого водой с торца

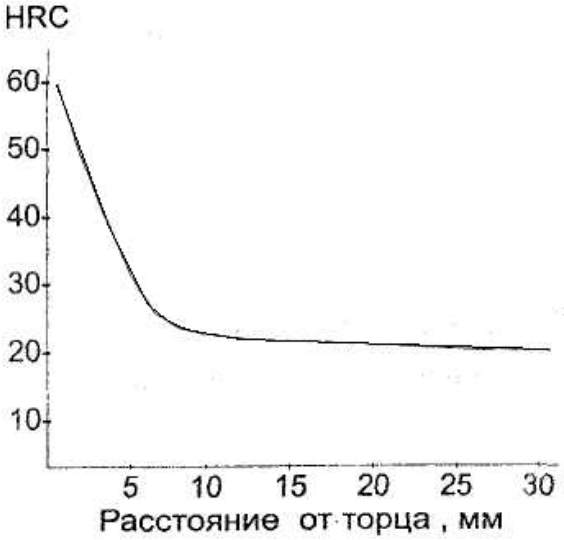

Рис. 3. Изменение твёрдость стандартного образца из стали 40, закалённого при 850°С водой с торца

мого струей воды. При удалении от этого торца скорость охлаждения уменьшается сначала резко, а затем медленно (рис. 2). После такого способа охлаждения и твердость изменяется аналогичным образом (рис. 3). Это дает возможность на одном образце рассмотреть различные микроструктуры, соответствующие «С»-образной диаграмме (рис. 1 *б*). Для этого отрезается часть закаленного образца из стали 40 длиной 25 - 30 мм от торца. Вдоль образующей цилиндра приготавливается микрошлиф, подлежащий изучению.

ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОПОДГОТОВКИ

Ответы на вопросы даются письменно в порядке самоподготовки и заносятся в отчет о лабораторной работе в качестве введения до проведения занятия по расписанию.

1. Каково отличие структур сорбита и троостита закалки от перлита?
2. Почему сорбит и троостит закалки в конструкционных сталях называют квазиэвтектоидными структурами?
3. В какой структуре при закалке конструкционной стали содержится больше углерода – в сорбите или в троостите?
4. Почему сорбит и троостит относятся к неравновесным структурам?
5. Каково отличие структур закалки доэвтектоидных и заэвтектоидных сталей при скоростях охлаждения, когда аустенит полностью распадается?
6. Каково отличие структуры мартенсита при низком и высоком содержании углерода в стали?
7. При каких содержаниях углерода в закаленной углеродистой стали наблюдается остаточный аустенит?
8. Чем объясняется высокая твердость мартенсита в стали?
9. Что понимается под терминами: бесструктурный мартенсит, скрытокристаллический мартенсит?
10. Какой физический смысл в терминах: мелкоигольчатый мартенсит, крупноигольчатый мартенсит?

МАТЕРИАЛЫ И ОБОРУДОВАНИЕ

Исследуемый материал – сталь марки 40 (ГОСТ 1050-74), образцы цилиндрические диаметром 25 мм и высотой 25-30 мм, отрезанные от стандартных образцов после торцовой закалки. На боковой поверхности образцов подготовлены микрошлифы. Металлографические микроскопы. Линейки.

ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

1. Установить образец на столик микроскопа и, передвигая его вдоль образующей, изучить изменения микроструктуры, начиная от закаленного торца.

2. Зарисовать и описать микроструктуру на различных расстояниях от торца с указанием твердости, используя данные рис. 1, 2 и 3.

3. Определить твердость троостита, используя рис. 3.

АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ ЭКСПЕРИМЕНТА

В свободном изложении письменно по полученным данным проанализировать характерные особенности изменения структуры и твердости стали 40 в зависимости от скорости охлаждения.

ВЫВОДЫ

Сформулировать письменно в виде одного - двух, максимум трех обобщающих заключений научную и практическую значимость результатов выполненной работы.

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.Гуляев А.П. Металловедение. / А.П. Гуляев М.: Металлургия, 1986. 544 с.

ИЗУЧЕНИЕ СТРУКТУРЫ СТАЛЕЙ
В НЕРАВНОВЕСНОМ СОСТОЯНИИ

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 02.04.01 Формат 60x84 1/16
Бум. тип. Усл.-печ.л. 0,46 (0,5) Уч.-изд.л. 0,4
Тираж 100 экз. Заказ 111 Бесплатно
Саратовский государственный технический университет
410054 г. Саратов, ул. Политехническая, 77
Копипринтер СГТУ, 410054 г. Саратов, ул. Политехническая, 77