

# Вестник МОСКОВСКОГО УНИВЕРСИТЕТА

№ 9 - 1950

Н. С. АКУЛОВ и К. М. БОЛЬШОВА

## О ЗАКОНЕ ПРИБЛИЖЕНИЯ К НАСЫЩЕНИЮ УГЛЕРОДИСТЫХ СТАЛЕЙ

### ВВЕДЕНИЕ

В 1931 г. был разработан закон подхода к насыщению для поликристаллических материалов [1], дающий возможность определять константу энергетической анизотропии. Рядом последующих экспериментальных и теоретических работ этот закон был подтвержден и дополнен новыми членами, расширяющими область охватываемых им полей и дающими возможность определить не только величину, но и знак константы энергетической анизотропии [2—5]. В результате всех предшествующих работ было установлено, что закон подхода к насыщению в наиболее полной форме имеет вид:

$$\chi = \frac{A}{H^2} + \frac{B}{H^3} + \frac{C}{H^4} + \chi_p \quad (1)$$

причем член  $\frac{A}{H^2}$  особенно значителен у поликристаллического никеля в наклепанном состоянии [6, 7].

Однако до сих пор исследованию подвергались чистые ферромагнитные металлы, бинарные и тройные твердые растворы, т. е. гомогенные сплавы, большей частью в равновесном состоянии.

Вопрос о том, как влияют на закон подхода к насыщению сильные, резко неоднородные локальные напряжения, искажающие решетку, а также наличие гетерогенности в материале экспериментально исследован очень мало. Точно так же экспериментально мало исследован закон подхода к насыщению таких в практическом отношении важных материалов, как углеродистые стали в закаленном и отпущенном состояниях.

Помимо практического интереса, исследование закона подхода к насыщению мартенсита и продуктов его отпуска имеет еще и теоретический интерес, ибо напряжения указанного выше рода играют в мартенсите огромную роль. Действительно, работами Курдюмова и его школы [8—9], а также Мороза и Терминасова [10] было показано, что мартенсит углеродистых сталей представляет собою неравновесный твердый раствор углерода в  $\alpha$ -Fe с тетрагональной решеткой, в котором очень велики напряжения не только второго, но и третьего рода. В процессе отпуска мартенсита из него выделяется углерод в виде карбида  $Fe_xC$ , т. е. появляется гетерогенность.

По предположению Броуна [11], появление члена  $\frac{A}{H^2}$  в законе подхода к насыщению связано с действием в металле резко неоднородных напряжений, искажающих решетку. Если это так, то в законе подхода к насыщению мартенсита этот член должен играть особенно значительную роль.

Целью настоящей работы являлось экспериментальное исследование закона подхода к насыщению углеродистых сталей, закаленных на мартенсит и отпущенных с различных температур.

### МЕТОДИКА ИЗМЕРЕНИЙ

Изучение области подхода к насыщению и измерение константы энергетической анизотропии поликристаллических образцов до сих пор производилось только на постоянном токе. Баллистическим методом измерялась дифференциальная восприимчивость в области подхода к насыщению и по формуле Акулова

$$\chi = \frac{64}{105} \frac{K^2}{I_s} + \chi_p \quad (2)$$

рассчитывалась первая константа энергетической анизотропии.

Увеличить чувствительность баллистического метода можно, увеличивая или сечение испытуемого образца, или число витков баллистической катушки. И то и другое допустимо лишь в известных пределах. Увеличивая сечение образца, мы увеличиваем размагничивающее поле (длина образца обычно ограничена размерами области намагничивающей катушки, в которой действует однородное поле, и в катушках, дающих поля 5—6 тысяч эрстед, примерно равна 7—8 см); чрезмерно увеличивая число витков баллистической обмотки, мы можем превзойти критическое сопротивление баллистического гальванометра.

В описываемой работе в подмагничивающей цепи нами был использован переменный ток, что позволило поставить в индикаторной цепи усилитель и тем самым очень сильно повысить чувствительность. Испытания метода показали, что можно работать с образцами в виде проволок диаметром 1—2 мм. Измерение константы анизотропии также сводится к измерению дифференциальной восприимчивости в области подхода к насыщению. Индикатором при подмагничивании переменным током служит стрелочный прибор с усилителем. Схема примененной установки показана на рис. 1. Здесь:  $L$ —намагничивающая катушка, питаемая постоянным током 110 В;  $L_1$ — $L_2$ —подмагничивающие катушки, питаемые переменным током городской частоты;  $l_1$ — $l_2$ —измерительные катушки;  $V$ —усилитель;  $B$ —вариометр. Подмагничивающие катушки соединены между собою последовательно, измерительные—соединены навстречу. В подмагничивающих катушках можно получить поле ~150 эрстед.

Следует указать, что так как измерительные катушки содержали по 6 тысяч витков, то скомпенсировать схему на переменном токе выравниванием чисел витков измерительных обмоток а руднительно. Для более полной компенсации в схему вводится вариометр  $B$ . Включенный в измерительную цепь усилитель должен, по возможности, иметь минимальные частотные, фазовые и амплитудные искажения. В применяемом нами усилителе эти требования были выполнены. Коэффициент усиления мог плавно меняться от 100 до 1000. Усилитель питался через стабилизатор напряжения. Несмотря на все принятые предосторожности, при максимальном коэффициенте усиления на выходе усилителя, в случае

отсутствия образца в измерительной обмотке, мы имели 0,5—1,0 V. При измерении же дифференциальной восприимчивости нам приходилось работать на 15, 60, 150-вольтовых шкалах. Таким образом, фон был очень незначительным и при расчетах это обстоятельство учитывалось.

Действие установки таково: образец закладывается в подмагничивающую катушку. На него накладывается постоянное намагничивающее поле и переменное подмагничивающее. Возникающая в измерительных

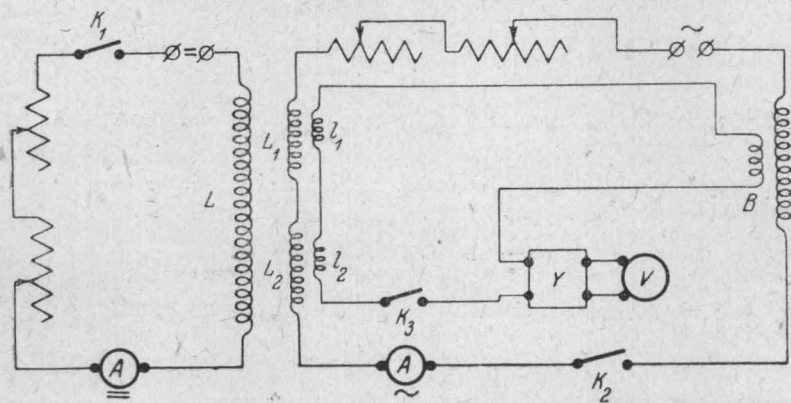


Рис. 1

обмотках разностная э. д. с. подается на вход усилителя и после усиления измеряется. По показанию прибора на выходе усилителя и по подмагничивающему полю рассчитывается дифференциальная восприимчивость при данном постоянном поле. Определив таким образом дифференциальную восприимчивость, далее, по формуле Акулова [2], можно рассчитать значение константы анизотропии. В дальнейшем постоянное поле увеличивается, и при этом новом значении поля производится измерение напряжения на выходе, по которому опять рассчитывается восприимчивость.

### ВЫВОДЫ РАСЧЕТНОЙ ФОРМУЛЫ

В используемом методе две измерительные обмотки расположены одновременно в постоянном и переменном магнитных полях. В одной из них находится испытуемый образец. Магнитные потоки, которые пронизывают эти обмотки, будут:

1. В измерительной обмотке с образцом

$$\Phi_1 = \Phi_{1 \text{ пост.}} + \Phi_{1 \text{ пер.}} = \Phi_{1 \text{ пост.}} + \mu H_{\text{пер.}} \cdot S_1 + H_{\text{пер.}} (S - S_1) = \Phi_{1 \text{ пост.}} + (1 + 4\pi\chi) H_{\text{пер.}} S_1 + H_{\text{пер.}} (S - S_1) = \Phi_{1 \text{ пост.}} + 4\pi\chi H_{\text{пер.}} S_1 + H_{\text{пер.}} S, \quad (3)$$

где  $\Phi_{1 \text{ пост.}}$  — поток в обмотке с образцом, обусловленный действием постоянного поля;  $\Phi_{1 \text{ пер.}}$  — поток в обмотке с образцом, обусловленный действием переменного поля;  $S$  — сечение измерительной обмотки;  $S_1$  — сечение образца.

2) В компенсирующей обмотке

$$\Phi_2 = \Phi_{2 \text{ пост.}} + \Phi_{2 \text{ пер.}} = \Phi_{2 \text{ пост.}} + H_{\text{пер.}} S, \quad (4)$$

где  $\Phi_{2 \text{ пост.}}$  — поток в обмотке без образца, обусловленный действием постоянного поля,  $\Phi_{2 \text{ пер.}}$  — поток в обмотке без образца, обусловленный действием переменного поля.

По закону электромагнитной индукции при изменении потока в измерительной цепи возникает э. д. с., равная

$$e = -n \frac{d\Phi}{dt} \cdot 10^{-8} \text{ V}, \quad (5)$$

где  $n$  — число витков измерительной обмотки.

Так как у нас схема дифференциальная, то разностная э. д. с., возникающая во вторичной цепи, будет равна

$$e = e_1 - e_2, \quad \text{где } e_1 = -n \frac{d\Phi_1}{dt} \cdot 10^{-8} \text{ V}; \quad e_2 = -n \frac{d\Phi_2}{dt} \cdot 10^{-8} \text{ V}. \quad (6)$$

Подставляя в (6) значения  $\Phi_1$  и  $\Phi_2$  из (3) и (4), получим:

$$\begin{aligned} e = e_1 - e_2 &= -\left(4\pi n S_1 \frac{dH_{\text{пер.}}}{dt} + S \frac{dH_{\text{пер.}}}{dt}\right) n \cdot 10^{-8} + n S \frac{dH_{\text{пер.}}}{dt} \cdot 10^{-8} = \\ &= -4\pi n^2 S_1 \cdot 10^{-8} \frac{dH_{\text{пер.}}}{dt}. \end{aligned} \quad (7)$$

Напряженность поля в подмагничивающей катушке равна:

$$H_{\text{пер.}} = K' J_{\text{пер.}}, \quad (8)$$

$K'$  — коэффициент поля катушки.

$$J_{\text{пер.}} = A \sin \omega t. \quad (9)$$

Подставив в (8) значение  $J_{\text{пер.}}$  из (9), получим:

$$H_{\text{пер.}} = K' A \sin \omega t = H_0 \sin \omega t. \quad (10)$$

Подставив значение  $H_{\text{пер.}}$  из (10) в (7), будем иметь:

$$e = -4\pi n^2 S_1 10^{-8} H_0 \omega \cos \omega t. \quad (11)$$

Амплитудное значение разностей э. д. с. равно:

$$e_0 = 4\pi n^2 S_1 H_0 \omega \cdot 10^{-8}. \quad (12)$$

Обозначим

$$4\pi n^2 S_1 H_0 \omega \cdot 10^{-8} = C. \quad (13)$$

Тогда

$$e_0 = \alpha C \quad \text{и} \quad \alpha = \frac{e_0}{C}. \quad (14)$$

Мы измеряли не непосредственное значение  $e_0$ , а усиленное. Зная коэффициент усиления и э. д. с. на выходе усилителя, можно рассчитать дифференциальную восприимчивость в области подхода к насыщению.

$$\alpha = \frac{1,4V}{MC}, \quad (15)$$

где  $V$  — эффективное значение э. д. с. на выходе усилителя;  $M$  — коэффициент усиления,  $c = 4\pi n^2 S_1 H_0 \omega \cdot 10^{-8}$ .

Несмотря на то, что мы применяли переменное подмагничивание при вычислении восприимчивости, скин-эффект мы можем совершенно не учитывать. Проведенный расчет скин-эффекта показал, что вследствие малой величины  $\mu$  индукция на поверхности отличается от индукции в центре меньше чем на 1%.

## ГРАДУИРОВКА УСТАНОВКИ

Для проверки установки в качестве градуировочных образцов были выбраны железо «АРМКО» и электродлитический никель. Измерения показали, что в полях 800 эрстед и выше для железа и 370 и выше для никеля выполняется линейная зависимость между  $\chi$  и  $\frac{1}{H^3}$ . Первая константа энергетической анизотропии оказалась равной для железа  $2,0 \cdot 10^5 \text{ эрг/см}^3$ , для никеля  $2,47 \cdot 10^4 \text{ эрг/см}^3$ , что находится в удовлетворительном согласии с результатами измерений на монокристаллах. Для большей уверенности в надежности получаемых результатов на образце из железа «АРМКО» было проведено измерение константы анизотропии баллистическим методом. Полученное значение равно  $1,97 \cdot 10^5 \text{ эрг/см}^3$ : на нашей установке с переменным подмагничиванием  $2,0 \cdot 10^5 \text{ эрг/см}^3$ .

Вся установка для измерения константы анизотропии без учета намагничивающей катушки и реостатов к ней очень портативна и может быть смонтирована в переносном ящике. Измерение производится очень быстро. Для того чтобы снять 35—40 точек в области подхода к насыщению, необходимо 25—30 минут, в то время как на баллистической установке—минимум 3 часа.

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИЗМЕРЕНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Испытанию подвергались пять марок углеродистой стали со следующим содержанием углерода: 0,49; 0,75; 1,03; 1,12; 1,45 %. Из каждой марки стали было изготовлено по несколько эллипсоидов с осями 120—6 мм. Все образцы были закалены из области  $\gamma$ -фазы в воду, а потом охлаждены жидким азотом, с целью большего разложения остаточного аустенита. Предварительно с каждого образца были сняты кривые коммутирования. Вышеописанным методом на всех образцах в закаленном состоянии была промерена дифференциальная восприимчивость в области подхода к насыщению в зависимости от поля. Часть образцов каждой марки стали была подвергнута двухчасовому отпуску при температурах 100, 150, 200, 250 и 350° С. На них также были проведены измерения в начале кривых коммутирования, а затем дифференциальной восприимчивости при различных значениях намагничивающего поля.

Измерения дифференциальной восприимчивости производились в области полей 600—1 500 эрстед.

При обработке результатов измерения вначале мы применили закон приближения к насыщению в виде:

$$\chi = \frac{B}{H^3} + \chi_p, \quad (16)$$

где  $\chi_p$ —восприимчивость парапроцесса. В построенном графике  $\left(\chi - \frac{1}{H^3}\right)$  прямолинейный участок получился очень маленький. Это говорит о том, что закон подхода к насыщению в такой простой форме не описывает опытного материала. В дальнейшем нами был применен закон подхода к насыщению в виде:

$$\chi = \frac{A}{H^2} + \frac{B}{H^3} + \chi_p. \quad (17)$$

Так как в рассматриваемом нами интервале полей значения дифференциальной восприимчивости были очень велики по сравнению с восприимчивостью парапроцесса, то для упрощения мы пренебрегали  $\chi_p$

и применяли закон подхода в форме

$$\alpha = \frac{A}{H^2} + \frac{B}{H^3} \quad (18)$$

или

$$\alpha H^3 = AH + B. \quad (19)$$

Рядом предшествующих работ [6, 7] было убедительно доказано, что в законе подхода к насыщению существует член  $\frac{A}{H^2}$ , зависящий от остаточных напряжений, вызванных пластической деформацией. Появление

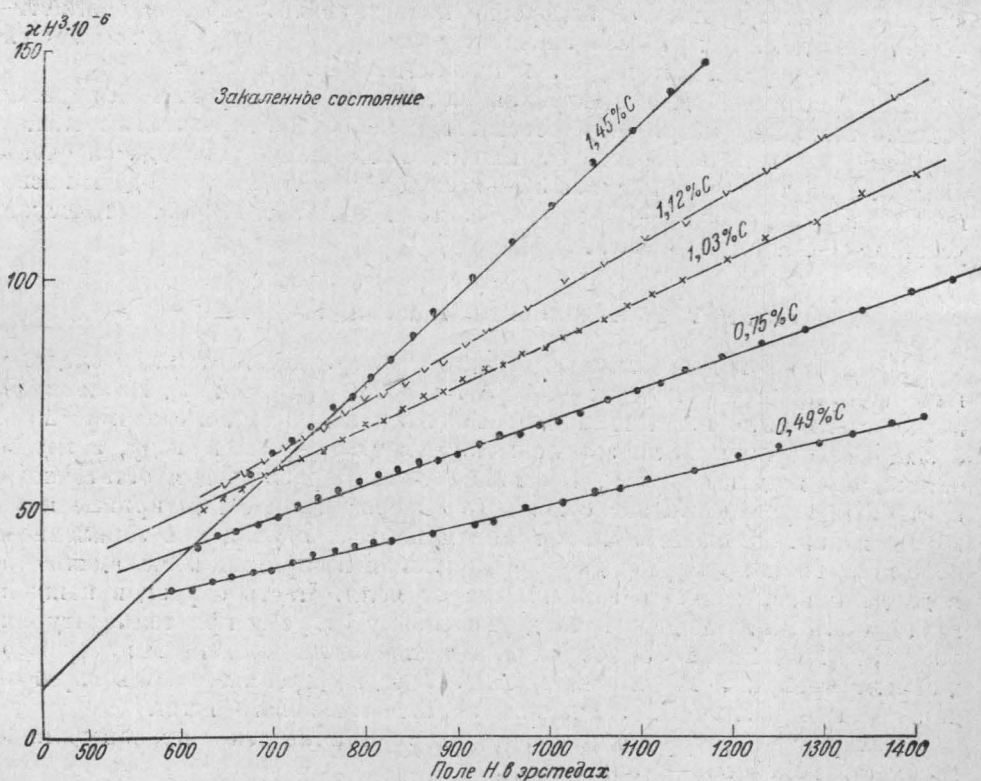


Рис. 2

ние этого члена в законе подхода к насыщению Броун [11] объясняет существованием в металле резко неоднородных напряжений особого рода, действующих на расстояниях, сравнимых с параметрами решетки. Чем больше величина этих напряжений, тем больше коэффициент  $A$ . Напряжения, которые имеет в виду Броун, видимо, напряжения второго и третьего рода. Мороз и Терменасов [10] показали, что в закаленных и отпущенных сталях, кроме напряжений второго рода, присутствуют напряжения третьего рода. Состояние твердого раствора мартенсита и  $\alpha$ -фазы отпущенного мартенсита зависит от величины напряжений II и III рода.

Поскольку в мартенсите и продуктах его отпуска существуют резко неоднородные локальные напряжения броуновского вида, постольку в законе подхода к насыщению закаленных и отпущенных углеродистых сталей большую роль должен играть член  $\frac{A}{H^2}$ .

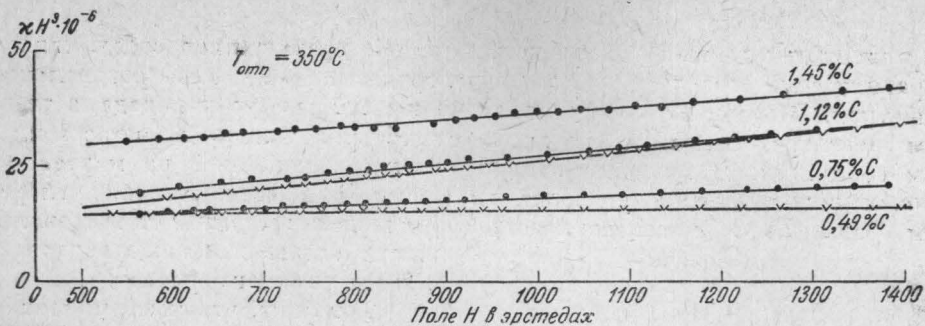


Рис. 3.

В качестве примера на рис. 2 и 3 приведены прямые, характеризующие зависимость  $xH^3$  от  $H$  закаленных и отпущенных с  $350^\circ\text{C}$  образцов всех исследованных марок сталей. Для других температур отпуска, начиная от  $100^\circ\text{C}$  до  $350^\circ\text{C}$ , были получены аналогичные семейства прямых. По тангенсу угла наклона этих прямых к оси абсцисс мы определяли коэффициент  $A$  при члене  $\frac{1}{H^2}$ ; по отрезку, отсекаемому на оси ординат, — коэффициент  $B$  при члене  $\frac{1}{H^3}$ . Из рис. 2 и 3 следует, что чем больше углерода в твердом растворе, тем больше коэффициент  $A$ . В закаленном состоянии  $B$  имеет отрицательный знак. Абсолютная величина  $B$  тем больше, чем больше в стали углерода.

Зависимость коэффициента  $A$  от температуры отпуска приведена на рис. 4 для сталей с различным содержанием углерода. Из сопоставления кривых следует, что по мере уменьшения процента углерода в стали и увеличения температуры отпуска величина коэффициента  $A$  уменьшается. При отпуске до  $100^\circ\text{C}$  коэффициент  $A$  почти не меняется: в интервале  $100\text{—}350^\circ\text{C}$  происходит резкое его уменьшение.

Металлографическая картина закаленного и отпущенного мартенсита была обстоятельно изучена работами Курдюмова и его школы [8, 9]. Было показано, что

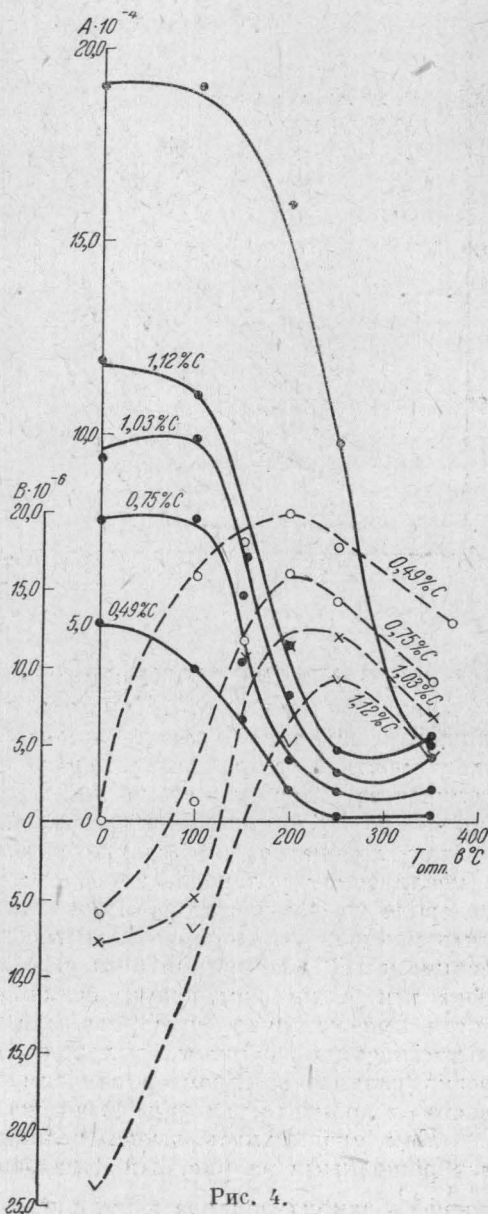


Рис. 4.

мартенсит закаленных углеродистых сталей представляет собою сильно пересыщенный твердый раствор углерода в  $\alpha$ -Fe с тетрагональной решеткой. Мартенсит содержит такое же количество углерода в твердом растворе, как и аустенит, и существует только в метастабильном состоянии. В процессе отпуска стали, закаленной на мартенсит, происходит выделение углерода из раствора в виде богатой углеродом фазы  $Fe_xC$  и соответственное

уменьшение степени тетрагональности оставшегося еще нераспавшимся твердого раствора.

Тот факт, что коэффициент  $A$  не меняется при отпуске до  $100^\circ C$ , можно объяснить тем, что в процессе отпуска на коэффициент  $A$  действуют в противоположные стороны два явления. С одной стороны, выделение углерода из твердого раствора (как показывает рис. 2,  $A$  тем меньше, чем меньше в стали углерода) и уменьшение напряжений приводит к уменьшению  $A$ , с другой — появление гетерогенности увеличивает  $A$ . При отпуске в интервале  $100-350^\circ C$  уменьшение  $A$  вследствие выделения углерода из твердого раствора, а также уменьшение напряжений второго и третьего рода происходит более значительное, чем увеличение  $A$  вследствие изменения гетерогенности.

На рис. 4 приведены кривые, характеризующие зависимость  $A$  от процента углерода в стали для закаленного и отпущенного

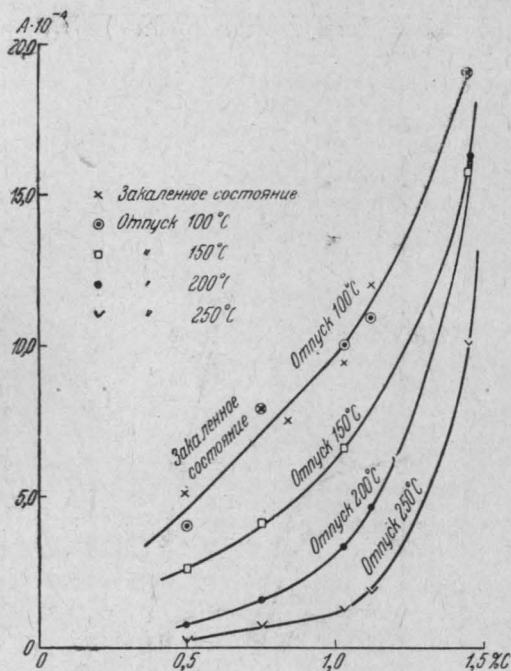


Рис. 5

ного со  $100, 150, 200, 250^\circ C$  образцов. Во всех случаях зависимость  $A$  от % C является монотонной. Кривые для закаленного и отпущенного со  $100^\circ C$  образцов совпадают. В закаленном и отпущенных со  $100^\circ$  и  $150^\circ C$  состояниях зависимость  $A$  от процента углерода можно использовать для определения количества углерода в стали данной обработки. При отпуске  $200$  и  $250^\circ C$  кривые до  $1\% C$  поднимаются очень медленно и точность измерения процента углерода по ним будет небольшой. Сверх  $1\% C$   $A$  резко возрастает с увеличением углерода, и на этом участке можно определять процент углерода по  $A$  с достаточной точностью. Практически еще проще определять процент углерода по величине непосредственно измеренной дифференциальной восприимчивости в области подхода к насыщению. Как показали наши измерения, величины дифференциальной восприимчивости при каком-то фиксированном значении поля в области подхода к насыщению различных углеродистых сталей в закаленном состоянии резко разнятся. Характер зависимости дифференциальной восприимчивости от процента углерода таков же, как  $A$  от процента углерода.

Как указывалось выше, величина отрезка, отсекаемого прямыми, изображенными на рис. 2 и 3 на оси ординат, дает коэффициент  $B$  при члене  $\frac{1}{H^3}$  закона подхода к насыщению. На рис. 4 дана зависимость коэф-



фициента  $B$  от температуры отпуска сталей с различным содержанием углерода. Из рисунка видно, что до  $250^\circ\text{C}$  значение коэффициента  $B$  увеличивается с повышением температуры отпуска, а после  $250^\circ\text{C}$  падает для всех исследуемых сталей. Обращает на себя внимание тот факт, что в закаленном состоянии для сталей с содержанием углерода 0,75; 1,02; 1,12; 1,45% коэффициент  $B$  имеет отрицательный знак; абсолютная величина его тем больше, чем больше углерода в растворе.

Это указывает на то, что анизотропия мартенсита определяется в основном напряжениями. Коэффициент  $B$  остается отрицательным и при низких отпусках.

По расчету Акулова и Киренского [12] в случае действия в металле диффузных внутренних напряжений

$$B = \frac{64}{105} \frac{K^2}{I_s} + \frac{6}{25 I_s} (2\lambda_{100}^2 + 3\lambda_{111}^2) \sigma_i^2,$$

т. е. величина  $B$  существенно положительная.

Следует, видимо, предположить, что если в металле действуют сильные резко неоднородные локальные напряжения, искажающие решетку, то в коэффициент  $B$  войдут еще члены, зависящие от величины этих напряжений, которые могут иметь отрицательный знак. В закаленном состоянии и при низких отпусках влияние этих добавочных членов превалирует над частью  $B$ , имеющей положительный знак и зависящей от естественной анизотропии и диффузных внутренних напряжений.

На сталях, содержащих 0,75; 1,03; 1,12% С, было проведено исследование кинетики изменения коэффициентов  $A$  и  $B$  в процессе отпуска. Образцы указанных марок сталей были закалены и далее подвергались ступенчатому отпуску при температуре  $250^\circ\text{C}$ . Ход изменения коэффициентов  $A$  и  $B$  в зависимости от времени отпуска при температуре  $250^\circ\text{C}$  показан на рис. 6 для стали с 1,12% С. В процессе отпуска коэффициент  $A$  вначале резко уменьшается. После 45-минутного отпуска значение коэффициента  $A$  стабилизируется и далее меняется незначительно. Коэффициент  $B$  в процессе отпуска увеличивается. В закаленном состоянии он отрицателен, после 4-минутного отпуска проходит через нуль. Следовательно, в этом состоянии ход восприимчивости в функции поля

описывается только членом  $\frac{A}{H^2}$ . При дальнейшем возрастании времени отпуска  $B$  увеличивается, и так же как и  $A$ , при 45-минутном отпуске почти стабилизируется. Для сталей с 0,75 и 1,03% С характер изменения коэффициентов  $A$  и  $B$  в процессе отпуска аналогичен.

В процессе отпуска при  $250^\circ\text{C}$  происходит вначале чрезвычайно быстрое выделение углерода из твердого раствора в виде карбида  $\text{Fe}_x\text{C}$ . Как показали исследования Курдюмова и Лысака [9], время полураспада мартенсита тем меньше, чем выше температура отпуска. Для температур отпуска  $100^\circ\text{C}$  время полураспада равно 45 мин., для  $120^\circ\text{C}$  — 7,5 мин.; для  $250^\circ\text{C}$  оно будет того меньше. Вследствие нагрева и быстрого выделения углерода напряжения в решетке уменьшаются, следовательно, уменьшается и величина коэффициента  $A$ . Большая скорость уменьшения коэффициента  $A$  в первую минуту распада соответствует интенсивному выделению углерода за это время и резкому уменьшению напряжений второго и третьего рода. Дальнейшее уменьшение  $A$  идет значительно медленнее, что обуславливается более вялым выделением углерода и плавным снятием напряжений. Правда, на величину коэффициента  $A$  оказывает влияние еще и появляющаяся при распаде мартенсита гетерогенность.

Анализ результатов измерения гетерогенных сплавов Fe-Mo указывает на то, что гетерогенность увеличивает коэффициент  $A$ . Следовательно, в данном случае гетерогенность несколько задерживает происходящее в процессе отпуска уменьшение  $A$ .

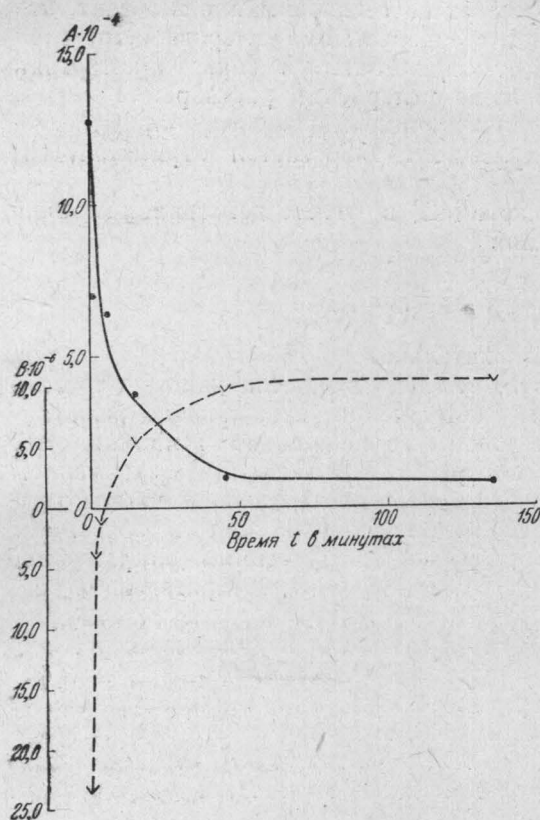


Рис. 6.

200° С  $\alpha_A$  примерно равно  $\alpha_B$ . При дальнейшем повышении температуры отпуска часть дифференциальной восприимчивости, определяемая членом  $\frac{B}{H^3}$ , начинает превалировать над частью, определяемой  $\frac{A}{H^2}$ .

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Область подхода к насыщению закаленных и отпущенных углеродистых сталей, соответствующая интервалу полей 600—1 500 эрстед, может быть описана формулой

$$\alpha = \frac{A}{H^2} + \frac{B}{H^3} + \alpha_p.$$

Существенно отметить, что для сталей в этом законе очень велик удельный вес первого члена. В закаленном состоянии первый член в несколько раз превышает второй. Это значит, что в законе подхода к насыщению мартенсита член  $\frac{A}{H^2}$  играет основную роль. Для гомогенных сплавов даже в наклепанном состоянии (никель) основную роль в законе подхода к насыщению играет член  $\frac{B}{H^3}$ . Отличие закона подхода к насыщению

Указанные причины вызывают увеличение коэффициента  $B$  в процессе отпуска. Чем менее напряженной является решетка, тем меньше влияние добавочных членов в  $B$ , вызывающих появление отрицательного знака, и больше влияние естественной анизотропии.

Формулу закона подхода к насыщению закаленных и отпущенных сталей можно представить в таком виде:

$$\alpha = \frac{A}{H^2} + \frac{B}{H^3} = \alpha_A + \alpha_B,$$

где  $\alpha_A = \frac{A}{H^2}$ ;  $\alpha_B = \frac{B}{H^3}$ .

Сопоставление  $\alpha_A$  с  $\alpha_B$  показывает, что для закаленных сталей  $\alpha_A$  в несколько раз больше  $\alpha_B$ , т. е. в законе подхода к насыщению мартенсита основную роль играет член  $\frac{A}{H^2}$  [13].

С увеличением температуры отпуска  $\alpha_A$  уменьшается, а  $\alpha_B$  увеличивается. При отпуске

углеродистых сталей от закона подхода к насыщению гомогенных сплавов и чистых металлов состоит еще в том, что для закаленного и низкоотпущенного мартенсита высокоуглеродистых сталей коэффициент  $B$  имеет отрицательный знак. Появление отрицательного знака у  $B$  и очень большая величина коэффициента  $A$  для мартенсита объясняется действием в них огромных напряжений второго и особенно третьего рода.

Поступила в редакцию  
9.2.1950 г.

Магнитная  
лаборатория

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Акулов Н. С. *Zs. f. Phys.*, **69**, 822, 1931.
2. Акулов Н. С. и Мирясов Н. З. *ДАН СССР*, 1949.
3. Czerlinsky. *Ann. d. Phys.*, **13**, 80, 1932.
4. Polley *Ann. d. Phys.*, **36**, 625, 1939.
5. Акулов Н. С., Пузей И. М. *Изв. АН СССР, сер. физич.*, т. XI, № 5, 1947.
6. Kaufman. *Phys. Rev.*, **57**, 1089, 1940.
7. Becker und Polley. *Ann. d. Phys.*, **37**, 534, 1940.
8. Каминский Э., Курдюмов Г., Лейвикова Д., [*ЖТФ*, т. XI, 1091, 1941.
9. Курдюмов Г., и Лысак. *ЖТФ*, т. XVII, 993, 1947.
10. Мороз Л. С. и Терминасов Ю. С., *ЖТФ*, т. XIX, вып. 3, 1949.
11. Brown. *Phys. Rev.*, **38**, 736, 1940 и **60**, 139, 1941.
12. Акулов Н. С. и Киренский Л. В. *ЖТФ*, т. IX, вып. 13, 1939.
13. Steinhaus, Kussman, S. Moen. *Phys. Zs.*, **38**, 777, 1937.