

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ПО ОБРАЗОВАНИЮ
УРАЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ им. А. М. ГОРЬКОГО

ВЛИЯНИЕ ХОЛОДНОЙ ПЛАСТИЧЕСКОЙ ДЕФОРМАЦИИ И ОТЖИГА НА СТРУКТУРУ И СВОЙСТВА МЕТАЛЛОВ

**Задания для студентов
физического факультета**

**Специализации 010405 «Физика магнитных
явлений», 010416 «Физическая метрология»,
110406 «Физическое материаловедение»**



Екатеринбург
Издательство Уральского университета
2004

Составитель И. А. Кузнецов

*Подготовлено
при частичной поддержке гранта REC-005 (ЕК-005-ХI)
Американского фонда гражданских исследований и развития
для независимых государств бывшего Советского Союза (CRDF)*

Целью предлагаемых заданий является:

- 1) изучение влияния холодной пластической деформации на коэрцитивную силу, электросопротивление, термоэлектродвижущую силу (термоЭДС) и твердость металла;
- 2) установление влияния температуры нагрева на указанные свойства холоднодеформированного металла;
- 3) исследование макро- и микроструктуры металла после холодной пластической деформации и рекристаллизации.

ВВЕДЕНИЕ

Упругая и пластическая деформации. Деформацией называется изменение размеров и формы тела под действием внешних сил. Деформации подразделяют на упругие и пластические. Упругие после окончания действия приложенных сил исчезают, а пластические – остаются.

Сколько бы ни было мало напряжение, оно вызывает деформацию, причем начальные деформации всегда упругие, величина их находится в прямой зависимости от напряжения. Напряжением называют приложенную к телу силу, отнесенную к единице площади его сечения. Так как напряжения вызываются различными причинами, то различают временные напряжения, обусловленные действием внешней нагрузки и исчезающие после ее снятия, и внутренние, возникающие и уравнивающиеся в пределах тела без воздействия внешней нагрузки.

Образование внутренних напряжений связано с неоднородным распределением деформаций (в том числе и микродеформаций) по объему тела.

В системе СИ единицей измерения напряжения является паскаль (Па), который выражается в ньютонах на квадратный метр (Н/м^2). $1 \text{ Н/м}^2 = 10^{-7} \text{ кгс/мм}^2$.

Свойства пластически-деформированных металлов. В результате холодного пластического деформирования металл упрочняется, изменяются его физические свойства. Наклепанный металл запасает 5–10 % энергии, затраченной на деформирование. Она расходуется на образование дефектов решетки (плотность дислокаций возрастает до 10^9 – 10^{12} см^{-2}) и на упругие искажения решетки. Свойства наклепанного металла изменяются тем сильнее, чем больше степень деформации.

С ростом степени деформации увеличиваются прочностные характеристики и понижаются пластичность и вязкость. Металлы интенсивно наклепываются в начальной стадии деформирования. Затем, при возрастании деформации, механические свойства изменяются незначительно. Путем наклепа твердость и временное сопротивление разрыву (предел прочности) σ_b удается повысить в 1,5–3 раза, а предел текучести σ_t – в 3–7 раз.

С увеличением степени деформации возрастает коэрцитивная сила (теория напряжений), понижаются магнитная проницаемость и плотность металла. Электросопротивление у чистых металлов обычно возрастает на 2–6 %. У сталей повышение электросопротивления становится еще менее значительным, а у высокоуглеродистых сталей может произойти даже уменьшение сопротивления, объясняемое разрушением и определенной ориентацией карбидных пластинок.

Несмотря на снижение пластичности, наклеп широко используют для повышения прочности деталей, изготовленных методом холодной обработки давлением. В частности, наклеп поверхностного слоя деталей повышает сопротивление усталости.

Задание 1

ИЗУЧЕНИЕ ВЛИЯНИЯ ХОЛОДНОЙ ПЛАСТИЧЕСКОЙ ДЕФОРМАЦИИ И ОТЖИГА НА КОЭРЦИТИВНУЮ СИЛУ

1.1. Основные определения

Коэрцитивную силу по намагниченности $H_{c,m}$ определяют на установке, принципиальная электрическая схема которой приведена на рис. 1.1.

1.1.1. Влияние степени холодной деформации на коэрцитивную силу устанавливается на 5–6 образцах стали 11ЮА или технического железа (его иногда называют железом «АРМКО»).

1.1.2. Образцы изготавливают следующим образом. Из металла вырезают пластины, имеющие постоянную ширину 10 ± 1 мм и различную толщину в пределах от $5,0 \pm 0,1$ до $15,0 \pm 0,1$ мм. Пластины подвергают различным степеням пластического деформирования методом холодной прокатки до толщины $5,00 \pm 0,05$ мм, чтобы получить различную степень деформации от 4 до 70 %. Полученные после прокатки полосы разрезают на образцы, маркируют (нумеруют), шлифуют на плоскошлифовальном станке по ребру и торцам до размера $(9,0 \pm 0,2) \cdot (40 \pm 1)$ мм.

1.1.3. Для того чтобы определить фактическую степень деформации, измеряют толщину каждого образца с погрешностью не более $\pm 0,05$ мм.

Степень относительной деформации D (Δ) определяют по формуле

$$\Delta = \frac{h_0 - h_1}{h_0} \cdot 100 \%, \quad (1.1)$$

где h_0 – толщина образца до прокатки (сообщает преподаватель); h_1 – толщина образца после прокатки.

1.2. Порядок выполнения задания 1

1.2.1. Записать номера образцов; измерить толщину деформированных образцов; определить фактическую степень деформации по формуле 1.1 (толщину образцов до деформации сообщает преподаватель).

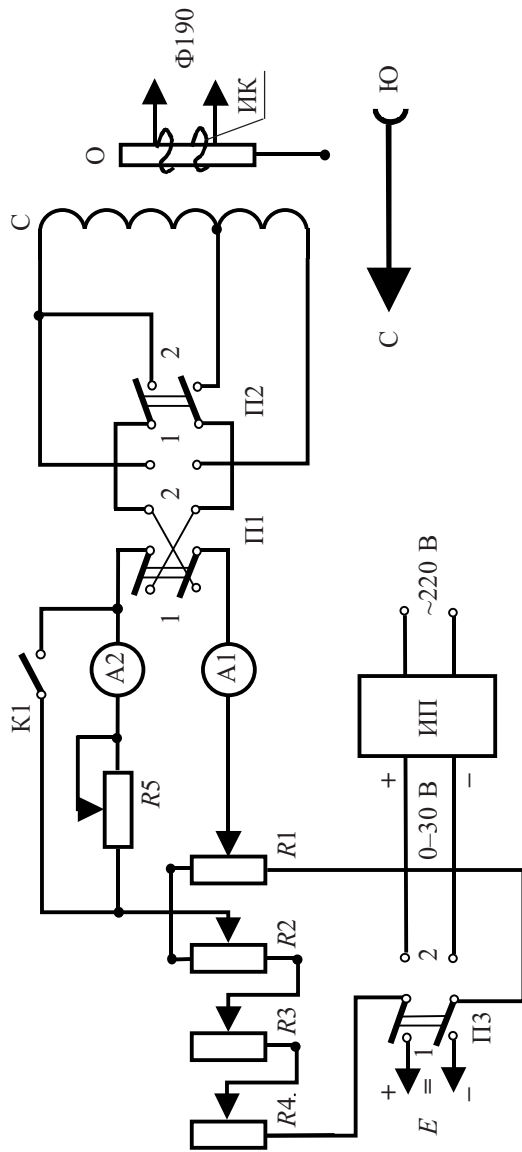


Рис. 1.1. Схема установки для определения коэрцитивной силы:

R_1, R_2, R_3, R_4 – реостаты для регулировки тока в намагничивающей и размагничивающей цепях; A_1, A_2 – амперметры; Π_1, Π_2, Π_3 – двухполюсные переключатели; K_1 – ключ для шунтирования амперметра A_2 при измерении размагничивающего тока; R_5 – сопротивление в цепи амперметра A_2 ; C – трансформатор; O – образец; $ИК$ – измерительная катушка; E – источник постоянного тока на 92 В (или 210 В) (выпрямитель); $\Phi 190$ – микроамперметр; $ИП$ – источник питания постоянного тока с регулируемым выходным напряжением от 0 до 30 В (прил. 1)

1.2.2. Ознакомьтесь с установкой (рис. 1.1), состоящей из средств измерения и устройств, требования к которым изложены ниже. Определить места их расположения на столе собранной установки (амперметры, переключатели, шунтирующие ключи, блоки микроамперметра, реостаты, соленоид, источники питания).

1.3. Подготовка микроамперметра к работе

1.3.1. Микроамперметр (иногда его называют флюксометром) является высокочувствительным прибором, предназначенным для измерения малых постоянных магнитных потоков, а также магнитной индукции в воздушных зазорах магнитных цепей с постоянными магнитными потоками.

Микроамперметр типа $\Phi 190$ состоит из трех блоков: блока фотогальванометрического усилителя $\Phi 190/Г$, установленного на полке, закрепленной на вмонтированных в капитальной стене кронштейнах, блока питания $\Phi 190/П$ и блока управления $\Phi 190/У$. Для записи измеряемых величин на тыльной стороне блока $\Phi 190/У$ имеются тумблер «Внешний прибор» и зажимы для подключения внешнего прибора, например самописца.

По чувствительности к магнитному потоку микроамперметры типа $\Phi 190$ превосходят лучшие образцы баллистических гальванометров. Для получения достоверных результатов при столь высокой чувствительности необходимо особо тщательно выполнять измерительную схему и аккуратно обращаться с прибором. Кроме того, особое внимание следует уделить устранению паразитных ЭДС в цепи измерения. Поэтому измерительную катушку рекомендуется соединять с прибором нелуженым медным проводом.

1.3.2. Проверьте наличие соединений блоков прибора соединительными шнурами со штепсельными разъемами. Заземлите зажимы «Э» в блоке $\Phi 190/П$.

1.3.3. Установите корректором показывающего прибора ($\Phi 190/У$) стрелку на нулевую отметку.

1.3.4. На блоке $\Phi 190/У$ поставьте ключ «Нуль – Измерение» в положение «НУЛЬ», переключатель пределов измерения – на 50–0–50 или 100–0–100 мкВб. Зажимы «НУЛЬ – 500 мкВб» замкните переключателем.

1.3.5. Включите прибор в сеть переменного тока напряжением 220 В с помощью шнура и сетевого тумблера на блоке $\Phi 190/П$.

1.3.6. Прогрейте прибор в течение 30 мин.

1.3.7. Ключ «Нуль – Измерение» переведите в положение «Измерение». При наличии «сползания» указателя с нулевой отметки шкалы тумблером включите схему «Компенсация ЭДС» и ручками «Грубо» и «Точно» остановите «сползание».

1.3.8. Ключ «Нуль – Измерение» переведите в положение «Нуль». При этом указатель должен вернуться на нулевую отметку шкалы.

1.3.9. Повторите указанные операции пп. 1.3.7 и 1.3.8 и убедитесь, что указатель не «сползает» с нулевой отметки шкалы.

После проведения указанных операций прибор готов к работе.

1.4. Метод измерения коэрцитивной силы по намагниченности

В настоящей работе для измерения коэрцитивной силы применяется метод, аналогичный баллистическому, – метод выдергивания образца из измерительной катушки (рис. 1.2). В центре соленоида с известной постоянной K расположена измерительная катушка, намотанная на фарфоровую трубку, закрытую с одного конца.

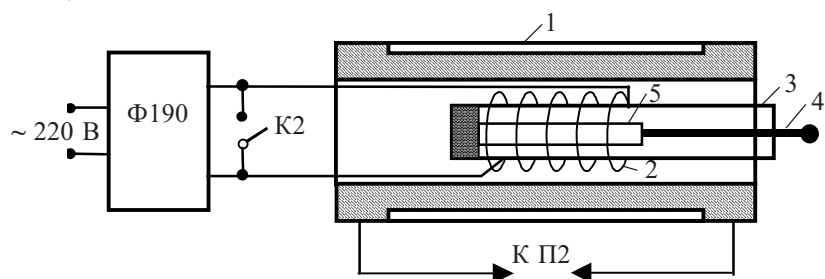


Рис. 1.2. Расположение измерительной катушки в соленоиде и ее подключение к микроамперметру Ф190:

1 – соленоид; 2 – измерительная катушка; 3 – фарфоровая трубка; 4 – держатель; 5 – образец

Измерение коэрцитивной силы производится в следующем порядке.

1.4.1. Держатель, в который вкладывается образец, помещают в фарфоровую трубку до упора. При этом середина образца должна совпадать с центром измерительной катушки и соленоида, а держатель с образцом должен иметь возможность свободного перемещения в фарфоровой трубке. При перемещении из начального

в конечное положение образец должен находиться в зоне однородного поля соленоида. При повторных перемещениях образца расстояние от его начального положения до конечного меняться не должно.

Напряженность поля, создаваемая в центре соленоида, должна быть достаточной для намагничивания образца до технического насыщения.

Значение необходимой напряженности поля H_s можно определить экспериментально, например путем измерения зависимости коэрцитивной силы от намагничивающего поля для образца с наибольшей коэрцитивной силой (для определенной партии образцов). Достаточной является такая напряженность поля H_s , уменьшение которой на 25 % приводит к уменьшению коэрцитивной силы не более чем на 1 %.

1.4.2. Ручку переключателя П2, расположенного на каркасе соленоида, устанавливают в положение «1», в этом случае для намагничивания образца будет использована вся обмотка соленоида.

1.4.3. Ручку переключателя П1, указывающую направление поля в соленоиде, оставляют в положении «0».

1.4.4. Ручку переключателя П3, расположенного на передней панели стола, ставят в положение «Выпрямитель».

1.5. Измерения

1.5.1. При измерениях на пределах 2–0–2÷100–0–100 мкВб подключите измерительную схему (измерительную катушку) к зажимам «*» и «2÷100 мкВб» (на блоке Ф190/У) и разомкните переключку на зажимах «Нуль – 500 мкВб».

1.5.2. При зашунтированном микроамперметре и амперметре А2 (ключи К1, К2 замкнуты) (рис. 1.2) ручка переключателя остается в положении «0». Включите источник постоянного тока напряжением 92 или 210 В рубильником, расположенным на щите (предварительно включив выпрямитель).

1.5.3. Переключатель П1 установите, например, в положение «1», включите ток в соленоиде, увеличьте его при помощи регулировочных реостатов $R1–R4$ последовательным перемещением подвижных контактов реостатов вниз, начиная с ближнего от себя ($R1$) и, следя за показаниями амперметра А1, доведите намагничивающий ток до значения, соответствующего напряженности поля

в соленоиде, достаточной для технического насыщения материала образца.

1.5.4. Установив требуемый намагничивающий ток (обычно ~ 7 А), плавно уменьшите его до нуля, возвращая подвижные контакты реостатов в исходное положение, начиная с дальнего от себя (R4). Убедитесь, что стрелка амперметра А1 вернулась в нулевое положение.

1.5.5. Ручку переключателя ПЗ из положения «Выпрямитель» поверните в положение ИП (или аккумуляторы).

1.5.6. Расшунтируйте амперметр А2 поворотом ключа К1 в положение «Амперметр включен», при этом К1 размыкается.

1.5.7. При измерении коэрцитивной силы $H_{C,M} < 1000$ А/м ручку переключателя П2 установите в положение «2». При этом будет включена лишь часть обмотки соленоида при определении размагничивающего тока образца. В этом случае при расчете коэрцитивной силы используйте постоянную соленоида $K2 = 724$ 1/м. Для измерения $H_{C,M} > 1000$ А/м ручку переключателя П2 установите в положение «1», а при расчете $H_{C,M}$ пользуйтесь значением $K1 = 7780$ 1/м.

1.5.8. Ручку П1 установите в положение «2», в результате этого в соленоиде будет создаваться магнитное поле, обратное намагничивающему. Дальнейшее измерение заключается в подборе такой величины размагничивающего тока I_p (при постепенном его увеличении), при котором выдергивание образца из измерительной катушки не вызывает показаний микроверметра.

1.5.9. Для определения величины размагничивающего тока образцов с $H_{C,M} < 500$ А/м расшунтируйте амперметр А2 (размыканием ключа К1), установите переключатель П2 в положение «2» и, постепенно увеличивая ток при помощи реостатов R1–R4, получите по амперметру А2 примерно 0,01 А.

1.5.10. Расшунтируйте микроверметр (размыканием ключа К2), а на блоке Ф190/У ключ «Нуль – Измерение» переведите в положение «Измерение» и выдерните образец из измерительной катушки. При этом стрелка микроверметра отклонится, например вправо. Отклонение стрелки прибора указывает на то, что значение тока по амперметру А2 не достигло величины размагничивающего тока. Для получения истинного значения I_p необходимо

увеличить ток. Зашунтировав микроверметр переводом ключа в положение «Шунт», а ключа на блоке Ф190/У – в положение «Нуль», плавно увеличивайте ток реостатами R1–R4. Установите новое значение тока, вновь расшунтируйте микроверметр, а ключ на блоке Ф190/У установите в положение «Измерение» и выдержите образец из измерительной катушки, наблюдая за отклонением стрелки микроверметра. При правильном выборе направления тока отклонение от нуля уменьшается. Возврат от больших значений тока к меньшим недопустим. При необходимости возврата следует вновь установить максимальный намагничивающий ток и повторить операции, описанные в пп. 1.5.3, 1.5.4 и т. д. Добейтесь такого показания тока, при котором не будет отклоняться стрелка микроверметра при выдергивании образца из измерительной катушки. В этом случае показание амперметра А2 соответствует значению I_p для данного образца.

Последнее обстоятельство свидетельствует о том, что намагниченность образца равна нулю, а следовательно, и напряженность поля соленоида равна коэрцитивной силе, т. е.

$$H_{C,M} = K \cdot I_p,$$

где $H_{C,M}$ – коэрцитивная сила, А/м; K – постоянная соленоида, 1/м; I_p – сила тока в обмотке соленоида при нулевом отклонении микроверметра, А.

Полученное значение I_p запишите в журнал.

1.5.11. При измерении образцов с малыми значениями коэрцитивной силы ($H_{C,M} < 500$ А/м) необходимо учитывать действие магнитного поля Земли. Для этого нужно провести еще измерение I_p при обратном направлении тока в соленоиде. При этом переключатель П1 установите в положение «2», а при размагничивании – в положение «1» и повторите операции по пп. 1.5.7, 1.5.8 и т. д. Определите значение I_p при втором направлении тока в соленоиде. Помните, что в этом случае при выдергивании образца из измерительной катушки отклонение стрелки микроверметра сменится на обратное.

1.5.12. Значение коэрцитивной силы по намагниченности вычисляют как среднее арифметическое двух значений $H_{C,M}$, полу-

ченных при различных направлениях тока в соленоиде. Коэрцитивную силу (в А/м) вычисляют по формуле

$$H_{C,M} = K \frac{I'_p + I''_p}{2}, \quad (1.2)$$

где I'_p и I''_p – значения размагничивающего тока, полученные при первом и втором направлениях тока в соленоиде.

1.5.13. При значении $H_{C,M} > 1000$ А/м намагничивание и размагничивание образцов проводите с использованием всей обмотки соленоида ($K_1 = 7780$ А/м).

1.5.14. Практически подобрать точное значение размагничивающего тока I_p по отсутствию отклонения стрелки микроамперметра довольно сложно. Поэтому обычно значение I_p определяют одним из способов, описанных ниже.

1.5.15. После намагничивания образца до технического насыщения и размагничивания по пп. 1.5.7, 1.5.8 переключатель П1 установите в положение «2» и при зашунтированном микроамперметре (ключ К2 замкнут) включите ток обратного по отношению к намагничивающему направления. Постепенно увеличивая при помощи реостатов R1–R4 размагничивающий ток и при каждом фиксированном токе (после расшунтирования микроамперметра) при выдергивании образца из катушки наблюдайте ряд положительных отклонений стрелки микроамперметра и отрицательных его показаний, т. е. при несколько меньших и больших значениях коэрцитивной силы. Постройте график в координатах «размагничивающий ток (ось абсцисс) – показание микроамперметра по результатам измерений (ось ординат)». Значение коэрцитивной силы (в А/м) по намагниченности вычислите по формуле

$$H_{C,M} = K \cdot I_p, \quad (1.3)$$

где I_p – абсцисса точки пересечения прямой (графика) с осью абсцисс, А.

1.5.16. Подберите два таких значения тока I_1 и I_2 , которым соответствуют примерно равные значения показаний микроамперметра при напряженности размагничивающего поля, несколько меньшей и несколько большей значения коэрцитивной силы, т. е. при $I_1 < I_p$ и $I_2 > I_p$ (см. п. 1.5.15).

При токе I_1 и выдергивании образца из измерительной катушки микроамперметр дает положительное показание $+\Psi_1$, а при I_2 соответственно $-\Psi_2$. Каждое значение Ψ_1 и Ψ_2 наблюдайте не менее двух раз.

1.5.17. Повторите операции п. 1.5.15 при обратном по отношению к установленному по п. 1.5.15 направлению тока.

1.5.18. Значение коэрцитивной силы по намагниченности (в А/м) вычислите по формуле

$$H_{C,M} = K \cdot I_1 + K \cdot (I_2 - I_1) \frac{\Psi_{1,CP}}{\Psi_{1,CP} + |\Psi_{2,CP}|}, \quad (1.4)$$

где $\Psi_{1,CP}$ и $\Psi_{2,CP}$ – среднее арифметическое показаний соответственно Ψ_1 и Ψ_2 , Вб.

1.5.19. Закончив измерения, переведите все ключи в зашунтированное положение, движки реостатов R1–R4 – вверх (минимальный ток в намагничивающей цепи), отключите от сети микроамперметр и источник питания Н3005 (или батарею аккумуляторов).

1.5.20. Вычислите $H_{C,M}$, постройте график зависимости $H_{C,M}$ от степени холодной пластической деформации: $H_{C,M} = f(\Delta)$, оцените погрешность измерений, сделайте выводы, оформите отчет.

Контрольные вопросы

1. Как определить напряженность поля в соленоиде, достаточное для намагничивания образца до технического насыщения?
2. Как учесть влияние магнитного поля Земли при измерении $H_{C,M}$ магнитомягких материалов?
3. Дайте обоснование использования при размагничивании образца только части витков намагничивающего соленоида.
4. Какие способы применяют при определении $H_{C,M}$?
5. Объясните изменение коэрцитивной силы в зависимости от степени холодной пластической деформации.

Задание 2

ИЗУЧЕНИЕ ВЛИЯНИЯ ХОЛОДНОЙ ПЛАСТИЧЕСКОЙ ДЕФОРМАЦИИ НА УДЕЛЬНОЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЕ СОПРОТИВЛЕНИЕ

2.1. Основные определения

Удельное электрическое сопротивление ρ является материальной константой материала, определяется его физической природой и не зависит от формы и размеров материала. Удельное сопротивление находят путем измерения сопротивления R на образцах длиной L и сечением S . Указанные величины связаны соотношением

$$R = \rho \frac{L}{S}. \quad (2.1)$$

Удельное сопротивление металлов зависит от температуры, а для ферромагнитных материалов – и от магнитной предыстории. Поэтому перед измерением сопротивления образцы необходимо размагнитить, а в процессе измерения поддерживать температуру постоянной.

2.1.1. Электрическое сопротивление R_x измеряется с помощью одинарно-двойного моста постоянного тока типа Р329.

2.1.2. Общий вид панели моста показан на рис. 2.1.

Схема моста позволяет при измерении низкоомных сопротивлений пользоваться как встроенными, так и внешними образцовыми сопротивлениями.

Питание двойного моста осуществляется от источника постоянного тока (при питании от НУ $I \leq 5$ А).

2.1.3. Регулировка чувствительности при работе с зеркальным нуль-индикатором осуществляется с помощью кнопок «Грубо» и «Точно».

При включении кнопки «Грубо» последовательно с нуль-индикатором включается сопротивление 51 кОм, при включении кнопки «Точно» нуль-индикатор включен в схему непосредственно.

Успокоение гальванометра осуществляется с помощью кнопки «Успокоение 51 Ом» (или включением ключа К, шунтирующего гальванометр, см. рис. 2.2).

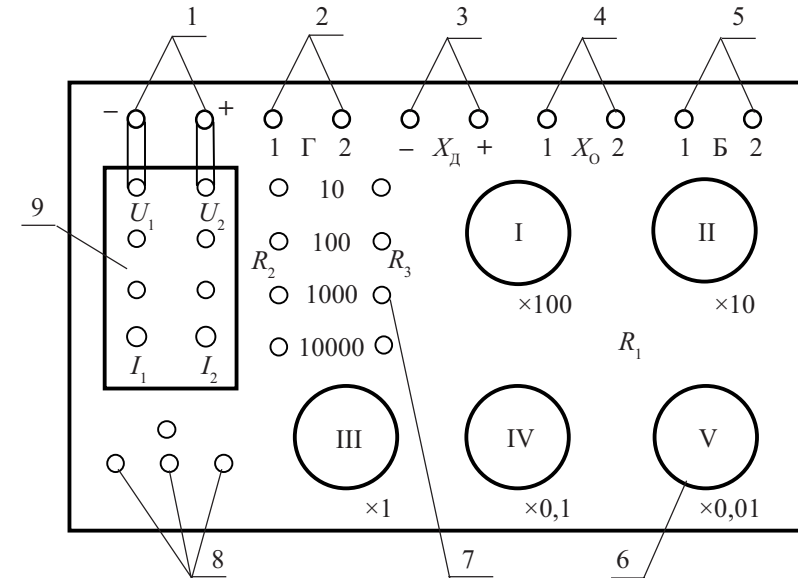


Рис. 2.1. Общий вид панели одинарно-двойного моста постоянного тока типа Р329:

1 – зажимы для присоединения образцового сопротивления (встроенного или внешнего); 2 – зажимы для подключения нуль-индикатора (зеркального гальванометра Г типа М21/4); 3, 4 – зажимы для подключения измеряемого сопротивления при измерении в схеме двойного X_d (3) или одинарного X_0 (4) моста; 5 – зажимы для подключения аккумулятора (Б) или другого источника питания, например НУ3005 (см. прил. 1); 6 – декадные переключатели (I–V) сравнительного плеча (R_1); 7 – R_2 и R_3 – плечи отношений, сопротивления плеч R_2 и R_3 включаются с помощью штепселей и штепсельных колодок; 8 – кнопки цепи нуль-индикатора; 9 – блок встроенных образцовых сопротивлений

На лицевой панели и щитке со схемой нанесены все необходимые для работы моста надписи.

На внутренней стороне крышки прикреплены принципиальная схема и краткие правила пользования мостом.

2.2. Измерение сопротивления по схеме двойного моста с внешними образцовыми сопротивлениями и зеркальным гальванометром

Схема наружных соединений показана на рис. 2.2. При каждом включении должна соблюдаться полярность, как указано на рис. 2.2.

На рис. 2.3. показано включение образца в цепь моста с помощью специальной приставки, имеющей токовые и потенциальные зажимы для образцов, длина которых больше 40 мм (a) и меньше

40 мм (б). Постоянство потенциальных контактов достигается с помощью ножей из лезвия бритвы, закрепленных на расстоянии l .

2.3. Порядок выполнения задания 2

2.3.1. Измерьте толщину и ширину деформированных образцов; определите сечение и фактическую степень деформации по формуле 1.1 (см. п. 1.1.3).

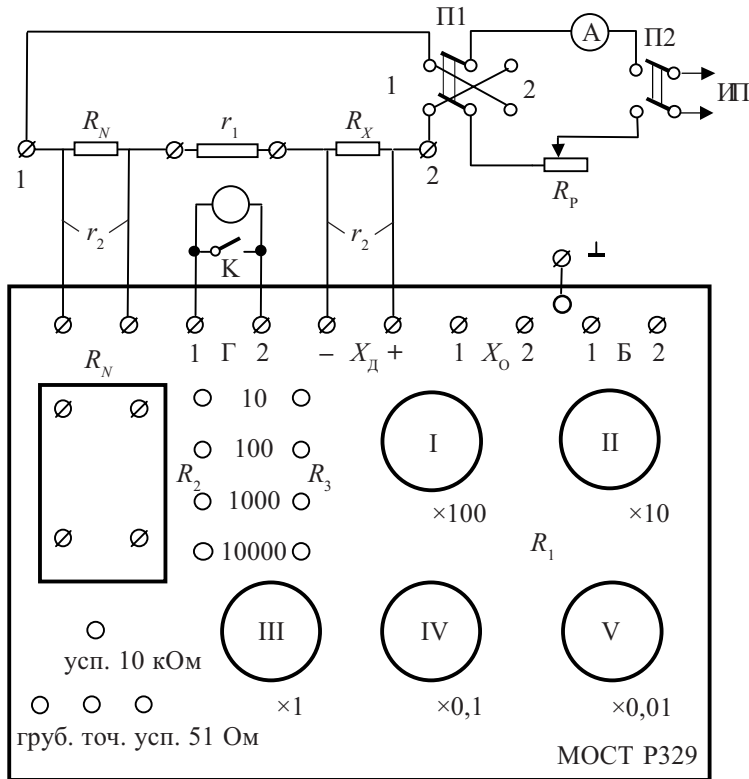


Рис. 2.2. Схема наружных соединений при работе с внешними образцовыми соединениями:

R_N – образцовое сопротивление; R_X – измеряемое сопротивление; Г – зеркальный гальванометр; К – ключ для шунтирования гальванометра; А – амперметр; П1 – переключатель для изменения направления тока в цепи; П2 – переключатель для подключения постоянного тока (аккумулятора или другого источника); R_p – реостат для регулировки тока; r_1 – сопротивление не более 0,001 Ом; r_2 – сопротивление калиброванных проводов не более 0,001 Ом

2.3.2. Размагнитьте образцы путем их пропускания через катушку, питаемую переменным током.

2.3.3. По схеме рис. 2.2 подключите образец в цепь моста.

2.3.4. При зашунтированном гальванометре проверьте, включены ли кнопки в цепи гальванометра, и несколько раз поверните ручки декад плеча сравнения R_1 и штепсели плеч отношения R_2, R_3 .

2.3.5. Нажмите и зафиксируйте поворотом на 90° кнопку «Успокоение 10 кОм». В зависимости от измеряемого сопротивления выставьте ориентировочно значения R_1 и $R_2 = R_3$.

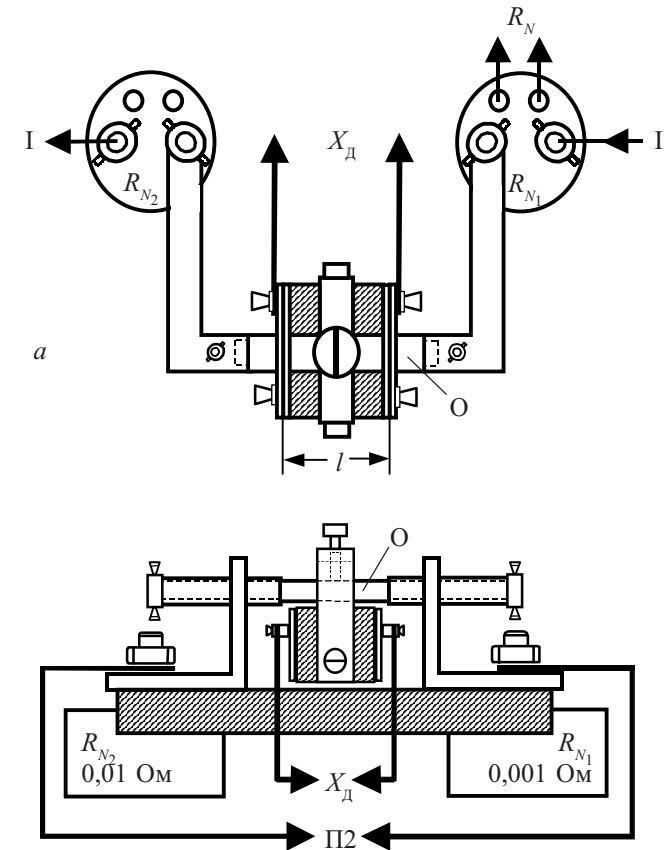


Рис. 2.3. Приставка к мосту P329 для измерения электрического сопротивления для образцов длиной более 45 мм (а) и менее 40 мм (б)

В табл. 1 приведены рекомендуемые значения сопротивления плеч моста и параметры гальванометра, обеспечивающие точность измерения при пользовании всеми пятью декадами сравнительного плеча.

Таблица 1

Измеряемое сопротивление, Ом	Образцовое сопротивление R_N , Ом	Плечи отношения $R_2 = R_3$, Ом	Параметры гальванометра
От 10^{-6} до 10^{-4}	0,001	10000	$C_I \leq 5 \cdot 10^{-9} \text{ А} \cdot \text{м/мм}$
От 10^{-4} до 10^{-3}	0,001	1000	$C_U \leq 5 \cdot 10^{-9} \text{ А} \cdot \text{м/мм}$
От 10^{-3} до 10^{-2}	0,001	100	$R_r = 9 \text{ Ом}$
От 10^{-2} до 10^{-1}	0,01	100	$R_k \leq 35 \text{ Ом}$
От 10^{-1} до 1	0,1	100	$T_0 \cong 9 \text{ с}$

Примечание. C_I – постоянная по току; C_U – постоянная по напряжению; R_r – внутреннее сопротивление; R_k – внешнее критическое сопротивление; T_0 – период свободных колебаний

2.3.6. Установите переключатель П1 в положение «1»; замкните переключатель П2 и по амперметру установите ток $\sim 4,5 \text{ А}$, регулируя сопротивление реостата R_p .

2.3.7. Нажмите и при необходимости поворотом вокруг оси зафиксируйте кнопку «Грубо», расшунтируйте гальванометр, после чего вращением ручек декад сравнительного плеча добейтесь равновесия моста.

2.3.8. Нажмите и при необходимости зафиксируйте кнопку «Точно», после чего снова добейтесь равновесия моста; запишите показания декад сравнительного плеча R_1 .

Ток в схеме моста необходимо включать на 2–3 с во избежание нагревания образца током, проходящим по образцу. При этом следите, в какую сторону отклоняется «зайчик» гальванометра от положения равновесия, например, если влево – следует увеличить вращением ручек декад сравнительного плеча R_1 , а вправо – уменьшить R_1 .

Помните, что при изменении тока в схеме моста отклонение «зайчика» гальванометра сменяется на обратное.

2.3.9. Для исключения влияния термоЭДС на результат измерения необходимо переключателем П1 изменить направление тока в схеме моста и повторить измерение. Несколько передвиньте потенциальные контакты по образцу и вновь повторите измерение.

2.3.10. Окончательным результатом является среднее арифметическое из четырех (или большего числа) измерений.

Величину измеряемого сопротивления рассчитывают по формуле

$$R_x = \frac{R_1}{R_2} \cdot R_N, \quad (2.2)$$

где R_1 – среднее арифметическое из числа измерений; R_2 – значение плеч отношения ($R_2 = R_3$), Ом; R_N – значение образцового сопротивления, Ом.

После измерения сопротивления всех образцов определите удельное электрическое сопротивление по формуле

$$\rho = \frac{S}{l} \cdot R_x, \text{ Ом} \cdot \text{м}, \quad (2.3)$$

где l – расстояние между потенциальными зажимами (указано на приставках к мосту), м; S – сечение образца, м^2 .

Закончив измерение, зашунтируйте гальванометр, отключите источник тока.

Результаты работы изобразите в виде графика, т. е. $\rho = f(\Delta)$, оцените погрешности измерений, сделайте выводы, оформите отчет.

Контрольные вопросы

1. От каких параметров зависит ρ ?
2. Для чего необходимо размагничивать образец?
3. Как учесть влияние термоЭДС в измерительной цепи?
4. Как зависит ρ от степени холодной пластической деформации?

Задание 3

ИЗУЧЕНИЕ ВЛИЯНИЯ ХОЛОДНОЙ ПЛАСТИЧЕСКОЙ ДЕФОРМАЦИИ НА ТЕРМОЭДС

3.1. Основные явления и закономерности

Высокая чувствительность термоэлектрических свойств к изменению химического и фазового составов, простота и экспрессность измерений обеспечивают успешное применение термоэлектрического метода при рассортировке металлических материалов по маркам, определении химического состава, глубины обезуглероженного слоя, толщины гальванических покрытий, содержания остаточного аустенита, а также для исследования процессов, совершающихся в сплавах при нагревании и охлаждении. Термоэлектрические свойства находят широкое применение при изучении деформации металла и измерениях температуры.

3.1.1. Термоэлектрический метод основан на эффектах, связанных с возникновением в металлах термоЭДС. Все термоэлектрические приборы, применяемые в настоящее время, основаны на эффекте Зеебека, который состоит в следующем: если два проводника из различных металлов соединить в замкнутый контур и одно из соединений нагреть до температуры, превышающей температуру другого соединения, в контуре начинает протекать ток, величина которого зависит от природы материалов и разности температур двух спаев. Когда речь идет об эффекте Зеебека, обычно рассматривают разомкнутый контур, на концах которого возникает термоЭДС. Образованный двумя проводниками контур называют термопарой или термоэлементом (датчиком).

3.1.2. Термоэлектрический метод основан на том, что изменение химического и фазового состава сплава влечет за собой и изменение термоЭДС (E), измеряемой по отношению к какому-либо элементу сравнения. Зависимость термоЭДС от природы (физических свойств) соприкасающихся металлов и от разности температур спаев в классической электронной теории выражается формулой

$$E = \frac{K}{e} \Delta T \ln \frac{n_{01}}{n_{02}}, \quad (3.1)$$

где E – термоЭДС исследуемого материала или сплава относительно элемента сравнения; K – постоянная Больцмана; e – заряд электрона; ΔT – разность температур горячего и холодного спаев; n_{01} , n_{02} – концентрации свободных электронов исследуемого металла или сплава и элемента сравнения.

Из формулы 3.1 следует, что величина термоЭДС должна плавно изменяться с изменением электронной концентрации сплава, т. е. с изменением степени легирования. Но формула 3.1 не учитывает возможную зависимость концентрации электронов от температуры. Этим отчасти и объясняется тот факт, что зависимость термоЭДС от разности температур спаев для некоторых пар металлов имеет довольно сложный характер.

Ряд трудностей, которые имела классическая теория при попытке объяснить электропроводность, а следовательно и термоэлектрические эффекты, устраняет зонная модель. Согласно Мотту и Джонсу абсолютная величина термоЭДС переходных металлов определяется формулой

$$E = \frac{\pi^2 K^2 T}{3|e|} \left[\frac{1}{N_d} \frac{\partial N_d}{\partial \epsilon} - \frac{1}{F} \frac{\partial F}{\partial \epsilon} \right]_{\epsilon=\epsilon_F}, \quad (3.2)$$

где K – постоянная Больцмана; T – температура; e и ϵ – соответственно заряд и энергия электрона; N_d – плотность электронных состояний в d -зоне; F – площадь поверхности Ферми; ϵ_F – энергия Ферми.

Изменение термоЭДС при легировании будет в основном определяться изменением первого члена выражения. Величина $\frac{\partial N_d}{\partial \epsilon}$ очень сильно зависит от плотности электронных состояний в d -зоне и с приближением уровня Ферми к верхней границе зоны становится отрицательной.

3.1.3. Зависимость термоЭДС от температуры спаев имеет сложный характер и выражается формулой

$$E = aT + bT^2 + cT^3, \quad (3.3)$$

где T – температура; a, b, c – величины, характеризующие физическую природу материалов. Знак термоЭДС зависит от металла и температуры.

Величина E может быть подсчитана простым суммированием (правило аддитивности), если контур состоит из нескольких металлов. При пользовании правилом аддитивности для подсчета суммарной термоЭДС в сложных контурах, состоящих из нескольких металлов, необходимо учитывать не только модуль E в каждой паре, но и ее знак.

3.2. Приборы для контроля физических свойств термоэлектрическим методом состоят из датчика и пульта управления с гальванометром или другим индикаторным устройством. В основу приборов при неразрушающем контроле положен принцип механического контакта электродов с изделием. Между электродами поддерживается постоянная разность температур. При этом используется одна из двух схем создания и измерения термоЭДС, получивших название простой и дифференциальной (рис. 3.1).

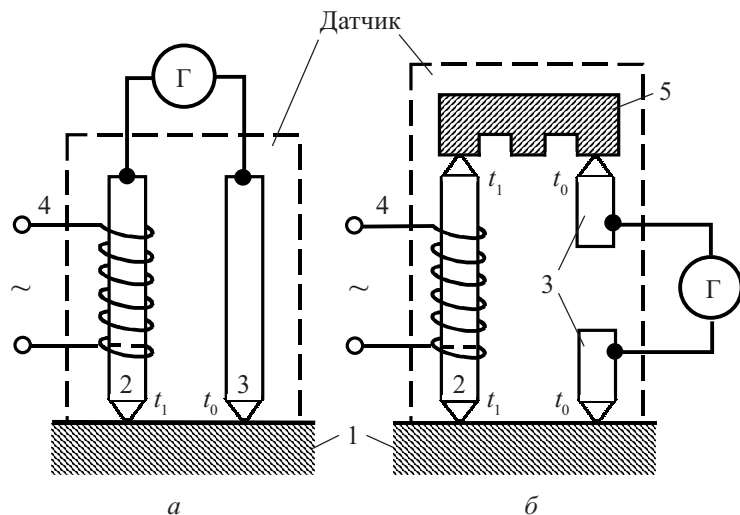


Рис. 3.1. Схема устройства термоэлектрического прибора с простым (а) и дифференциальным (б) датчиками:

1 – испытуемое изделие; 2 – горячий электрод; 3 – холодный электрод; 4 – нагреватель; 5 – стандартный образец (эталон); Г – гальванометр

3.3. Установка для исследования термоЭДС в лабораторных условиях

3.3.1. Точность измерения термоЭДС зависит от конструкции термоэлектрического датчика, температуры и материала горячего электрода. Для измерений автором был разработан проходной датчик (рис. 3.2), основными частями которого являются горячий электрод, холодный электрод в виде подъемного столика, подставка, стойка и траверза с двумя направляющими перемещения нагревателя.

Обогревательный горячий электрод нижним концом помещен в керамический нагревательный элемент со спиралью из нихрома (диаметр 0,3 мм, сопротивление 42 Ом). Температура нижнего кон-

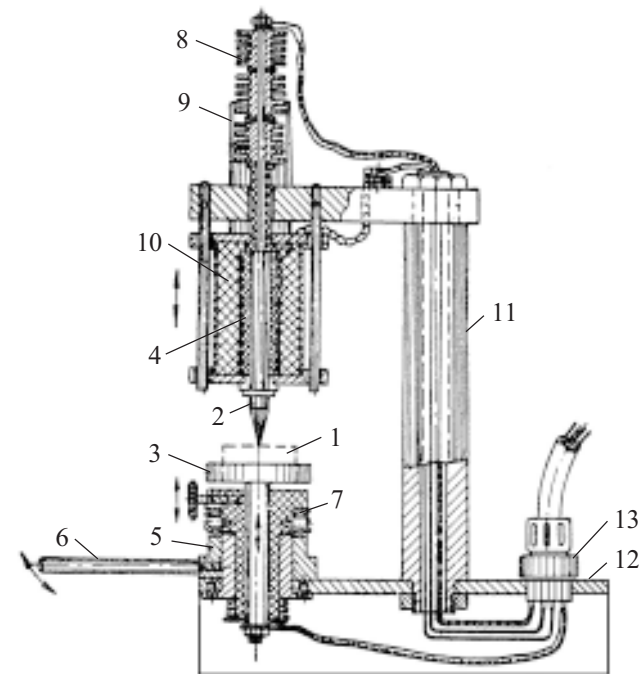


Рис. 3.2. Термоэлектрический датчик:

1 – испытуемый образец; 2 – горячий (обогреваемый) электрод; 3 – холодный электрод; 4 – нагревательный элемент; 5 – эксцентрик; 6 – ручка; 7 – шарикоподшипники; 8 – воздушные радиаторы; 9 – грузы; 10 – траверза с двумя направляющими; 11 – стойка; 12 – подставка; 13 – разъем

ца горячего электрода, имеющего конусное окончание, поддерживается с помощью термопары хромель-копель и электронного терморегулятора ЭПД-12 (рис. 3.3). Для поддержания комнатной температуры на верхнем конце обогреваемого электрода расположены воздушные радиаторы, которые обдуваются вентилятором (на рис. 3.2 не показан), укрепленным на стойке.

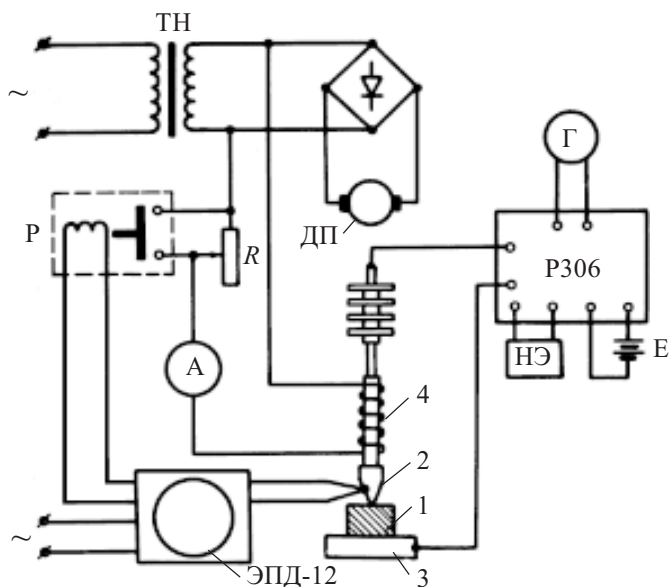


Рис. 3.3. Схема установки для измерения термоЭДС:

1 – испытуемое изделие; 2 – горячий электрод; 3 – холодный электрод; 4 – нагреватель; ТН – понижающий трансформатор; ДП – электродвигатель; Р – реле; R – сопротивление переменное; А – амперметр; P306 – потенциометр; Г – гальванометр; НЭ – нормальный элемент; Е – аккумуляторная батарея; ЭПД-12 – электронный терморегулятор

Провода от горячего и холодного электродов подведены к низкоомному потенциометру постоянного тока P306. Оба электрода электрически изолированы от металлической арматуры прибора. Провода от нагревателя и электродвигателя ДП-1-26 подводятся через разъем к источнику электрического тока напряжением 36 В. Нагреватель вместе с горячим электродом может перемещаться по вертикальным направляющим на 5–10 мм, что позволяет прижимать горячий конец электрода к образцу с постоянной силой,

величина которой подбирается двумя грузами (или пружиной). Стандартную силу прижатия горячего электрода к образцу и расстояние между концами горячего и холодного электродов подбирают перемещением подъемного столика с помещенным на него образцом.

3.4. Назначение потенциометра

3.4.1. Потенциометр лабораторный постоянного тока низкоомный P306 предназначен для точных измерений малых электродвижущих сил и напряжений. По точности измерений прибор относится к классу 0,015.

Верхний предел измерения потенциометра равен 20,111 мВ. Цена деления равна одной десятичной милливольт.

Основная допустимая погрешность (в мВ) определяется формулой

$$\pm(1,5 \cdot 10^{-4} U + 0,4 \Delta U), \quad (3.4)$$

где U – данное показание прибора, мВ; ΔU – цена одной ступени младшей измерительной декады, мВ.

Рабочий ток потенциометра равен 1 мА. Потенциометр рассчитан на применение батареи аккумуляторов от 3,6 до 4,6 В. Для установки рабочего тока потенциометра служит нормальный элемент (НЭ) с ЭДС от 1,0180 до 1,0189 В. Зависимость электродвижущей силы НЭ от температуры окружающей среды приводится для каждого экземпляра нормального элемента в паспорте, приложенном к элементу. Значения ЭДС используемого НЭ при различных температурах вычислены и приведены в таблице, расположенной на столе.

Рядом с переключателем декады нормального элемента имеется надпись «1,018», а на лимбе переключателя можно выставить десятичные и сотые доли вольта (в зависимости от окружающей температуры).

Для исключения погрешности от термоЭДС, возникающих в цепи гальванометра, в схему потенциометра введен переключатель «Направление тока», поворотом ручки которого из положения «I» в положение «II» или наоборот одновременно изменяются направление рабочего тока в компенсационной цепи и полярность включения ЭДС.

Такое переключение бывает необходимым при наличии в измерительной схеме паразитных ЭДС. Произведя два измерения при двух крайних положениях переключателя «Направление тока» и взяв среднее арифметическое, получаем истинное значение измеряемой ЭДС, но только в том случае, если паразитные ЭДС не меняются в ходе измерения.

При изменении положения переключателя «Направление тока» оставлять его в промежуточном положении недопустимо вследствие возможных больших толчков через гальванометр.

Гальванометр включается переключателем «НЭ – $X_1 - X_2$ » либо в цепь нормального элемента, либо в цепь измеряемой ЭДС X_1 , либо в цепь измеряемой ЭДС X_2 .

При ненажатых кнопках «2,7 кОм» и «0» последовательно с гальванометром введено добавочное сопротивление 150 кОм.

При нажатии на кнопку «2,7 кОм» гальванометр включается через добавочное сопротивление 2,7 кОм, а при нажатии на кнопку «0» – непосредственно (без добавочных сопротивлений).

3.5. Порядок выполнения задания 3

3.5.1. Измерьте толщину деформированных образцов; вычислите фактическую степень деформации по приведенной в п. 1.1.4 формуле 1.1.

3.5.2. Размагнитьте образцы путем их пропускания через катушку, питаемую переменным током.

3.5.3. Ознакомьтесь с установкой, схема наружных соединений которой показана на рис. 3.3; выясните назначение отдельных узлов и надписей на лицевой панели потенциометра, необходимых для работы.

3.6. Подготовка к измерениям

3.6.1. Проверьте, разомкнуты ли кнопки «0» и «2,7 кОм» (не зафиксированы ли в нажатом состоянии); ручки переключателя «НЭ – $X_1 - X_2$ » – в положении «Выкл», а ручка переключателя направления тока – в одном из крайних положений («I» или «II»). Остальные ручки могут находиться в произвольных положениях; несколько раз поверните ручки декад.

3.6.2. Подсоедините к потенциометру источник питания (аккумуляторы). Установите рабочий ток в 1 мА, для чего

а) поверните ручку переключателя нормального элемента так, чтобы на лимбе переключателя была выставлена цифра десятич-

ных долей вольта ЭДС нормального элемента при данной температуре;

б) включите осветитель отсчетного устройства, настройте оптику осветителя, установите световой указатель гальванометра («зайчика») на нулевую отметку шкалы путем перемещения шкалы в горизонтальном направлении с помощью ручки специального устройства;

в) замкните кнопку «Успокоение»;

г) переведите ручку переключателя «НЭ – $X_1 - X_2$ » в положение «НЭ»;

д) поверните ручки декад грубой и тонкой регулировки рабочего тока и добейтесь наименьшего возможного (нулевого) отклонения α гальванометра вначале при разомкнутых кнопках, затем при последовательном нажатии на кнопки «2,7 кОм» и «0». Постоянство рабочего тока поддерживайте периодическим контролем и регулировкой.

3.7. Назначение электронного потенциометра-терморегулятора

3.7.1. Электронный автоматический самопишущий и регулирующий потенциометр типа ЭПД-12 предназначен для непрерывного измерения, записи и регулирования или поддержания заданной температуры. Работа потенциометра осуществляется в комплекте с термопарой хромель – копель (ХК).

В основу работы прибора положен компенсационно-мостовой метод измерения напряжения. Прибор снабжен механизмом установки рабочего тока по нормальному элементу.

3.7.2. Установка рабочего тока происходит полуавтоматически. Для этого необходимо нажать кнопку «Установка рабочего тока». Кнопку следует нажимать до тех пор, пока стрелка прибора не остановится на одном из делений шкалы. Если при нажатии кнопки указывающая стрелка не устанавливается, а идет к началу или конечному значению шкалы, то установки рабочего тока не произойдет. В этом случае необходимо отпустить кнопку переключателя и дать возможность стрелке остановиться, после чего снова нажать кнопку переключателя.

Если при повторном нажатии кнопки стрелка прибора снова идет к упору, то необходимо проверить (зачистить) соединительные провода с клеммами аккумулятора или сменить аккумулятор, если напряжение на нем стало меньше 1,2 В.

3.8. Подготовка к измерениям и включение терморегулятора ЭПД-12

3.8.1. Проверьте (вместе с преподавателем) «Механический нуль», т. е. положение указывающей стрелки относительно начальной отметки по шкале терморегулятора ЭПД-12.

Для проверки «Механического нуля» поверните вручную движок реохорда в направлении к начальному (нулевому) значению шкалы до упора.

3.8.2. Подключите внешний источник питания измерительного моста – аккумулятор с напряжением 1,5–1,2 В.

3.8.3. Подключите прибор к источнику переменного тока напряжением 220 В согласно рис. 3.3, для этого поверните ручку силового выключателя в положение «Включено», при этом должна включиться сигнальная лампа.

3.8.4. Через 10–15 мин после включения прибора в работу произведите установку рабочего тока по нормальному элементу.

3.8.5. Установите необходимую температуру горячего электрода путем вращения ручки «Установка регулятора» до заданной температуры. Компенсация температуры свободных концов термопары осуществляется автоматически.

После выполнения указанных операций прибор готов к измерениям.

3.9. Измерение термоЭДС образцов

3.9.1. Измерение термоЭДС производят на лабораторной установке, описанной выше (рис. 3.3). Для этого испытуемый образец помещают на подъемный столик (холодный электрод), поворачивают эксцентрик ручкой на 90°, при этом столик поднимается подшипниками, образец упирается в горячий электрод, который поднимается и давит всем весом на образец. Отсчет величины производят в момент достижения в месте контакта горячего электрода с образцом выбранной температуры, что фиксируется уменьшением тока по амперметру А при введении в цепь нагревателя сопротивления R .

3.9.2. После измерения термоЭДС на первом образце переведите переключатель X_2 в положение «Выкл», снимите образец с подъемного столика, запишите результат измерения по цифрам, выставленным в окнах декадных переключателей «I–V».

Перед измерением следующего образца проверьте постоянство рабочего тока по «НЭ», если необходимо, подкорректируйте его; проведите измерения при другом направлении рабочего тока, для этого поверните ручку из одного крайнего положения в другое, например из положения «1» в положение «2»; продолжайте измерения на всей партии образцов (как было показано выше).

За результат измерения каждого образца берут среднее арифметическое полученных четырех (или большего числа измерений).

3.9.3. Закончив измерения, установите все ключи в зашунтированные положения, выключите питание терморегулятора и потенциометра.

3.9.4. Постройте график зависимости термоЭДС от степени холодной пластической деформации (или от температуры закалки), оцените погрешность измерений, сделайте выводы.

3.10. Измерения на приборе для неразрушающего контроля термоэлектрическим методом

Установленные автором закономерности в измерении физических свойств металлов и сплавов позволили разработать методики и приборы для неразрушающего контроля их химического и фазового состава.

3.11. Термоэлектрический сортировщик ТЭС-4

3.11.1. Разработанный автором прибор ТЭС-4 предназначен для рассортировки заготовок или деталей по маркам, определения количества остаточного аустенита в закаленных сталях, оценки обезуглероживающей активности соляных ванн и других целей неразрушающего контроля.

3.11.2. Прибор ТЭС-4 состоит из измерительного электронного блока и выносных сменных датчиков (рис. 3.4).

3.11.3. Принцип действия прибора основан на измерении величины и знака термоЭДС, возникающей в зоне контакта горячего электрода с испытуемым образцом, при постоянной температуре горячего электрода.

3.11.4. Измерительный блок предназначен для питания выносного сменного датчика, обработки поступающих от него сигналов с последующей индикацией результатов измерений на стрелочном индикаторе. Органы управления и индикации режимов работы размещены на передней панели измерительного блока, соединенного гибким кабелем с выносным датчиком

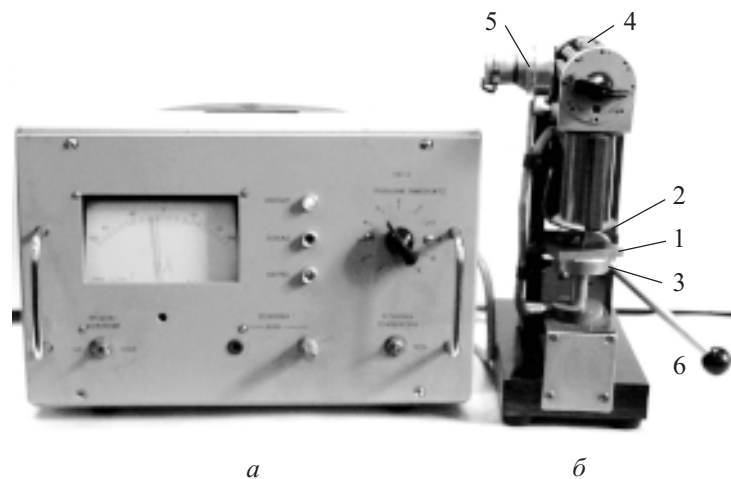


Рис. 3.4. Прибор ТЭС-4 с дифференциальным датчиком:

a – измерительный электронный блок; *б* – дифференциальный датчик: 1 – образец; 2 – горячий электрод; 3 – столик (холодный электрод); 4 – элемент сравнения; 5 – вентилятор (для поддержания постоянной температуры второго холодного электрода); 6 – ручка с эксцентриком

На передней панели измерительного блока размещены: стрелочный индикатор (микроамперметр М906) с механической корректировкой нуля; ручка тумблера включения сети; светодиоды индикаторные «Нагрев», «Охлаждение», «Контакт»; ручка переключателя датчика, задающего температуру, «Установка температуры»; переключатель пределов измерений «0,5 мВ» и «1 мВ»; корректор и ручка «Установка нуля».

На задней стенке измерительного блока находятся: выход сетевого шнура с вилкой для включения в сеть переменного тока напряжением 220 В, разъем кабеля, идущего к датчику, и клемма заземления прибора.

Прибор имеет схему выбора и стабилизации температуры горячего электрода. При нормальной работе схемы стабилизации температуры на передней панели прибора поочередно будут включаться индикаторы «Нагрев» и «Охлаждение».

В измерительном блоке встроена также схема контроля наличия контакта горячего электрода с контролируемым изделием. В случае отсутствия или недостаточного электрического контакта ука-

занного электрода с изделием схема контроля запрещает проведение измерений и не включает красный светодиод «Контакт».

3.12. Дифференциальный термоэлектрический датчик

Сортировка металлов термоэлектрическим методом, как правило, осуществляется путем сравнения отклонений стрелки индикаторного прибора, полученных от детали и стандартного образца (эталоны) при постоянном горячем электроде. Иногда в датчиках используется отдельно для каждой группы рассортировываемых материалов свой горячий электрод. Недостатком таких датчиков является то, что необходимо поддерживать строго постоянную температуру горячего электрода или наугад подбирать сменный горячий электрод; при этом не учитывается величина термоЭДС, возникающей от контакта горячего электрода с проводом, соединяющим его с индикаторным прибором.

В связи с этим автором разработаны конструкции накладного и проходного дифференциальных термоэлектрических датчиков, в которых с целью расширения диапазона контролируемых материалов, повышения производительности труда, увеличения точности измерений применен способ непосредственного сравнения с эталонами, необходимое количество которых расположено на специальном барабане. В предложенном датчике всегда измеряется разность термоЭДС от эталона и испытуемого изделия (см. рис. 3.1, б). При таком способе измерения отпадает необходимость поддерживать строго постоянную температуру горячего электрода, его не нужно менять, что сокращает время проведения анализа.

Конструкция проходного дифференциального термоэлектрического датчика для сортировки относительно мелких деталей приведена на рис. 3.5.

Прибор ТЭС-4 комплектуется датчиком для измерения термоЭДС дифференциальным способом. Все восемь зажимных винтов соединены медным кольцом, с которого щеткой снимается дифференциальная термоЭДС. Ручка с клювом и шариковый фиксатор позволяют быстро устанавливать требуемый стандартный образец (СО) в плоскости перемещения горячего электрода. Горячий электрод вместе с нагревателем может перемещаться в вертикальном направлении на 3–5 мм, это позволяет прижимать его концы к испытуемому изделию и СО с постоянной силой, что обеспечивает хорошую воспроизводимость результатов измерений.

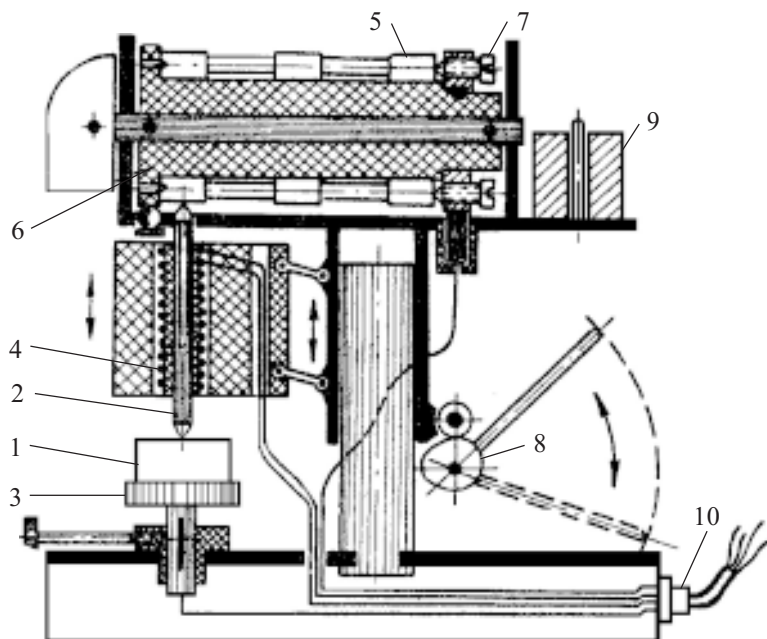


Рис. 3.5. Проходной дифференциальный термоэлектрический датчик:

1 – испытуемый образец; 2 – горячий электрод; 3 – подъемный столик (холодный электрод); 4 – нагревательный элемент; 5 – СО; 6 – барабан с кассетами для восьми СО; 7 – винты (второй холодный электрод) для закрепления СО; 8 – эксцентрик с ручкой; 9 – грузы; 10 – разъем для подключения датчика к пульту управления термоэлектрического прибора

При необходимости прибор ТЭС-4 комплектуется дифференциальным накладным датчиком и датчиком типа паяльник для измерения термоЭДС недифференциальным способом.

3.13. Порядок выполнения задания на приборе ТЭС-4

3.13.1. Перед работой на приборе ТЭС-4 необходимо ознакомиться с техническим описанием и инструкцией по эксплуатации прибора.

3.13.2. Размагнитьте образцы путем их пропускания через катушку, питаемую переменным током.

3.14. Порядок включения прибора ТЭС-4

3.14.1. Включите кабель питания прибора в сеть переменного тока напряжением 220 В.

3.14.2. Ручку с клювом датчика – задатчика температуры – поставьте на минимальную температуру (деление 1).

3.14.3. Включите тумблер «Сеть», при этом должен загореться индикатор «Нагрев».

3.14.4. Прогрейте прибор в течение не менее 5 мин.

3.14.5. Ручку датчика температуры установите в положение требуемой температуры горячего электрода. При достижении заданной температуры загорится индикатор «Охлаждение».

3.14.6. Проверьте, находится ли стрелка измерительного прибора на нулевой отметке. В случае необходимости вращением ручки «Установка нуля» выведите стрелку на нуль. Установку на нуль произведите после включения индикатора «Охлаждение».

3.15. Порядок измерений

3.15.1. Установите образец на столик выносного сменного датчика (холодный электрод). Поверхность испытуемого образца должна быть чистой, без окалины.

3.15.2. Ручкой термодатчика плавно опустите горячий электрод на испытуемый образец. Убедитесь, что включен индикатор «Контакт». Если индикатор не горит, то это означает отсутствие целостности измерительной цепи в термодатчике.

3.15.3. Если индикатор светится, то можно произвести отсчет показаний по стрелочному прибору, расположенному в измерительном блоке. Отсчет показаний производите при горении индикатора «Охлаждение». Желательно, чтобы время одного измерения не превышало 2–3 с (имеется в виду время нахождения горячего электрода в контакте с измеряемым и образцом сравнения).

3.15.4. Поднимите ручку термодатчика в верхнее положение, при этом нарушается контакт горячего электрода с образцом и элементом сравнения.

С целью повышения точности измерений необходимо обратить внимание на выбор стандартного образца сравнения, находящегося в барабане термодатчика, и температуры измерений.

При дальнейшем измерении повторите действия, описанные в пп. 3.15.1–3.15.4.

3.15.5. Закончив измерения на всех образцах, выключите питание прибора ручкой тумблера «Сеть».

3.15.6. За результат измерения каждого образца берите среднее арифметическое из полученных трех или большего числа измерений.

3.15.7. Постройте график зависимости термоЭДС от степени деформации: $E = f(\Delta)$, оцените погрешности измерений, сделайте выводы, оформите отчет.

Контрольные вопросы

1. На каком эффекте основан термоэлектрический метод?
2. Каковы области применения термоэлектрического метода?
3. Каким преимуществом обладает термоэлектрический метод?
4. Как зависит термоЭДС от температуры спаев?
5. На каком принципе основано действие прибора ТЭС-4?
6. Как проявляется влияние холодной пластической деформации на термоЭДС технического железа (или стали 11ЮА)?

Задание 4

ИЗУЧЕНИЕ ВЛИЯНИЯ ХОЛОДНОЙ ПЛАСТИЧЕСКОЙ ДЕФОРМАЦИИ И ОТЖИГА НА ТВЕРДОСТЬ МЕТАЛЛА

4.1. Определение твердости металла

Твердостью называют свойство материала оказывать сопротивление пластической деформации при местных контактных взаимодействиях в поверхностном слое. Измерение твердости значительно проще и легче других видов механических испытаний.

Значения твердости, так же как и остальные механические свойства, зависят от химического состава и структуры металла. Поэтому измерения твердости широко применяются в промышленности для оценки свойств деталей, качества термической и других видов обработки.

Существует ряд методов прямого и косвенного измерения твердости, которые значительно отличаются друг от друга. Выбор метода определения твердости диктуется различными факторами: величиной твердости испытуемого образца, размерами детали, толщиной испытуемого слоя или детали и т. д.

4.2. Измерение твердости по методу Роквелла

Сущность метода измерения твердости по Роквеллу заключается во внедрении наконечника с алмазным конусом (шкалы *A* и *C*) или стального шарика (шкала *B*) в поверхность испытуемого образца под действием последовательно прикладываемых предварительной и основной нагрузок в течение определенного времени и в измерении глубины внедрения наконечника после снятия основной нагрузки.

Измерение проводится в соответствии с ГОСТ 9013-59 «Измерение твердости по Роквеллу».

Твердость измеряется на приборе типа ТК. На рис. 4.1 показана схема прибора ТК. В нижней части неподвижной станины на винте установлен сменный столик для испытуемого образца, перемещаемый в вертикальном направлении при помощи маховика, в верхней части станины укреплены индикатор, масляный амортизатор и шпиндель, в котором устанавливается наконечник

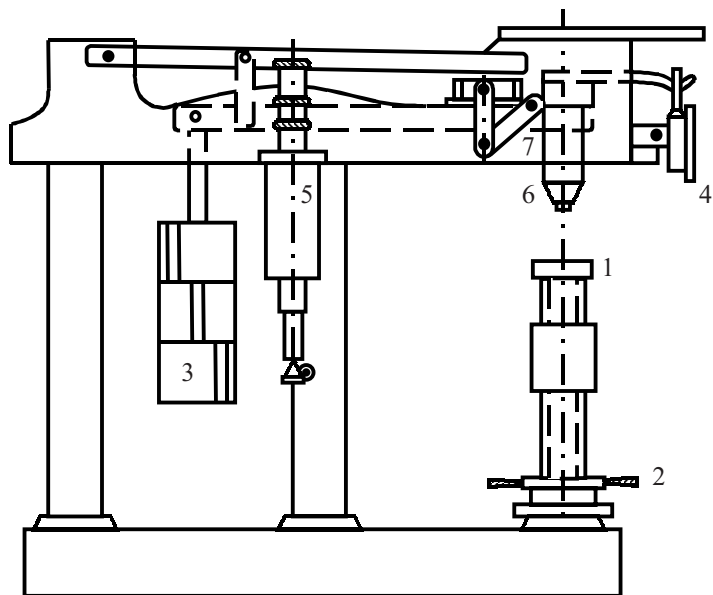


Рис. 4.1. Схема прибора для измерения твердости по Роквеллу:

1 – столик для установки образца; 2 – маховик; 3 – грузы; 4 – индикатор; 5 – масляный амортизатор; 6 – шпindel с наконечником (алмазный конус или стальной шарик); 7 – рукоятка

с алмазным конусом, имеющим угол при вершине 120° , или стальным шариком диаметром $1,588 \pm 0,001$ мм. Индикатор представляет собой циферблат, на который нанесены две шкалы (черная и красная, градуированные в единицах твердости по Роквеллу). На нем имеются две стрелки: большая (указатель твердости), вращающаяся по шкале, и меньшая – для контроля величины предварительного нагружения, сообщаемого вращением маховика.

4.3. Подготовка прибора и образцов к испытаниям

4.3.1. Опорная поверхность столика, а также опорная и испытываемая поверхности образца должны быть очищены от посторонних веществ (окалина, заусенцы, смазка и проч.). На испытываемой и опорной поверхностях не должно быть трещин, грубых следов обработки, царапин или каких-либо покрытий. При необходимости измерения твердости на противоположной стороне образца нуж-

но удалить выпуклости от предыдущих измерений шариком или конусом.

Толщина испытываемого образца должна быть не менее восьмикратной глубины вдавливания алмазного конуса или шарика.

4.3.2. При измерении твердости должны быть соблюдены следующие условия:

- перпендикулярность действующей нагрузки к испытываемой поверхности образца;
- плавное приложение предварительной нагрузки F_0 (P_0);
- плавное приложение в течение 2–8 с основной нагрузки до максимального значения;
- плавное снятие через 2 с основной нагрузки после резкого замедления движения стрелки индикатора; для материалов, склонных к пластической деформации (движение стрелки индикатора продолжается), время выдержки индикатора под нагрузкой устанавливается в нормативно-технической документации на металлопродукцию, в случае ее отсутствия рекомендуется пользоваться следующими указаниями:

- при замерах по шкале *B* – по истечении 6–8 с после резкого замедления стрелки индикатора;
- при замерах по шкале *A* и *C* – по истечении 5–6 с после резкого замедления движения стрелки индикатора.

Расстояние между центрами двух соседних отпечатков или от центра отпечатка до края образца должно составлять не менее 4 мм.

4.3.3. Измерение твердости проводят следующим образом.

Подготовленный образец устанавливают на столике прибора (рис. 4.1). Поворотом маховика по часовой стрелке столик прибора поднимают таким образом, чтобы наконечник мог начать вдавливаться в испытываемую поверхность образца; при дальнейшем подъеме столика начинают вращаться стрелки на циферблате. Подъем столика, вызывающий все большее вдавливание наконечника в образец, продолжают до тех пор, пока малая стрелка не примет вертикальное положение, которое указано на циферблате точкой. Это означает, что наконечник вдавился в образец под действием определенной (так называемой предварительной) нагрузки, равной 10 кгс (98,1 Н). Предварительное нагружение производят для

того, чтобы исключить влияние упругой деформации и различной чистоты измеряемой поверхности (ее шероховатости) на результаты измерений. Когда образец получает предварительную нагрузку в 10 кгс, большая стрелка на циферблате принимает вертикальное положение (или близкое к нему) с погрешностью ± 5 делений от нуля шкалы индикатора. Если большая стрелка отклонилась больше чем на пять делений относительно нулевого штриха, необходимо опустить столик и начать измерения на новом месте.

Для точности измерений необходимо, чтобы большая стрелка указывала на цифру «0» на черной шкале индикатора; для этого, не меняя величину предварительного нагружения и, следовательно, не вращая маховик, поворачивают шкалу индикатора (круг циферблата) таким образом, чтобы цифра «0» на черной шкале циферблата переместилась и совпала с большой стрелкой.

После этого освобождают рукой рукоятку, расположенную с правой стороны в верхней части прибора, и она плавно перемещается до упора, что позволяет грузам опускаться вниз и сообщать испытываемому образцу через рычаг основную нагрузку. Величина ее зависит от величины груза, подвешенного к рычагу. Одна гири на рычаге сообщает образцу дополнительную нагрузку 50 кгс, следовательно, общая нагрузка составляет 60 кгс (10 + 50 кгс). Две гири сообщают дополнительную нагрузку 90 кгс, что отвечает общей нагрузке 100 кгс (10 + 90 кгс), и, наконец, три гири сообщают нагрузку 140 кгс, что соответствует общей нагрузке 150 кгс (10 + 140 кгс). На гирях прибора указана общая нагрузка. При этом нагружении большая стрелка перемещается по циферблату влево против часовой стрелки. Время приложения основной нагрузки составляет 5–7 с. Затем рукоятку прибора плавно переводят на себя, снимая таким образом дополнительную нагрузку, но оставляя предварительную. При этом большая стрелка перемещается по циферблату по часовой стрелке. Цифра, которую показывает по шкале циферблата большая стрелка, есть число твердости по Роквеллу. Ее записывают и, поворачивая маховик против часовой стрелки, опускают столик с образцом, снимая тем самым предварительную нагрузку, после чего перемещают образец в новое положение для проведения испытаний в другом месте.

В зависимости от твердости металла применяют наконечники двух типов: стальной шарик диаметром $1,588 \pm 0,001$ мм для испытания металлов малой и средней твердости с суммарной нагрузкой – предварительной и основной – 100 кгс (шкала *B*) и алмазный конус с углом при вершине 120° для испытания твердых материалов при суммарной нагрузке 150 кгс (шкала *C*) и при суммарной нагрузке 60 кгс (шкала *A*). Нагрузка прилагается последовательно в две стадии: сначала предварительная, обычно равная 10 кгс (P_0), а затем окончательная, равная большей частью 90 или 140 кгс (P_1).

Схема приложения и снятия нагрузок приведена на рис. 4.2.

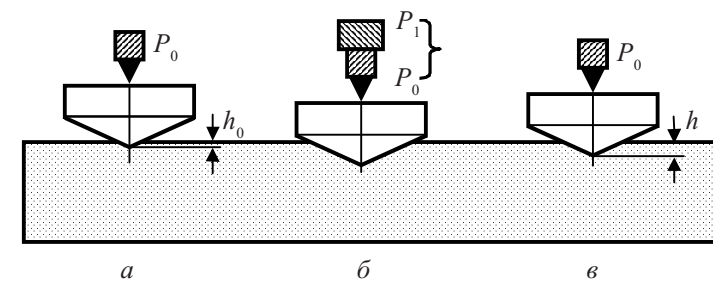


Рис.4.2. Схема приложения и снятия нагрузок при измерении твердости по Роквеллу:

a – предварительная, *б* – предварительная и основная, *в* – предварительная

Прибор ТК измеряет глубину отпечатка стального шарика или, точнее, разность между глубиной отпечатков, полученных от вдавливания наконечника под действием основной и предварительной нагрузки. Эта глубина, выражаемая в условных единицах, характеризует твердость по Роквеллу. Число твердости отсчитывают по круглой шкале индикатора. Угловое перемещение стрелки индикатора на одно деление соответствует глубине вдавливания в 0,002 мм. Однако стрелка индикатора отмечает не указанную разность в глубине вдавливания h , а величину $100 - h$ по черной шкале при измерении алмазом и величину $130 - h$ по красной шкале при измерении шариком. Поэтому чем тверже испытываемый материал, следовательно, меньше h , тем больше должно быть число

твердости. Наоборот, чем мягче испытуемый материал и чем больше величина h , тем меньше число твердости, т. е. числа твердости по Роквеллу возрастают с увеличением твердости материала, что позволяет сравнить числа Роквелла с числами Бринелля. Вместе с тем числа твердости по Роквеллу можно пересчитать на числа твердости по Бринеллю (НВ) с помощью таблицы, составленной на основании многочисленных экспериментальных работ.

Твердость определяют непосредственно по индикатору твердомера. В зависимости от твердости материала она может определяться по одной из трех шкал: A , B и C . Характеристика этих шкал приведена в табл. 2.

Т а б л и ц а 2

Шкала	Вид наконечника	Нагрузка H , кгс		Обозначение твердости	Диапазон измерений, ед. твердости
		Предварительная	Общая		
B	Стальной шарик	98,07 (10)	980,7 (100)	HRB	20–100
C	Алмазный конус	98,07 (10)	1471 (150)	HRC ₃	20–70
A	Алмазный конус	98,07 (10)	588,4 (60)	HRA	20–88

Индикатор приборов ТК имеет две шкалы: черную – для испытаний с алмазным наконечником при основной нагрузке 50 и 140 кгс и красную – для проведения испытаний с шариковым наконечником при основной нагрузке 90 кгс.

Красная шкала смещена относительно нулевого деления черной шкалы на 30 делений в направлении, противоположном движению стрелки индикатора. Нулевой штрих черной шкалы совпадает с начальным положением стрелки. При этом начальным штрихом красной шкалы будет 30-й штрих на циферблате индикатора.

На каждом образце твердость измеряют не менее чем в трех точках. Расстояние между центрами двух соседних отпечатков и от центра любого отпечатка до края не должно быть менее 4 мм.

За результат измерения каждого образца берется среднее арифметическое из трех или большего числа измерений.

4.3.4. Закончив измерения на всех образцах, вращением маховика против часовой стрелки испытуемый образец отводят от наконечника и образец снимают со столика.

4.3.5. Постройте график зависимости твердости от степени деформации: $HRB = f(\Delta)$, оцените погрешность измерений, сделайте выводы, оформите отчет.

Контрольные вопросы

1. На каком принципе основано измерение твердости по методу Роквелла?
2. Какие преимущества имеет метод измерения твердости по Роквеллу по сравнению с другими методами?
3. Почему недопустимо определять твердость стальным шариком образцов с HRB более 100?
4. Какова допустимая толщина испытуемого образца при измерении твердости по Роквеллу?
5. Как проявляется влияние холодной пластической деформации на твердость технического железа (или стали 11ЮА)?

Задание 5

ИЗУЧЕНИЕ МИКРОСТРУКТУРЫ МЕТАЛЛА ПОСЛЕ ХОЛОДНОЙ ПЛАСТИЧЕСКОЙ ДЕФОРМАЦИИ И ОТЖИГА

5.1. Микроскопический анализ заключается в исследовании структуры металла с помощью оптических микроскопов. Наблюдаемая структура называется *микроструктурой*.

Исследование структуры методом оптической микроскопии широко используется для изучения строения металлов и для технического контроля их качества в промышленности. Это объясняется тем, что между структурой металла и многими его свойствами существует определенная, хотя и качественная связь. Микроанализ позволяет во многих случаях понять и объяснить причины изменения свойств сплавов в зависимости от изменения химического и фазового состава и условий обработки. Сущность метода заключается в изучении структуры металлов под микроскопом при увеличении от 50 до 2000 раз.

Микроскопическое исследование структуры металлов и сплавов производится на специально подготовленных микрошлифах, т. е. на тщательно отшлифованной и полированной плоской поверхности на интересующем исследователя участке.

Изучение микроструктуры начинают, как правило, с рассмотрения микрошлифа в нетравленном виде, т. е. непосредственно после шлифования, полировки и высушивания. В этом случае хорошо выделяются неметаллические включения и микропористость. После просмотра нетравленного шлифа для более полного изучения структуры сплава шлиф травят специальным раствором. Для обнаружения некоторых структурных элементов (фаз) разработаны специально травящие реактивы, энергично их окрашивающие.

В настоящем задании рассматривается метод исследования микроструктуры металла с помощью вертикального металлографического микроскопа МИМ-7 [5, с. 58].

5.2. Порядок выполнения работы

5.2.1. На образцах, деформированных при определенной степени деформации и отожженных при различных температурах, измеряют $H_{с,м}$, ρ , E и HRB, как было указано выше.

5.2.2. Для приготовления шлифов 2–3 образца зажимают между двумя стальными пластинами, которые стягивают винтами (рис. 5.1).

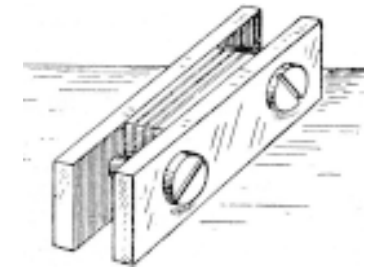


Рис. 5.1. Винтовые зажимы для образцов

После получения плоской поверхности образцы шлифуют бумажной шлифовальной шкуркой вручную или на шлифовальном станке (см. описание шлифовально-полировального станка ЗЕ881М [4, с. 21]), затем полируют, удаляют с поверхности шлифа пыль и грязь, протирают ватой, смоченной спиртом. Полирование считается законченным, когда на поверхности шлифа под микроскопом не видны риски или царапины (см. [4, с. 17–23]).

5.2.3. Обработанные образцы перед травлением вынимают из зажима, после очистки каждый шлиф травят по отдельности 4%-м раствором азотной кислоты в этиловом спирте.

Для травления раствор наливают в чашку из фарфора, образец погружают полированной поверхностью в раствор. Чтобы продукты травления не препятствовали выявлению структуры, образец необходимо перемещать.

При травлении образца в зажиме поверхность шлифа протирают слегка скрученным (на палочке) и пропитанным раствором ватным тампоном. Продолжительность травления зависит от состава изучаемого материала и состава реактива и легко устанавливается экспериментально (обычно от 30 до 90 с). Травление считается законченным, если полированная поверхность станет слегка матовой. Шлиф сразу же промывают струей проточной воды, затем спиртом и высушивают фильтровальной бумагой.

Если процесс травления шлифа не закончен, его следует до-травить. Повторное травление должно незамедлительно следовать за первым.

5.2.4. На готовых микрошлифах исследуют микроструктуру исходного (недеформированного), холоднодеформированного при определенной степени деформации и отожженного металла на заранее изготовленных лабораторных коллекциях образцов стали 11ЮА или технического железа.

5.2.5. Просматривают под микроскопом структуру образцов (рекомендованных преподавателем) при малом (100–200) и большом (500–720) увеличении и зарисовывают микроструктуру в порядке повышения степени деформации и температуры отжига. По результатам микроанализа и измерений физических свойств определяют температуру начала рекристаллизации.

5.2.6. Определяют средние размеры поперечника зерна на образцах – недеформированных и полностью рекристаллизованных. Средний размер зерна определяют как среднее арифметическое, полученное по измерению десяти зерен. Для этой цели используют окуляр со шкалой (окуляр-микрометр), т. е. окуляр, в который вставлена стеклянная пластинка, разделенная на некоторое число делений – обычно через 0,1 мм, и объект – микрометр – линейка, на которой нанесен 1 мм, разделенный на 100 частей, для определения цены деления шкалы окуляра (см. описание микроскопа МИМ-7 [5, с. 58]).

5.2.7. Аналогично определяют степень вытянутости зерен в образце, деформированном при 40–50 %. Средняя степень вытянутости определяется отношением двух взаимно перпендикулярных осей зерна. Для этой цели необходимо измерить с помощью окуляра-микрометра длинные и короткие оси на 10 зернах и вычислить отношение средних арифметических значений данных осей.

5.2.8. Оцените погрешность измерений, сделайте выводы, оформите отчет.

3. С какой целью травят шлиф при исследовании микроструктуры?

4. Как влияют холодная пластическая деформация и отжиг на микроструктуру?

Список литературы

1. Кузнецов И. А. Физическое металловедение: Учеб. пособие. Екатеринбург: УрГУ, 1993.
2. Кузнецов И. А. Магнитный структурный анализ: Учеб. пособие. Свердловск: УрГУ, 1984.
3. Лившиц Б. Г., Крапошин В. С., Линецкий Я. Л. Физические свойства металлов и сплавов. М.: Металлургия, 1980.
4. Металловедение и термическая обработка стали: Справ.: В 3 т. М.: Металлургия, 1983. Т. 1.
5. Геллер Ю. А., Рахматдт А. Г. Материаловедение. М.: Металлургия, 1975.
6. Кузнецов И. А. Термоэлектрические датчики для контроля качества материалов и изделий без разрушения // Дефектоскопия. 1973. № 1. С. 5–12.
7. Кузнецов И. А., Магомедова Е. А., Родионова С. С. К вопросу определения количества остаточного аустенита в быстрорежущей стали Р6М5 магнитным методом // Там же. 1990. № 10. С. 37–46.

Контрольные вопросы

1. Как готовят шлиф для исследования микроструктуры?
2. Для чего образец (образцы) при изготовлении шлифа зажимают между пластинами?

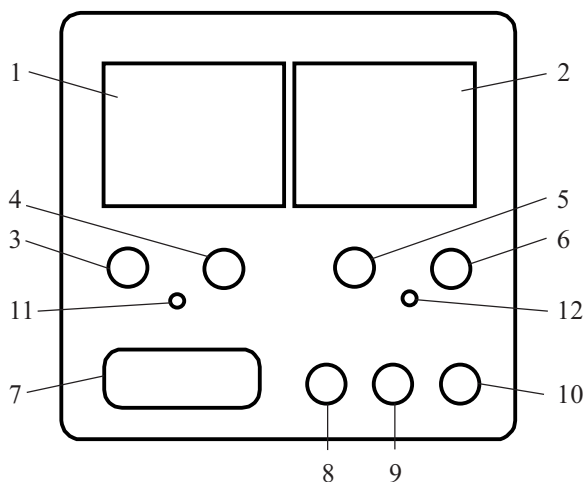
1. Источник питания модели НУ3005.

Инструкция по эксплуатации

Источник питания НУ3005 является стабилизированным регулируемым источником питания постоянного тока (0–5 А) с регулируемым выходным напряжением (0–30 В) и регулируемым ограничением выходного тока. Имеет цифровую индикацию тока и напряжения, а также схему защиты по току (защита от короткого замыкания в цепи).

1. Прибор включается в сеть переменного тока напряжением (220±22) В, частотой (50±2) Гц с помощью шнура с вилкой и кнопки на передней панели прибора, при этом индикаторы тока и напряжения должны светиться.

2. Все переключатели и ручки управления находятся на передней панели прибора (см. рисунок).



Передняя панель прибора источника питания НУ3005:

1 – индикация величины тока; 2 – индикация величины напряжения; 3 – ручка тонкой регулировки выходного тока; 4 – ручка грубой регулировки выходного тока; 5 – ручка тонкой регулировки выходного напряжения; 6 – ручка грубой регулировки выходного напряжения; 7 – кнопка включения питания; 8 – клемма (гнездо) отрицательного потенциала; 9 – клемма заземления; 10 – выходная клемма положительного потенциала; 11 – индикатор режима ограничения тока; 12 – индикатор режима стабилизации напряжения

3. Режим работы

3.1. При использовании источника питания в качестве источника стабилизированного напряжения поверните ручки 3 и 4 по часовой стрелке до упора, ручками регулировки напряжения 5 и 6 установите требуемое напряжение, подсоедините регулируемую нагрузку и т. д.

3.2. При использовании источника питания в качестве источника регулируемого тока поверните ручки 5 и 6 по часовой стрелке до упора, ручки регулировки тока 3 и 4 – против часовой стрелки на минимум. Подключите к нагрузке и, плавно поворачивая по часовой стрелке ручки 3 и 4, установите требуемый ток.

3.3. Работа в качестве источника напряжения с защитой по току: включите питание, поверните ручки 3 и 4 по часовой стрелке до максимума, поверните ручку 6 до упора по часовой стрелке. Подсоедините регулируемую нагрузку и отрегулируйте с помощью нагрузки ток до получения требуемого значения максимально допустимого тока. Увеличьте ток еще на несколько единиц. Затем ручками 3 и 4 установите ограничение тока на требуемое значение. Отключите переменную нагрузку, установите требуемое напряжение и подключите рабочую нагрузку.

4. ВНИМАНИЕ!

4.1. Устройство снабжено быстродействующей схемой ограничения тока. Если выходные клеммы источника питания замкнуть накоротко, выходной ток будет ограничен установленным значением. Но при этом вся мощность рассеивается на источнике питания. Поэтому при возникновении короткого замыкания прибор следует выключить и устранить причину замыкания цепи.

4.2. При устранении причины короткого замыкания в цепи источник питания следует отключать. Устранять неисправность в цепи должен специалист.

2. Определение количества остаточного аустенита

Аустенит в стали определяется различными методами, каждый из которых основан на измерении конкретного физического параметра (или нескольких параметров), по изменению которого судят о количестве аустенита. Широко распространен метод определения остаточного аустенита путем измерения намагниченности насыщения, точность которого зависит от выбора стандартного образца (СО) и расчетной формулы.

Методика расчета количества остаточного аустенита по намагниченности насыщения подробно описана в литературе (см., например [6–7]).

Для точного определения содержания остаточного аустенита в случае применения стандартных образцов (эталонов) требуется соблюдать идентичность ферромагнитных фаз стандартного и исследуемых образцов. Кроме того, необходимо знать количество карбидных фаз в образце и эталоне.

Количество карбидной фазы в СО может быть определено независимо – методом карбидного анализа. Определить количество карбидной фазы в образцах при неразрушающем контроле невозможно. Поэтому для практических целей вычисление количества остаточного аустенита производится по приближенным формулам в предположении, что содержание карбидной фазы в СО $V_{к.ст}$ и исследуемых образцах одинаково. Количество остаточного аустенита A в образцах (об. %) с точностью до изменения карбидной фазы испытуемого образца по сравнению с эталоном определяется по формуле

$$A = \frac{M_{S_{ст}} - M_{S_x}}{M_{S_{ст}}} (100 - V_{к.ст}), \quad (1)$$

где $M_{S_{ст}}$ и M_{S_x} – намагниченность насыщения стандартного и исследуемого образцов.

Предлагается способ определения количества остаточного аустенита в стали, основанный на измерении термоЭДС образца или детали [5]. Способ расчета вытекает из установленного факта, что для многих исследованных сталей ход изменения термоЭДС в зависимости от температуры закалки и отпуска имеет в основном тот же характер, что и намагниченность насыщения [2].

Количество остаточного аустенита в стали по величине термоЭДС E_x определяется по формуле, аналогичной формуле (1).

При измерении абсолютной величины термоЭДС и одинаковых знаках у величин $E_{ст}$ и E_x

$$A = k \frac{E_{ст} - E_x}{E_{ст}} (100 - V_{к.ст}) = C(E_{ст} - E_x), \% \quad (2)$$

где $E_{ст}$ – термоЭДС стандартного образца, в котором произошел полный распад аустенита. В качестве стандартного можно использовать образец, подвергнутый закалке, обработке холодом и низкотемпературному отпуску.

Для разных знаков величин E_x и $E_{ст}$ расчет содержания остаточного аустенита производится по формуле

$$A = k' \frac{E_{ст} - E_x}{E_{ст} + |E_{\max}|} (100 - V_{к.ст}) = C'(E_{ст} - E_x), \% \quad (3)$$

где $|E_{\max}|$ – наибольшая отрицательная величина в ходе измерения термоЭДС в зависимости от температуры закалки, взятая по модулю.

При использовании дифференциального метода измерения термоЭДС количество остаточного аустенита (в %) рассчитывается по формуле

$$A = c'' E_{\text{диф}}, \quad (4)$$

где $E_{\text{диф}}$ – дифференциальная термоЭДС от стандартного и контролируемого изделий.

В формулах (3.6)–(3.8) коэффициенты k, k', c, c', c'' – постоянные величины для контролируемой стали. Их можно определить по образцу с известным содержанием аустенита (например, определив его магнитным или рентгеновским методами).

Определить количество остаточного аустенита в стали термоэлектрическим методом можно на деталях любой формы и размеров.

СОДЕРЖАНИЕ

Введение	3
Задание 1. Изучение влияния холодной пластической деформации и отжига на коэрцитивную силу	5
Задание 2. Изучение влияния холодной пластической деформации на удельное электрическое сопротивление	14
Задание 3. Изучение влияния холодной пластической деформации на термоЭДС	20
Задание 4. Изучение влияния холодной пластической деформации и отжига на твердость металла	35
Задание 5. Изучение микроструктуры металла после холодной пластической деформации и отжига	42
Список литературы	45
<i>Приложения</i>	
1. Источник питания модели НУ3005. Инструкция по эксплуатации	46
2. Определение количества остаточного аустенита	47

ВЛИЯНИЕ ХОЛОДНОЙ ПЛАСТИЧЕСКОЙ ДЕФОРМАЦИИ И ОТЖИГА НА СТРУКТУРУ И СВОЙСТВА МЕТАЛЛОВ

Задания для студентов физического факультета
Специализации 010405 «Физика магнитных явлений»,
010416 «Физическая метрология», 110406 «Физическое
материаловедение»

Составитель
Кузнецов Иван Андреевич

Редактор и корректор Т. А. Федорова
Компьютерная верстка Н. В. Комардина

Оригинал-макет подготовлен
в редакционно-издательском отделе УрГУ

Лицензия ИД № 05974 от 03.10.2001. Темплан 2004 г., поз. 20.
Подписано в печать 30.12.2004. Формат 60×84 ¹/₁₆. Бумага офсетная.
Гарнитура Times. Уч.-изд. л. 2,95. Усл. печ. л. 3,0. Тираж 100 экз. Заказ

Издательство Уральского университета. 620083, Екатеринбург, пр. Ленина, 51.

Отпечатано в ИПЦ «Издательство УрГУ». 620083, Екатеринбург, ул. Тургенева, 4.