

№ 2219

# **Физические свойства металлов и сплавов**

Лабораторный практикум

**№ 2219**

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РФ

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ  
ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ «МИСиС»

Кафедра металловедения цветных металлов

О.И. Мамзурина,  
А.В. Поздняков,  
А.Ю. Чурюмов,  
А.Д. Барсуков

# **Физические свойства металлов и сплавов**

Лабораторный практикум

Допущено учебно-методическим объединением  
по образованию в области металлургии в качестве  
учебного пособия для студентов высших учебных заведений,  
обучающихся по направлению Металлургия



Москва 2012

УДК 669.2/.8.017  
Ф48

Рецензент  
д-р техн. наук, проф. *А.В. Иванайский*

**Физические свойства металлов и сплавов** : лаб. практикум /  
Ф48 О.И. Мамзурина, А.В. Поздняков, А.Ю. Чурюмов, А.Д. Барсуков. –  
М. : Изд. Дом МИСиС, 2012. – 72 с.

Представлены лабораторные работы, которые знакомят студентов с методами определения физических свойств металлов и сплавов: термическим, dilatометрическим, электрическим, магнитным анализом и определением плотности.

Содержание практикума соответствует программе дисциплины «Физические свойства металлов и сплавов».

Предназначен для студентов, обучающихся по направлению 150400 «Металлургия» по профилю «Металловедение цветных и драгоценных металлов».

© Мамзурина О.И.,  
Поздняков А.В.,  
Чурюмов А.Ю.,  
Барсуков А.Д., 2012

## СОДЕРЖАНИЕ

Термический анализ .....	4
Лабораторная работа 1. Определение температур фазовых превращений методом дифференциального термического анализа .....	4
Дилатометрический анализ .....	17
Лабораторная работа 2. Определение коэффициента термического расширения и температуры фазовых превращений в сплавах .....	17
Электрический анализ.....	27
Лабораторная работа 3. Измерение удельного электрического сопротивления методом двойного моста .....	27
Лабораторная работа 4. Измерение удельной электрической проводимости сплавов системы Al–Mg электроиндуктивным методом.....	36
Магнитный анализ.....	44
Лабораторная работа 5. Измерение магнитной восприимчивости диа- и парамагнетиков .....	44
Определение плотности .....	52
Лабораторная работа 6. Определение плотности металлов и сплавов методом гидростатического взвешивания .....	52
Приложение 1. Зависимость теплоемкости некоторых металлов от температуры.....	59
Приложение 2. Коэффициенты термического расширения некоторых металлов в широком интервале температур .....	60
Приложение 3. Изменение удельного электросопротивления от температуры для некоторых металлов.....	64
Приложение 4. Зависимость удельного электросопротивления от состава в двойных системах при различных температурах.....	65
Приложение 5. Зависимости магнитной восприимчивости металлов от температуры и сплавов двойных систем от концентрации .....	67
Приложение 6. Атомные номера, атомные массы и атомные объемы некоторых элементов .....	69

# ТЕРМИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ

## Лабораторная работа 1

### Определение температур фазовых превращений методом дифференциального термического анализа (4 часа)

#### 1.1. Цель работы

Определение температуры и величины теплового эффекта фазовых превращений в металлах и сплавах методом дифференциального термического анализа.

Определение вида температурной зависимости теплоемкости и величин ее электронной и фононной составляющих.

#### 1.2. Теоретическое введение

Термический анализ является одним из основных методов определения температур фазовых превращений. Он основан на том, что в моменты начала или окончания фазовых превращений в сплаве начинается или заканчивается процесс выделения или поглощения теплоты (скрытой теплоты превращения), и это приводит к изменению характера кривых нагрева или охлаждения (термограмм) сплава.

Возможны несколько способов записи термограмм. Можно производить запись в координатах: температура образца  $T$  – время  $\tau$  (простая термограмма), но чаще всего разность температур эталона и образца  $\Delta T$  – время  $\tau$  (дифференциальная термограмма). При этом в качестве эталона используют такой материал, который в исследуемом интервале температур не имеет фазовых превращений, а эксперимент проводят в условиях, когда практически отсутствует теплообмен между образцом и эталоном.

На рис. 1.1 приведены идеальные схемы термограмм нагрева или охлаждения сплавов, когда превращение протекает с постоянным темпом. Под темпом превращения, протекающего в интервале температур, понимают величину  $dm/dT$ , т.е. производную массы превратившегося вещества по температуре.

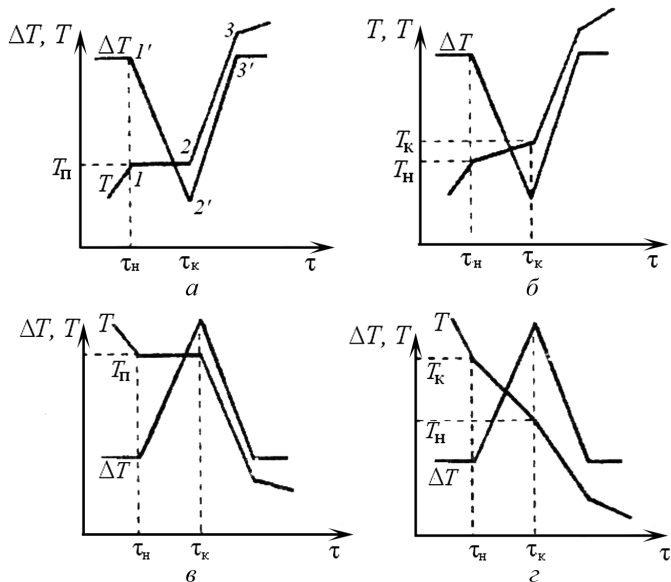


Рис. 1.1. Схемы термограмм нагрева (а) и охлаждения (в) сплава, в котором превращение идет с постоянным темпом при постоянной температуре и термограммы нагрева (б) и охлаждения (г) сплава, в котором превращение идет с постоянным темпом в интервале температур (скорость нагрева считается постоянной)

Темп превращения постояен, когда при изменении температуры на один градус количество прореагировавшего вещества является величиной постоянной во всем интервале температур превращения, т.е.  $dm/dT = \text{const}$ . В том случае, когда  $dm/dT \neq \text{const}$ , темп превращения будет изменяться с изменением температуры (увеличиваться или уменьшаться).

Вид термограммы зависит от того, проходило ли фазовое превращение в образце при постоянной температуре (фазовое превращение, соответствующее невариантному равновесию) или в интервале температур. Если превращение протекает при постоянной температуре, на термограмме  $T-\tau$  наблюдается горизонтальная площадка при  $T_{\text{п}} = \text{const}$ <sup>1</sup> (точки 1–2', рис. 1.1, а).

<sup>1</sup> Горизонтальная площадка на термограммах нагрева или охлаждения появляется, когда скорость подвода (или отвода) тепла к образцу (или от образца) достаточно мала, и вся подводимая к образцу теплота полностью поглощается при фазовом превращении, или отводимая теплота будет компенсироваться в образце выделением теплоты превращения. В противном случае вместо горизонтального участка 1–2 на термограмме появляется наклонный участок, и она будет выглядеть аналогично термограмме, где превращение идет в интервале температур.

Вид термограммы охлаждения аналогичного сплава приведен на рис. 1.1, б. На дифференциальной термограмме  $\Delta T-\tau$  началу превращения соответствует перелом (точка 1', см. рис. 1.1, а), а концу превращения – максимум отклонения (точка 2, см. рис. 1.1, а). Участки термограмм 2–3 и 2'–3' (см. рис. 1.1, а) отражают только процесс выравнивания температур эталона и образца при их дальнейшем нагреве. Запись дифференциальной термограммы проводят таким образом, чтобы при поглощении теплоты в процессе фазового превращения соответствующий ему пик располагался экстремальной точкой вниз, а при выделении – вверх. Температуру превращения легко определить, зная масштаб по оси температур и спроектировав на эту ось точку, соответствующую температуре горизонтальной площадки на простой термограмме (см. рис. 1.1, а).

На рис. 1.1, в, г представлены термограммы (нагрева и охлаждения) сплава, в котором превращение идет в интервале температур, при постоянном темпе приращения. В этом случае переломы на простой и дифференциальной термограммах соответствуют началу превращения, а второй перелом на простой термограмме и максимум отклонения на дифференциальной термограмме соответствуют концу превращения.

На рис. 1.2 приведены реальные термограммы нагрева сплавов, которые несколько отличаются от идеальных, представленных на рис. 1.1.

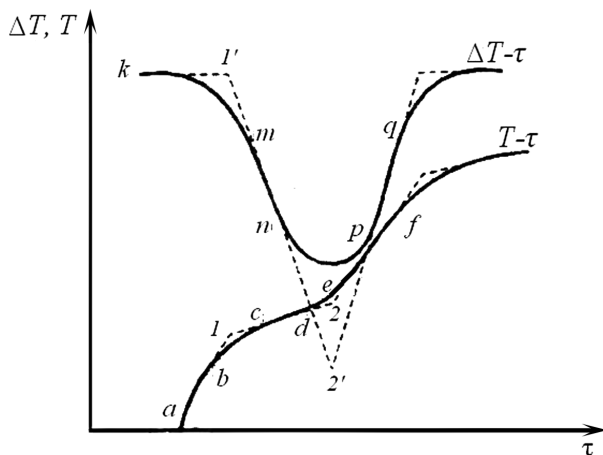


Рис. 1.2. Реальные термограммы нагрева сплавов, в котором превращение проходит в интервале температур