

**И.Г. Ковалевский<sup>1</sup>, А.Г. Ларченко<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> Иркутский Государственный университет путей сообщения

## **ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ МЕТАЛЛОГРАФИИ В СОВРЕМЕННОМ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОМ ПРОЦЕССЕ.**

**Аннотация.** В данной научной работе предлагается общий обзор основного оборудования для реализации основной образовательной программы и подготовки будущих специалистов в области металлографии и материаловедения. В статье представлен перечень перспективных лабораторных работ, авторы описывают процесс и технологию изготовления микрошлифов, а также приводят примеры микроструктур сталей, чугунов и некоторых сплавов цветных металлов. В работе представлены возможности микроанализа, как важного метода для изучения структуры сплавов, от которой зависят свойства производимой продукции.

**Ключевые слова:** металлография, микрошлиф, микроструктура, микроскопический анализ, сталь, чугун, цветные металлы, сплавы, термообработка.

**I.G. Kovalevsky<sup>1</sup>, A.G. Larchenko<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> Irkutsk State Railway Transport University, Irkutsk, the Russian Federation

## **THE MAIN PROVISIONS OF METALLOGRAPHY IN THE MODERN PRODUCTION PROCESS.**

**Abstract.** This scientific work offers a general overview of the basic equipment for the implementation of the main educational program and the training of future specialists in the field of metallography and materials science. The article presents a list of promising practical works, the authors describe the process and technology of manufacturing microsections, as well as give examples of the microstructures of steels, cast irons and some non-ferrous alloys. The paper presents the possibilities of microanalysis, as an important method for studying the structure of alloys, on which the properties of the products depend.

**Keywords:** metallography, microsection, microstructure, microscopic analysis, steel, cast iron, non-ferrous metals, alloys, heat treatment.

### **Введение**

В области подготовки специалистов железнодорожного транспорта металлография является одним из основных этапов в освоении профессиональных компетенций. В процессе обучения студенты вузов занимаются изучением структуры, состава металлов и сплавов. Металлография позволяет исследовать не только макро и микроструктуру, атомное и кристаллическое строение, но и влияние их на физические, химические, механические и технологические свойства, а также условия и причины возникновения при кристаллизации, рекристаллизации, пластической деформации такой структуры металлов, которая обуславливает неравномерность свойств в различных плоскостях металла [1-3].

Для усовершенствования процесса обучения и реализации основных образовательных программ по направлениям подготовки специалиста, бакалавриата и магистратуры необходимо расширение материальной и научной базы. В связи с этим в данной работе были поставлены задачи подбора современного оборудования для реализации процесса обучения, формирование компетенций и составление перечня лабораторных работ в соответствии с последними тенденциями в области материаловедения.

### **Основные положения металлографии в учебном процессе. Современное оборудование. Формирование комплекса перспективных практических работ**

Металлография имеет в своем распоряжении богатый арсенал средств и методов для изучения структуры материалов от макроанализа, при котором исследования могут производиться невооружённым взглядом, до рентгеновского анализа на высокотехнологичном оборудовании. Но по сей день одной из важнейших задач является

подготовка образцов с плоской шлифованной и протравленной поверхностью для дальнейшего их изучения под микроскопом. Такие образцы называются микрошлифами. Для изготовления микрошлифов необходимо использовать шлифовально-полировальный станок, например, МР-2, который оборудован системой подвода и отвода воды, позволяющей защитить образец от перегрева. Данный станок имеет питание от сети напряжением 220 В, мощность 370 Вт и оборудован двумя дисками:

- шлифовальный диск диаметром 230 мм, постоянная скорость шлифовки 450 об/мин;
- полировальный диск диаметром 200 мм, постоянная скорость полировки 600 об/мин.

В процессе изготовления микрошлифов необходимо обратить внимание на выбор места, из которого вырезают образец. Микроструктуру изделия проверяют в различных сечениях и на разной глубине, так как скорость кристаллизации металла по краям и в середине отливки различна, а термическая обработка может производиться на определённую глубину [4-7].

Шлифование микрошлифов выполняется на специальной бумаге ГОСТ 6456-82 с различной зернистостью для удаления следов деформации. Затем происходит полирование до полного исчезновения рисок предыдущей стадии шлифования, одним из способов: механическим, химико-механическим и электрохимическим [8-11].

После приобретения у поверхности зеркального блеска микрошлиф промывают водой, затем, если сплавы окисляются, промывают спиртом и просушивают фильтровальной бумагой [4].

Травление производят погружением образца в травящий реактив или протиранием. Конкретный химический реактив выбирают, исходя из состава исследуемого металла, его предшествующей обработки и цели исследования. Наиболее распространённые реактивы для стали и чугуна:

- пятипроцентный раствор азотной кислоты в этиловом спирте;
- пикрат натрия;
- смесь соляной кислоты с сульфатом меди и водой.

После того как поверхность микрошлифа потускнеет, его промывают водой и сушат [5].

Для определения микроструктуры образцов используются металлографические микроскопы, позволяющие рассматривать при увеличении непрозрачные тела в отраженном свете. Они состоят из оптической системы, осветительного устройства и механической системы.

Исходя из анализа современного научно-практического оснащения. В качестве лабораторного оборудования для реализации основных и дополнительных образовательных программ предлагается использовать микроскопы марок GX-41 и MMP-2.

Диапазон увеличений микроскопа GX-41 варьируется в пределах от 50 до 1000 крат, у БИОМЕД MMP-2 от 40 до 1600 крат. Данные микроскопы (рис.1) оборудованы цифровыми камерами и сопутствующим программным обеспечением (ScopePhoto), что позволяет в процессе обучения быстро и достоверно определять структурную или химическую неоднородность сплава, дефекты и присутствие неметаллических включений, наблюдать дендритное строение, величину и расположение зёрен металла, установить способ изготовления деталей, а также оценить качество термической обработки и сварных соединений [9,12].

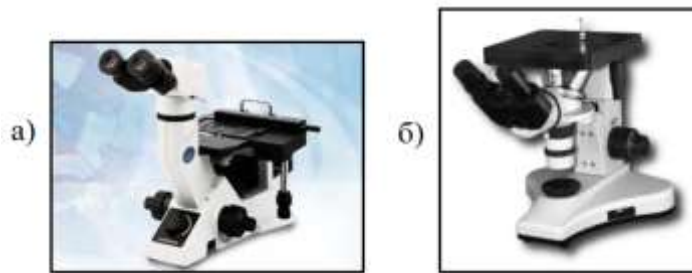


Рис. 1 – Микроскопы:

а) Инвертированный металлографический микроскоп GX-41

б) Металлографический микроскоп БИОМЕД MMP-2

Микроскопическому анализу на данном оборудовании подвергаются как цветные металлы, так и железоуглеродистые сплавы: стали и чугуны. Стали содержат до 2,14 % углерода, а чугуны от 2,14% до 6,67% углерода. Эти сплавы содержат, как вредные примеси серу и фосфор, которые могут являться причиной дефектов, так и легирующие элементы (кремний, марганец и др.), раскисляющие сталь, увеличивающие прочность, упругость и нейтрализующие серу [9].

Современные микроскопы позволяют обучающимся с первоначальными теоретическими знаниями в зависимости от концентрации углерода самостоятельно определить микроструктуру стали (рис. 2).

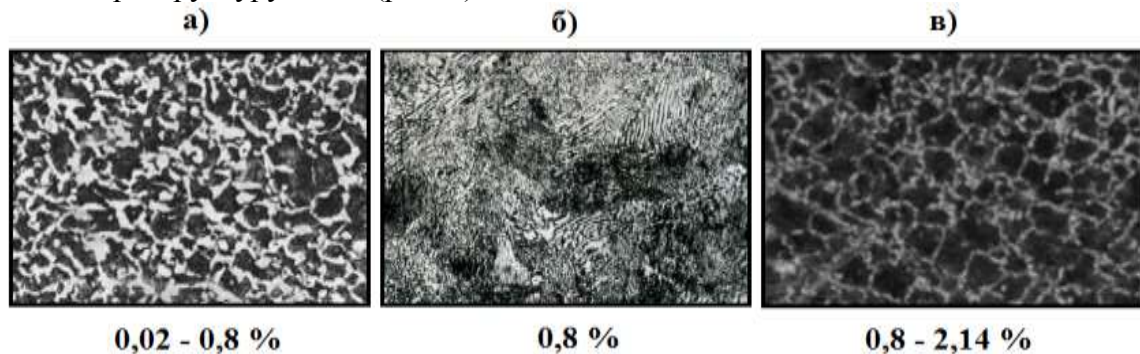


Рис. 2 – Микроструктура сталей

А в зависимости от формы графита и количества цементита идентифицировать разновидности белого чугуна, оценить качество серого, ковкого или высокопрочного чугунов.

Серый чугун содержит пластинчатый графит (рис.3) и широко применяется в машиностроении в качестве деталей, работающих в условиях износа.

Ковкий чугун имеет графит хлопьевидной формы (рис.4) и применяется для изготовления деталей, работающих в условиях высоких динамических и статических нагрузок.

Высокопрочный чугун имеет графит шаровидной формы и применяется для изготовления массивных отливок ответственного назначения, обладающих высокой усталостной прочностью и работающих при переменных нагрузках [9].



Рис. 3 – Микроструктура серого феррито-перлитного чугуна

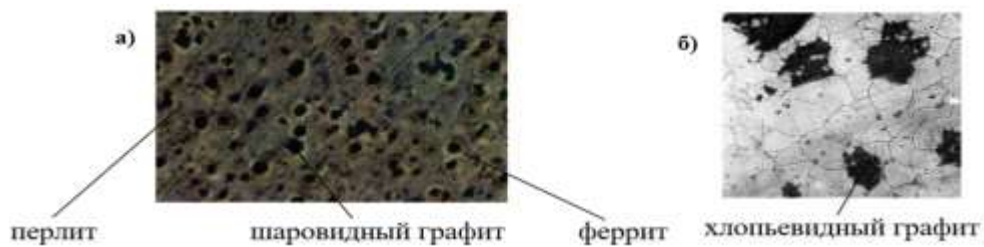


Рис. 4 – Микроструктура чугуна:

- а) высокопрочного ферритно-перлитного;
- б) ковкого на ферритной основе

Не меньшую важность при освоении дисциплины образовательной программы имеет микроструктура цветных металлов т.к. применение их в современной технике неуклонно растёт. Широко распространены сплавы на основе таких металлов, как алюминий, медь, олово, цинк, титан, вольфрам и др. (рис.5).

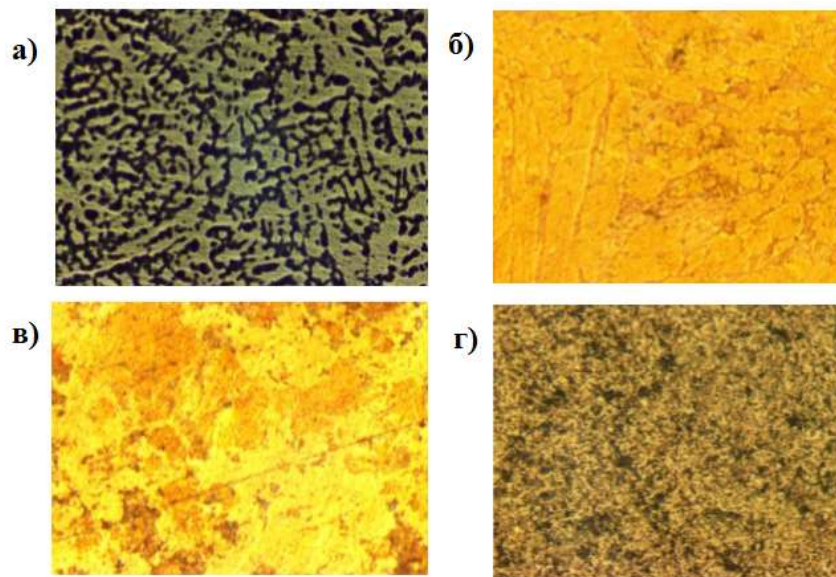


Рис. 5 – Микроструктура сплавов:

- а) дюралюминий 16; б) алюминиевая бронза;
- в) латунь Л62; г) твердый сплав ВК8

Кроме кремния и марганца в стали добавляют и другие легирующие элементы, повышающие такие характеристики как: прочность, твёрдость, упругость, коррозионную стойкость, красностойкость, окалиностойкость, жаропрочность, ударную вязкость и др. (рис.6).

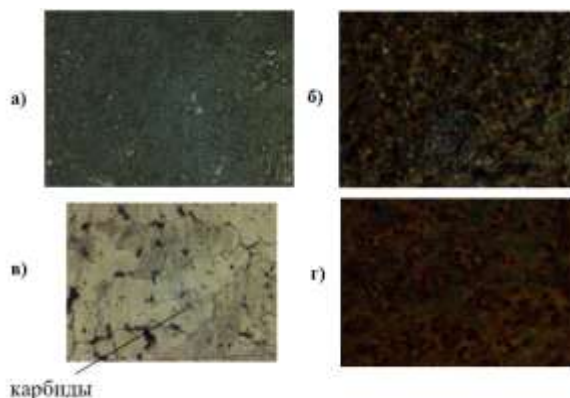


Рис. 6 – Микроструктура легированных сталей:

- а) нержавеющая сталь 12Х18Н10Т; б) стали 60С2 (троостит);
- в) сталь 110Г13Л; г) сталь 30ХГСА (троостито-мартенсит)

В целях изучения закономерностей структурообразования в металлографических исследованиях применяют термическую обработку, состоящую из операций нагрева, выдержки и охлаждения твердых металлических сплавов с целью получения заданных свойств.

Термообработка, основные виды которой: отжиг, нормализация, закалка, отпуск, криогенная обработка, является одним из важнейших звеньев технологического процесса производства деталей машин. Устанавливая определённые температурные режимы и применяя различные виды термообработки, можно получить необходимые микроструктуру и свойства сплава. Для этого в лабораторных условиях используют специальную муфельную печь, например, СНОЛ 10/11 с максимальной температурой 11500 °С и установленной мощностью 4 кВт.

Исходя из вышесказанного, в ходе исследования был сформулирован перечень лабораторных работ, включающий в себя все необходимые этапы для формирования знаний и умений. Первая работа заключается в подготовке образцов для изучения микроструктуры металлов и сплавов. Следующая работа посвящена микроскопическому исследованию структуры сталей и чугунов с использованием лабораторного микроскопа марки Olympus GX-41. Третья и четвёртая основываются на изучении микроструктуры цветных металлов и сплавов и анализа легированных сталей. Лабораторная работа №5 посвящена изучению микроструктуры в равновесном и неравновесном состоянии (исследование структуры после закалки с охлаждением в масле, а также после отпуска). Далее следует металлографическое исследование образцов с дефектами различного рода и происхождения. В завершении курса предусматривается анализ микроструктуры металлов с использованием современного программного обеспечения (TopView, Nexsys Image Expert Pro 3, Image Expert Sample 2, Image Expert 3D).

### **Заключение**

Выполнение представленных выше лабораторных работ на современном оборудовании позволяет сформировать ряд необходимых компетенций, навыков, знаний и умений. Кроме этого данный перечень оборудования в соответствии с комплексом лабораторных работ позволяет заниматься научно-практической деятельностью, а также выполнять производственные заказы в области металлографии.

Также описываемая лабораторная база позволяет проводить квалифицированное обучение специалистов в области металлографии. На сегодняшний день сотрудники, работающие в отделах контроля и повышения качества должны обладать определёнными знаниями и навыками, а также способностью к их успешному применению для определения дефектов и своевременного их устранения. Это позволит на этапе производства предупредить выпуск некачественной продукции, а на этапе эксплуатации – избежать выхода из строя металлических изделий с последующими возможными аварийными ситуациями и продлить срок службы продукции, для которой целесообразно провести ремонт.

### **БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК**

1. Винник, П. Г. Материаловедение: учеб. Пособие / П. Г. Винник, О. Н. Морозова, А. Н. Копыл. – Ростов н / Д : ИПО ПИ ЮФУ, 2007. – 220 с.
2. Богомолова, Н. А. Практическая металлография : учебник для технических училищ / Н. А. Богомолова. – 2-е изд. – Высш. школа, 1982. – 272 с.
3. Лившиц, Б. Г. Металлография: учебник для вузов / Б. Г. Лившиц. – 2-е изд. – Металлургия, 1990. – 276 с.
4. Ермолов, И. Н. Методы и средства неразрушающего контроля качества: справочник / И. Н. Ермолов, Ю. А. Останин. – Высшая школа, 1988. – 368 с.

5. Лекции [Электронный ресурс]: Методы исследования и испытания металлов. – Режим доступа: <http://www.naukaspb.ru/spravochniki/Demo%20Metall/2.html>.
6. Александров А.А. Моделирование термических остаточных напряжений при производстве маложестких деталей: дисс. ... канд. техн. наук / А.А. Александров Иркутск: – 2016. – 165 с.
7. Александров А.А., Лившиц А.В., Рудых А.В. Расчет термических остаточных напряжений в заготовках из алюминиевых сплавов // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. 2016 - № 1(49). – с. 52-56.
8. Ваулина, О. Ю. Микроскопический метод исследования металлов и сплавов: учеб. Пособие / О.Ю. Ваулина. – ТПУ, 2012. – 10 с.
9. Материаловедение: учебное пособие / сост. С.С. Черняк, Т.А. Булатникова, В.К. Турчанинов, В.Л. Иванкин, А.В. Лившиц, Ю.А. Караваев, А.А. Барышникова, С.Н. Филатова. – Иркутск : ИрГУПС, 2010. – 176 с.
10. Гаркунов, Д. Н. Триботехника. Износ и безызносность: учебник / Д. Н. Гаркунов. – МСХА, 2001. – 616 с.
11. Солнцев, Ю. П. Материаловедение: учебник для вузов / Ю. П. Солнцев, Е. И. Пряхин. – Химиздат, 2007. – 784 с.
12. Кан, Р. У. Физическое материаловедение: учебник для вузов / Р.У. Кан. – 2-е изд. – Мир, 1968. – 490 с.

## REFERENCES

1. Vinnik, P. G. Materialovedeniye: ucheb. Posobiye / P. G. Vinnik, O. N. Morozova, A. N. Kopyl. – Rostov n / D : IPO PI YUFU [Material Science: Textbook. The allowance / P. G. Vinnik, O. N. Morozova, A. N. Kopyl. – Rostov n / a: IPO PI SFU], 2007. – 220 p.
2. Bogomolova, N. A. Prakticheskaya metallografiya : uchebnik dlya tekhnicheskikh uchilishch / N. A. Bogomolova. – 2-ye izd. – Vyssh. Shkola [Practical metallography: a textbook for technical schools / N. A. Bogomolova. – 2nd ed. – Higher. School], 1982. – 272 p.
3. Livshits, B. G. Metallografiya: uchebnik dlya vuzov / B. G. Livshits. – 2-ye izd. – Metallurgiya [Metallography: a textbook for high schools / B. G. Livshits. – 2nd ed. – Metallurgy], 1990. – 276 p.
4. Yermolov, I. N. Metody i sredstva nerazrushayushchego kontrolya kachestva: spravochnik / I. N. Yermolov, YU. A. Ostanin. – Vysshaya shkola [Methods and means of non-destructive quality control: a directory / I. N. Ermolov, Yu. A. Ostanin. – Higher school], 1988. – 368 p.
5. Lektsii [Elektronnyy resurs]: Metody issledovaniya i ispytaniya metallov [Lectures [Electronic resource]: Methods of research and testing of metals]. – Rezhim dostupa: <http://www.naukaspb.ru/spravochniki/Demo%20Metall/2.html>.
6. Alexandrov A. A. Modelirovanie termicheskikh ostatochnich napryazheniy pri proizvodstve malozhestkikh detaley: Diss. ... Cand. tech. nauk [Modeling of thermal residual stresses in the production of low-rigid parts: Ph.D. (Engineering) diss.]. Irkutsk: 2016. 165 p.
7. Alexandrov A. A., Livshits A.V., Rudykh A.V. Raschet termicheskikh ostatochnikh napryazheniy v zagotovkach iz alyuminievikh splavov. [Calculation of thermal residual stresses in aluminum alloy billets]. Sovremennyye tekhnologii. Sistemnyy analiz. Modelirovaniye. [Modern technologies. System analysis. Modelling]. 2016. №. 1(49). pp. 52 – 56.
8. Vaulina, O. YU. Mikroskopicheskiy metod issledovaniya metallov i splavov: ucheb. Posobiye / O.YU. Vaulina. – TPU. [Microscopic method for the study of metals and alloys: textbook. The allowance / O.Yu. Vaulina. – TPU], 2012. – 10 p.
9. Materialovedeniye: uchebnoye posobiye [Material science: textbook] / sost. S.S. Chernyak, T.A. Bulatnikova, V.K. Turchaninov, V.L. Ivankin, A.V. Livshits, YU.A. Karavayev, A.A. Baryshnikova, S.N. Filatova. – Irkutsk : IrGUPS, 2010. – 176 p.
10. Garkunov, D. N. Tribotekhnika. Iznos i bezyznosnost': uchebnik / D. N. Garkunov. – MSKHA [Tribotechnology. Depreciation and wearlessness: a textbook / D.N. Garkunov. – ICCA], 2001. – 616 p.

11. Solntsev, YU. P. Materialovedeniye: uchebnik dlya vuzov / YU. P. Solntsev, Ye. I. Pryakhin. – Khimizdat [Material Science: a textbook for high schools / Yu. P. Solntsev, E. I. Pryakhin. – Khimizdat], 2007. – 784 p.

12. Kan, R. U. Fizicheskoye metallovedeniye: uchebnik dlya vuzov / R.U. Kan. – 2-ye izd. – Mir [Physical physics: a textbook for high schools / R.U. Kahn. – 2nd ed. – World], 1968. – 490 p.

### **Информация об авторах**

Ковалевский Илья Генрикович – обучающийся, Иркутский государственный университет путей сообщения, г. Иркутск, e-mail: il.covalevskij2017@yandex.ru

Ларченко Анастасия Геннадьевна – кандидат технических наук, доцент кафедры «Автоматизация производственных процессов», Иркутский государственный университет путей сообщения, г. Иркутск, e-mail: larchenkoa@inbox.ru

### **Authors**

Kovalevsky Ilya Genrikovich – student, Irkutsk State Transport University, Irkutsk, e-mail: il.covalevskij2017@yandex.ru

Larchenko Anastasia Gennadievna – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the De-partment "Automation of Production Processes", Irkutsk state University of Railways, Irkutsk, e-mail: larchenkoa@inbox.ru

### **Для цитирования**

Ковалевский И.Г. Основные положения металлографии в современном производственном процессе. [Электронный ресурс] / И.Г. Ковалевский, А.Г. Ларченко// Молодая наука Сибири: электрон. науч. журн.

### **For citation**

Kovalevsky I.G. The main provisions of metallography in the modern production process. [Electronic resource] / I.G. Kovalevsky, A.G. Larchenko // Young science of Siberia: electron. scientific journal.