

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего профессионального образования  
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**  
ЮРГИНСКИЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ

---

УТВЕРЖДАЮ  
Зам. директора ЮТИ ТПУ по УР  
\_\_\_\_\_ В.Л. Бибик  
« \_\_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2012 г.

**С.Н. Федосеев**

## **Макроструктурный анализ**

Методические указания к выполнению лабораторной работы  
по дисциплине «Материаловедение» для студентов специальностей  
150101 «Металлургия черных металлов»,  
150202 «Оборудование и технология сварочного производства»,  
150402 «Горные машины и оборудование»,  
151001 «Технология машиностроения»  
очной и заочной формы обучения

Издательство  
Юргинского технологического института (филиала)  
Томского политехнического университета  
2012

УДК 620.22  
ББК 30.3  
Ф33

**Федосеев С.Н.**

Ф33 Макроструктурный анализ: методические указания к выполнению лабораторной работы по дисциплине «Материаловедение» для студентов специальностей 150101 «Металлургия черных металлов», 150202 «Оборудование и технология сварочного производства», 150402 «Горные машины и оборудование», 151001 «Технология машиностроения» очной и заочной формы обучения / С.Н. Федосеев; Юргинский технологический институт (филиал) Томского политехнического университета – Юрга: Изд-во Юргинского технологического института (филиала) Томского политехнического университета, 2012. – 17 с.

УДК 620.22  
ББК 30.3

Методические указания рассмотрены и рекомендованы  
к изданию методическим семинаром кафедры  
МЧМ ЮТИ ТПУ  
« 03 » октября 2012 г.

Зав. кафедрой МЧМ  
канд. тех. наук,

\_\_\_\_\_ *А.А. Сапрыкин*

Председатель  
учебно-методической комиссии

\_\_\_\_\_ *И.С. Сулимова*

*Рецензент*  
Кандидат технических наук,  
доцент  
*А.М. Анасов*

© ФГБОУ ВПО НИ ТПУ, ЮТИ ТПУ, 2012  
© Федосеев С.Н., 2012

## **Введение**

Лабораторная работа позволяет закрепить знания, полученные студентами на лекциях.

В начале занятия проводится контроль степени готовности студентов к выполнению лабораторной работы по контрольным вопросам. После этого студенты проходят общий инструктаж по технике безопасности и получают допуск к занятию.

После проведения необходимых исследований оформляется отчет. Отчет составляется каждым студентом индивидуально, либо общий на подгруппу студентов. Работа считается выполненной после сдачи отчета и получение зачета от руководителя работы.

### **1. Цель и задачи лабораторной работы**

Ознакомиться с методами макроскопического анализа и изучить виды макроструктур на образцах железоуглеродистых сплавов.

### **2. Оборудование и материалы**

1. Набор шлифов.
2. Фотографии макроструктур.
3. Шлифовальная бумага.
4. Лупа, увеличение в 7 раз.
5. Реактивы для травления образцов.

### **3. Краткая характеристика объекта изучения**

Макроскопический анализ (макроанализ) металлов и сплавов заключается в исследовании их строения невооруженным глазом или при небольших увеличениях (до 30 раз).

Макроанализ применяют для выявления:

- направления волокон (деформированных зерен) в поковках и штамповках;
- химической и структурной неоднородности;
- дефектов, нарушающих сплошность металла (трещины, раковины и т. д.);

- качества сварного соединения;
- характера разрушения детали (по виду излома).

При макроанализе проводится исследование макроструктуры. Макроструктурой называется строение металла, наблюдаемое невооруженным глазом или при небольшом увеличении (до 30 раз) с помощью лупы.

Макроструктура может быть исследована:

- на поверхности заготовки или детали;
- на изломе;
- на вырезанном образце после его шлифования и травления специальным реактивом.

Шлифованный и протравленный образец называют макрошлифом (темплет).

Макроанализ применяют для выявления в металле дендритного строения, усадочной рыхлости, газовых пузырей, трещин, пустот, плен, шлаковых включений, расположения волокон в поковках и штамповках, ликвации серы и фосфора, структурной неоднородности, качества сварного соединения.

Макроанализ не позволяет определить всех особенностей строения, поэтому он часто является не окончательным, а лишь предварительным видом исследования. По данным макроанализа можно выбрать те участки изучаемой детали, которые надо подвергнуть дальнейшему, более подробному микроскопическому исследованию.

Место вырезки и ориентацию предназначенной для исследований плоской поверхности темплета выбирают в зависимости от назначения детали и целей исследования. Например, для катаных профилей обычно вырезают два темплета с продольной относительно направления прокатки и поперечной ориентацией исследуемой поверхности.

Макроструктурный анализ проводится на макрошлифах. Макрошлифы подвергают:

- глубокому травлению в концентрированных горячих кислотах для выявления волокнистого строения сплава, что важно для определения анизотропии свойств, различных внутренних дефектов металла;
- поверхностному травлению для определения химической неоднородности сплава (ликвации).

Чаще всего определяют общую химическую неоднородность сплава по сечению детали.

### **3.1. Приготовление макрошлифа**

*Место и способ вырезки образца.* Образец для макроанализа вы-

резают в определенном месте и в определенной плоскости в зависимости от того, что подвергают исследованию – отливку, поковку, штамповку, прокат, сварную или термически обработанную деталь и что требуется выявить и изучить – первичную кристаллизацию, дефекты, нарушающие сплошность металла, неоднородность структуры. В связи с этим образцы вырезают из одного или нескольких мест слитка, заготовки или детали как в продольном, так и в поперечном направлении.

*Получение плоской поверхности образца.* Поверхность образца для макроанализа обрабатывают на фрезерном или строгальном станке (если материал с невысокой твердостью) или на плоскошлифовальном станке (если материал твердый). Для получения более гладкой поверхности образец шлифуют вручную.

При шлифовании по поверхности образца водят шлифовальной шкуркой, обернутой вокруг деревянного бруска. Шлифование начинают шкуркой с наиболее грубым абразивным зерном, затем постепенно переходят на шлифование шкуркой с более мелким зерном. При переходе с одного номера шкурки на другой направление шлифования меняют на 90 градусов.

После шлифования образцы обезжиривают и подвергают травлению химическими реактивами (растворами кислот и щелочей), которые выбирают в зависимости от состава сплава и цели исследования. Состав реактивов приведен в табл. 1 (приложение А). Травление большинством реактивов осуществляют погружением в них образцов. Реактив активно взаимодействует с участками, где имеются дефекты или неметаллические включения, протравливает их сильнее. Поверхность макрошлифа получается рельефной. Протравленный макрошлиф промывают водой, обрабатывают спиртом и высушивают для предотвращения коррозии.

### **3.2. Выявление неоднородности распределения (ликвации) серы и фосфора**

*Выявление ликвации серы.* Для выявления в стали ликвации серы применяют метод Баумана, для выполнения которого необходимо:

1) макрошлиф хорошо протереть ватой, смоченной спиртом, и положить на стол шлифованной поверхностью вверх;

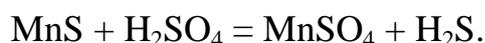
2) лист глянцевой бромосеребряной фотографической бумаги вымочить на свету в течение 5–10 мин в 5 %-м водном растворе серной кислоты, слегка просушить между двумя листами фильтровальной бумаги для удаления избытка раствора, наложить эмульсионной стороной на макрошлиф и, приглаживая сверху рукой или резиновым валиком, удалить образующиеся пузырьки газов, выдержать на макрошлифе в те-

чение 2–3 мин и осторожно снять с него;

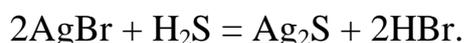
3) полученный отпечаток промыть в воде, зафиксировать в 25 %-м водном растворе гипосульфита, снова промыть в воде и просушить.

Полученные на фотобумаге участки коричневого цвета указывают на места, обогащенные серой (скопления сульфидов). Если фотобумага имеет равномерную окраску, следовательно, сера распределена равномерно.

Появление темных участков в местах, обогащенных серой, объясняется тем, что сначала между серной кислотой, впитанной в фотобумагу, и включениями  $MnS$ , в виде которых сера находится в стали, происходит следующая реакция:



Образующийся сероводород действует на бромистое серебро эмульсионного слоя, в результате получается сернистое серебро, имеющее темнокоричневый цвет:



На рис. 1 дана фотография отпечатка, характеризующего неравномерное распределение серы в образце рельса.

*Выявление ликвации фосфора.* Ликвацию фосфора в стали выявляют травлением отшлифованного образца в реактиве состава: 85 г хлорной меди, 53 г хлористого аммония в  $1000\text{ см}^3$  воды.

Для выявления ликвации необходимо:

1) отшлифованную поверхность образца протереть ватой, смоченной спиртом;

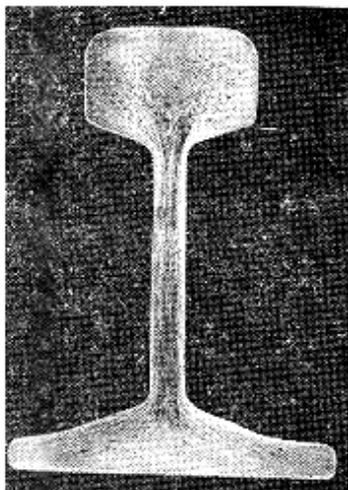
2) образец погрузить в указанный реактив и выдержать в нем 1–2 мин; при выдержке образца в реактиве железо растворяется и вытесняет медь, которая осаждается на поверхности образца;

3) после выдержки образец вынуть из реактива; вся поверхность образца должна быть покрыта медью;

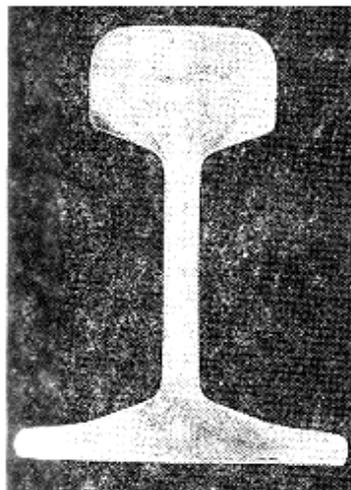
4) струей воды смыть с поверхности слой меди и протереть макрошлиф мокрой ватой;

5) просушить образец.

Более темные, т. е. глубоко протравленные участки, – это места, обогащенные фосфором, так как чем больше в железе фосфора, тем быстрее оно растворяется; светлые участки – места с меньшим содержанием фосфора (рис. 2).



*Рис. 1. Ликвация серы в стали*



*Рис. 2. Ликвация фосфора в стали*

### **3.3. Выявление дефектов, нарушающих сплошность металла**

Для выявления в стали дефектов, нарушающих сплошность металла (трещин, пор, раковин), проводится глубокое травление отшлифованного образца водным раствором соляной кислоты ( $50 \text{ см}^3 \text{ HCl}$ ,  $50 \text{ см}^3$  воды).

Работу необходимо выполнять следующим образом:

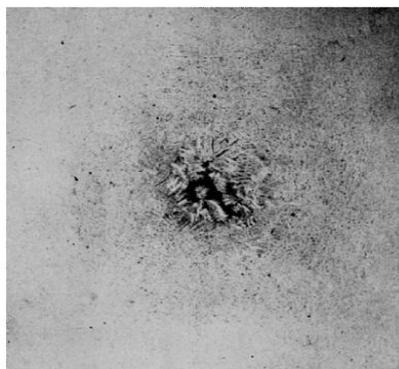
1. Отшлифованную поверхность образца протереть ватой, смоченной спиртом.
2. В водяную баню, установленную в вытяжном шкафу (так как при травлении выделяются ядовитые газы), поместить фарфоровую ванну, влить в неё реактив и нагреть до температуры  $60\text{--}70 \text{ }^\circ\text{C}$ .
3. Образец при помощи щипцов погрузить в горячий реактив и выдержать в нем  $10\text{--}45$  мин.
4. После выдержки образец при помощи щипцов вынуть из реактива.
5. Образец промыть водой, затем  $10\text{--}15$  %-м водным раствором азотной кислоты и просушить.

При глубоком травлении раствором кислоты высокой концентрации происходит растравливание дефектов, нарушающих сплошность металла – они становятся видимыми невооруженным глазом (рис. 3).

### **3.4. Выявление строения литой стали**

Этот способ макроанализа применяется для изучения строения металлов в литом состоянии. Строение литой стали (дендритной структуры) выявляют травлением отшлифованного образца в  $15$  %-м водном

растворе персульфата аммония.

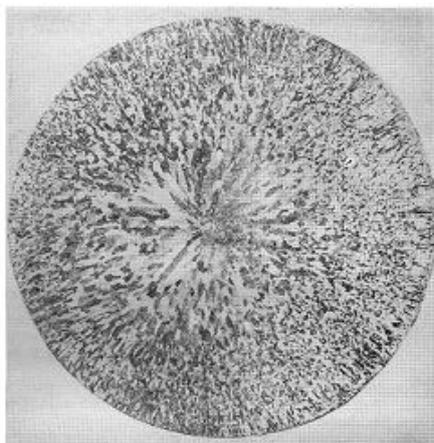


*Рис. 3. Усадочная раковина*

Для выявления дендритной структуры необходимо:

- 1) отшлифованную поверхность образца протереть ватой, смоченной спиртом;
- 2) в водяную баню поместить фарфоровую ванну, налить в неё реактив и нагреть до 80–90 °С;
- 3) образец при помощи щипцов погрузить в горячий реактив и выдержать в нем 5–10 мин;
- 4) после выдержки в реактиве образец при помощи щипцов вынуть из реактива;
- 5) образец промыть водой и просушить.

На рис. 4 дана макроструктура литой стали.



*Рис. 4. Макроструктура литой стали*

### **3.5. Изучение изломов**

Внутренние дефекты, которые могут привести к разрушению изделия, выявляются при изучении изломов.

Изломом называется поверхность, образующаяся вследствие раз-

рушения металлов. Изломы металлов могут существенно отличаться по цвету.

Так, стали и белые чугуны, в которых весь углерод связан в цементите, имеют излом светло-серого цвета. У графитизированных сталей и чугунов, в которых углерод находится преимущественно в виде графита, излом черного цвета.

На поверхности изломов можно видеть дефекты, которые способствовали разрушению. В зависимости от состава, строения металла, наличия дефектов, условий обработки и эксплуатации изделий изломы могут иметь вязкий, хрупкий или усталостный характер.

Вязкий (волокнистый) излом (рис. 5, а) имеет бугристо-сглаженный рельеф и свидетельствует о значительной пластической деформации, предшествующей разрушению. По виду вязкого излома нельзя судить о форме и размерах зерен металла.

Хрупкий (кристаллический) излом (рис. 5, б) характеризуется наличием на поверхности плоских блестящих участков (фасеток). Так как разрушение протекает без заметной пластической деформации и форма зерна неискажается, то на хрупком изломе видны исходная форма и размер зерен металла.

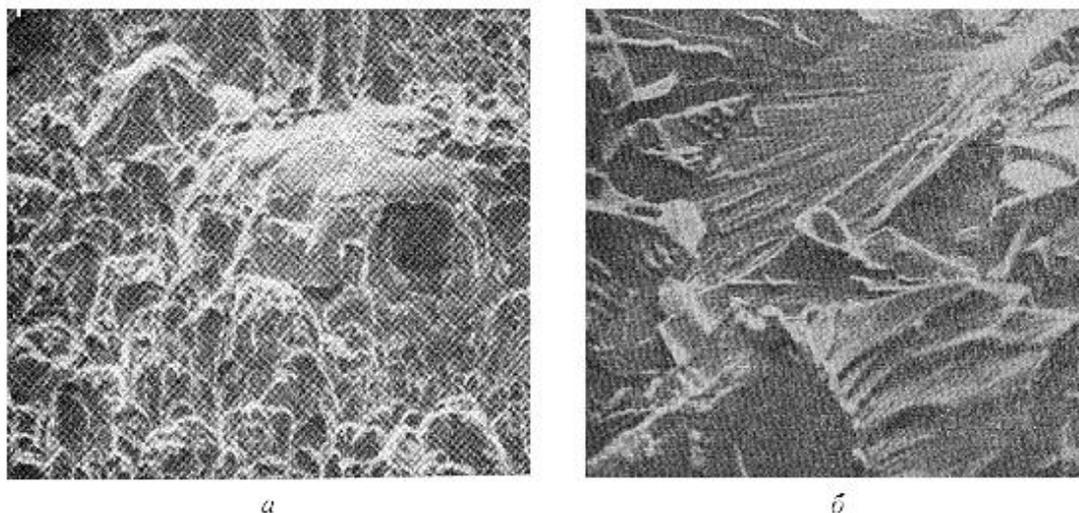


Рис. 5. Изломы стали: а – вязкий; б – хрупкий,  $\times 400$

При этом разрушение может происходить через зерна (транскристаллический излом) либо по границам зерен (интеркристаллический, или межкристаллический, излом). Разрушение по границам зерен имеет место при наличии на границах неметаллических включений (фосфиды, сульфиды, оксиды) или других выделений, ослабляющих прочность границ зерна.

Хрупкое разрушение наиболее опасно, так как происходит чаще

всего при напряжениях ниже предела текучести материала. Его возникновению способствуют наличие поверхностных дефектов, конструкционные просчеты (резкое изменение сечения, толстостенность деталей), низкая температура и ударные нагрузки при работе, крупнозернистость металла, выделение по границам зерен хрупких фаз, межзеренная коррозия. Разновидностями хрупкого излома являются нафталинистый, камневидный, фарфоровидный и др.

*Нафталинистый излом* – транскристаллический с крупным зерном и избирательным блеском, подобным блеску кристаллов нафталина. Он свидетельствует о повышенной хрупкости стали и наблюдается в легированных, преимущественно быстрорежущих сталях. Причиной возникновения такого излома является перегрев стали, вызывающий укрупнение зерен и образование определенной ориентации структурных составляющих (текстура). Внешне в изломе текстура проявляется как одно крупное зерно. Нафталинистый излом устраняется путем многократных повторных фазовых перекристаллизаций металла.

*Хрупкий или камневидный излом* имеет крупнозернистое строение, а разрушение носит преимущественно межкристаллитный характер. Причина образования такого излома – перераспределение примесей при перегреве металла с выделением их в приграничных участках зерен. Камневидный излом можно устранить путем гомогенизирующего отжига.

*Смешанный излом*, на его поверхности наблюдаются участки вязкого и хрупкого разрушения.

*Фарфоровидный излом* характерен для правильно закаленной стали, вид излома матовый, мелкозернистый.

*Усталостный излом* (рис. 6) образуется в результате длительного воздействия на металл циклических напряжений и деформаций. Излом состоит из трех зон: зарождения трещины, собственно усталостного распространения трещины и долома. Механизм усталостного разрушения следующий: усталостная трещина возникает в местах, где имеются концентраторы напряжений или дефекты. Первая зона плоская и гладкая. Увеличиваясь при работе детали, трещина образует зону собственного усталостного распространения с характерными концентрическими бороздками или дугами и мелкозернистым, фарфоровидным изломом. Зачастую она имеет отдельные участки гладкой притертой поверхности. Долом происходит внезапно, когда ослабленное трещиной сечение детали не способно выдержать прикладываемой механической нагрузки. Долом бывает вязким или хрупким.



*Рис. 6. Усталостный излом штока компрессора*

#### **4. Порядок выполнения работы**

Работа рассчитана на 4 часа и выполняется подгруппой студентов из 6–8 человек под руководством преподавателя. Последовательность выполнения работы:

1. Ознакомится с методикой приготовления макрошлифов.
2. Получить у преподавателя образцы для проведения шлифования и полирования.
3. Подобрать необходимые реактивы, провести травление образцов, зарисовать макроструктуры шлифов и дать заключение о качестве металла и виде обработки.

#### **5. Оформление лабораторной работы**

Оформление лабораторной работы должно соответствовать методическим указаниям. Работа оформляется в рабочей тетради в виде отчета, который должен содержать:

- 1) титульный лист;
- 2) тему работы;
- 3) цель работы;
- 4) оборудование и материалы;
- 5) краткое описание теоретической части;
- 6) результаты исследования;
- 7) заключение о качестве металла;
- 8) выводы.

Работу студент защищает руководителю по контрольным вопросам. После выполнения и защиты всех работ рабочая тетрадь в обязательном порядке сдается преподавателю.

## **6. Правила техники безопасности**

1. Перед началом работы необходимо пройти общий инструктаж по ТБ работы с реактивами.
2. Травление образцов производить только в вытяжном шкафу.
3. Работу производить в специальной одежде (хлопчатобумажный халат).
4. Выполнение работы производить под наблюдением преподавателя.

## **7. Контрольные вопросы**

1. Что такое макроструктура?
2. Какими способами изучают макроструктуру?
3. Для каких целей применяют анализ макроструктуры?
4. Как выявляют макроструктуру?
5. Как выявить ликвацию серы в стали?
6. Как выявить ликвацию фосфора в стали?
7. Что такое ликвация? Виды ликвации?
8. Как выявить дендритную структуру в литых образцах?
9. Какие бывают изломы?
10. Назвать характерные признаки хрупкого и вязкого изломов.
11. Каков механизм усталостного разрушения?

## **СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Апасов А.М. Материаловедение / Апасов А.М., Галевский Г.В., Данилов В.И. – Томск: Издательство ТПУ, 2005. – 622 с.
2. Апасов А.М. Методы исследования, испытания, анализа и контроля в металлургии и материаловедении / Апасов А.М., Галевский Г.В. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2008. – 488 с.

3. Солнцев Ю.П. Материаловедение и технология материалов / Солнцев Ю.П., Веселов В.А., Демянцевич В.П. и др. – М.: Металлургия, 1988. – 512 с.
4. Фетисов Г.П. Материаловедение и технология металлов / Фетисов Г.П., Карпман М.Г., Матюшин В.М. и др. / под ред. Фетисова Г.П. – М.: Высшая школа, 2001. – 638 с.
5. Беккерт М. Справочник по металлографическому травлению / Беккерт М., Клемм Х., Лейпциг, 1976: пер. с нем. – М.: Металлургия, 1979. – 336 с.

## Реактивы и режимы травления макрошлифов

Сплавы	Составы реактива и режимы травления	Примечания
<b>Для глубокого травления стали</b>		
Стали всех составов, кроме коррозионно стойких и жаропрочных аустенитного и ферритного классов	Соляная кислота 100 мл, вода 100 мл; $t=60\div 80$ °С; $\tau=5\div 45$ мин. Соляная кислота 100 мл, $\text{HNO}_3$ 10 мл (или 100 мл), вода 100 мл; $t=60\div 70$ °С; $\tau=5\div 10$ мин.	Для получения светлой поверхности после травления шлифов их промывают водой, а затем 10–15% -ным раствором азотной кислоты и просушивают. Иногда с той же целью протирают поверхность ластиком (для стирания записей с бумаги)
Коррозионностойкие, жаропрочные и другие стали аустенитного класса	Соляная кислота 100 мл, $\text{HNO}_3$ 100 мл; $\text{H}_2\text{O}$ 100 мл, $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ 11–11,5 г, $t=20$ °С; $\tau=5\div 10$ мин. Соляная кислота 100 мл, $\text{H}_2\text{SO}_4$ 7 мл, $\text{CuSO}_4$ (безводная) 20 г; $t=20$ °С; $\tau=15\div 25$ мин.	Травление рекомендуется проводить протиркой ватой, смоченной в растворе. Шлиф промывают водой и 5–10% раствором $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ .
<b>Для поверхностного травления</b>		
Стали всех составов	Реактив Гейна: $\text{NH}_4\text{Cl}$ 53 г, $\text{CuCl}_2$ 85 г, $\text{H}_2\text{O}$ 1000 мл; $t=20$ °С; $\tau=0,5\div 1$ мин. Реактив Обергоффера: соляная кислота 3 мл, $\text{CuCl}_2\cdot 2\text{H}_2\text{O}$ 0,2 г, $\text{FeCl}_2$ 3г, $\text{SnCl}_2$ 0,1 г, спирт этиловый 10 мл, вода 100 мл; $t=20$ °С; $\tau=2$ мин. Реактив Стэда: соляная кислота 5мл, $\text{CuCl}_2\cdot 2\text{H}_2\text{O}$ 25 г, $\text{MgCl}_2$ 20 г, $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$ 500 мл; $t=20$ °С; $\tau=1$ мин.	Осевшие при травлении вследствие обменной реакции слой меди, пористый на участках с дефектами, удаляют ватой под струей воды. Более сильно растравлены дефектные участки.  Если вытравливание недостаточно, то процесс травления повторяется несколько раз.

*Продолжение табл. 1*

Сплавы меди	10-20% $(\text{NH}_4)_2\text{S}_2\text{O}_8$ ; $t=20\text{ }^\circ\text{C}$ ; $\tau=1\div 5$ мин. 10%-ный водный раствор перекиси водорода в насыщенном водном растворе аммиака; $t=20\text{ }^\circ\text{C}$ ; $\tau=1\div 3$ мин. $\text{FeCl}_3$ 10 г, соляная кислота 30 мл, вода 120 мл; $t=20\text{ }^\circ\text{C}$ ; $\tau=2\div 5$ мин.	Для алюминия и медных сплавов после травления производится промывка в воде, погружение на 1–2 с в 50%-ный раствор $\text{HNO}_3$ , промывка в горячей воде и 10%-ном водном растворе $\text{NaOH}$ .
Алюминиевые сплавы	Соляная кислота 40 мл, $\text{HNO}_3$ 40 мл; $t=20\text{ }^\circ\text{C}$ ; $\tau=1\div 10$ мин. Плавиковая кислота 10 мл, вода 150 мл; $t=20\text{ }^\circ\text{C}$ .	Для сплавов типа дюралюмина после травлении необходимы промывка и сушка.

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего профессионального образования  
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**  
ЮРГИНСКИЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ

Механико-машиностроительный факультет  
Кафедра «Металлургия черных металлов»

МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ

Лабораторная работа № \_\_

МАКРОСТРУКТУРНЫЙ АНАЛИЗ

Исполнитель:  
студент гр. \_\_\_\_\_

(подпись) И.О.Фамилия  
(дата)

Руководитель:  
(должность, ученая степень)

(подпись) И.О.Фамилия  
(дата)

Юрга 20\_\_

Учебное издание

ФЕДОСЕЕВ Сергей Николаевич

## **МАКРОСТРУКТУРНЫЙ АНАЛИЗ**

Методические указания к выполнению лабораторной работы по дисциплине «Материаловедение» для студентов специальностей 150101 «Металлургия черных металлов», 150202 «Оборудование и технология сварочного производства», 150402 «Горные машины и оборудование», 151001 «Технология машиностроения» очной и заочной формы обучения

Печатается в редакции автора-составителя

**Отпечатано в издательстве ЮТИ ТПУ составителя в полном соответствии с качеством предоставленного оригинал-макета**

Подписано к печати 21.09.12

Формат 60x84/16. Бумага офсетная

Плоская печать. Усл. печ. л. 0,99. Уч.-изд.л. 0,89

Тираж 60 экз. Заказ 1552. Цена свободная.

ИПЛ ЮТИ ТПУ. Ризограф ЮТИ ТПУ.

652050. Юрга, ул. Московская, 17.