Русское изданіе „Sammlung Göschen“

МЕТАЛЛОГРАФІЯ

Краткое популярное изложеніе ученія о металлахъ и ихъ сплавахъ въ особенности съ точки зрѣнія металломикроскопіи

Е. Гейнъ и **О. Бауеръ.**
проф. Королевской Испытательной Станціи (Gross-Lichterfelde)
Высшей Технической Школы въ Берлинѣ

I

Общая часть

Съ 45 рисунками въ текстѣ и 5 фотографіями на 3 таблицахъ

Авторизованный переводъ съ послѣдняго нѣмецкаго изданія инженеръ-металлурга **Г. Черкасова.**

РИГА
Изданіе **„Наука и Жизнь“**
1914

Единственный представитель для всей Россіи
к-во **К. Г. Зихмана** въ Ригѣ.

Вышли изъ печати:

№ 1. Проф. Э. Германнъ. **Введеніе въ электротехнику.** Часть I: Физическія основы.
№ 2. Проф. Э. Германнъ. **Введеніе въ электротехнику.** Часть II: Техника постоян. тока.
№ 3 Вальтеръ и Ретингеръ. **Термодинамика.**
№ 4. Проф. Ю. Гачекъ. **Общее Государственное право.** Часть I: Право современной монархіи.
№ 5. Проф. Ю. Гачекъ. **Общее Государственное право.** Часть II: Право современной демократіи.
№ 6. Д-ръ мед. А. Леганъ. **Физіологическая химія.** Часть I: Ассимиляція.
№ 7. Проф. Ю. Гачекъ. **Общее Государственное право.** Часть III: Право современнаго государственнаго соединенія.
№ 8. Проф. Ф. Юнкеръ. **Высшій анализъ.** Часть I: Дифференціальное исчисленіе.
№ 9. Д-ръ мед. А. Леганъ. **Физіологическая химія.** Часть II: Диссимиляція.
№ 10. П. Голль. **Водяныя турбины.** Часть I: Струйныя турбины.
№ 11. Проф. Д-ръ Ѳ. Эльзенгансъ. **Психологія и логика.**
№ 12. Проф. В. Рейнъ. **Педагогика.**
№ 13. Проф. Е. Деннертъ. **Растеніе, его строеніе и жизнь.**
№ 14. Проф. Г. Миге. **Ученіе о клѣткѣ и анатомія растеній.**
№ 15. Проф. В. Гауберъ. **Сопротивленіе матеріаловъ.**
№ 16. Проф. И. Кэртингъ. **Отопленіе и вентиляція.** Часть I.
№ 17. Проф. Э. Германнъ. **Введеніе въ электротехнику.** Часть III: Техника перемѣн. тока.
№ 18. Проф. Ф. Юнкеръ. **Высшій анализъ.** Часть II: Интегральное исчисленіе.
№ 19. Проф. Гейнъ и проф. Бауэръ. **Металлографія.** I общая часть.
№ 20. Проф. А. Ганзенъ. **Физіологія растеній.**
№ 21. Проф. Фраасъ. **Геологія.**
№ 22. П. Голль. **Водяныя турбины.** Часть I.

Готовятся къ печати:

Проф. Германнъ. **Введеніе въ электротехнику.** Часть IV.
В. Гауберъ. **Гидравлика.**

Проф. И. Кэргингъ. **Отопленіе и вентиляція.** Часть II.
А. Киршке. **Газовые двигатели.**
К. Рэссле. **Желѣзобетонъ.**
Ф. Бартъ. **Паровыя машины,** въ двухъ частяхъ.
Проф. Х. О. Гартманъ. **Архитектурные стили.**
Проф. Г. Кауфманъ. **Общая и физическая химія,** въ двухъ частяхъ.
Д-ръ А. Гаутцъ. **Металлургія,** въ двухъ частяхъ.
Д-ръ І. Гоппе. **Аналитическая химія,** въ двухъ частяхъ.
Д-ръ Г. Даннеэль. **Электрохимія,** въ двухъ частяхъ.
Проф. Е. Гейнъ и проф. О. Бауэръ. **Металлографія.** Часть II.
Д-ръ І. Клейнъ. **Неорганическая химія.**
Д-ръ І. Клейнъ. **Органическая химія.**
Проф. Ф. Юнкеръ. **Репетиторіумъ дифференціальнаго исчисленія и сборникъ задачъ.**
Проф. Ф. Юнкеръ. **Репетиторіумъ интегральнаго исчисленія и сборникъ задачъ.**
Проф. В. Мигула. **Біологія растеній.**
Проф. Л. Дильсъ. **Географія растеній.**
Проф. І. Мейзенгеймеръ. **Исторія развитія животныхъ.**
Проф. Ф. Вагнеръ. **Зоологія.**
Проф. Г. Зимротъ. **Біологія животныхъ.**
Проф. А. Якоби. **Географія животныхъ.**
Проф. Ф. Вагнеръ. **Паразиты и паразитизмъ въ животномъ мірѣ.**
Проф. Г. Щоттъ. **Физическое моревѣдѣніе.**
Проф. Р. Браунсъ. **Минералогія.**
Проф. А. Кистнеръ. **Исторія физики,** въ двухъ частяхъ.
Проф. К. Іегеръ. **Теоретическая физика,** въ 4-хъ част.
Проф. Р. Лангъ. **Экспериментальная физика.**
Д-ръ Г. Зейлеръ. **Человѣческое тѣло, его строеніе и отправленія.**
Проф. Г. Кобольдъ. **Астрономія,** въ двухъ частяхъ.
Проф. С. Гинтеръ. **Космографія.**
Проф. Э. Бернгеймъ. **Введеніе въ историческую науку.**
Проф. Ѳ. Ахелисъ. **Этика.**
Проф. Ѳ. Ахелисъ. **Соціологія.**
Проф. М. Дицъ. **Общая эстетика.**
Д-ръ Г. Веймеръ. **Исторія педагогики.**
Проф. А. Рисъ. **Коммунальное хозяйство.**
Проф. В. Лексисъ. **Сущность торговли,** въ двухъ част.

Типографія Карлъ Зейберлихъ, Рига, Парковая 6.

Оглавленіе.

Стр

Понятіе о металлографіи и ея цѣли 5
Краткій историческій обзоръ 6
Техника металлографіи.
Взятіе пробы и приготовленіе пробныхъ кусковъ для шлифованія и полировки 7
Шлифованіе и полировка 10
Методы шлифованія 10
Полировка 12
Дальнѣйшая обработка шлифа 13
Полировка въ рельефъ 14
Травящая полировка 16
Нагрѣваніе 16
Травленіе 19
Травленіе мѣдно-амміачной солью 19
Травленіе растворомъ соляной кислоты въ спиртѣ 21
Травленіе растворомъ азотной кислоты въ спиртѣ 21
Травленіе подъ вліяніемъ электрическаго тока . 22
Травленіе азотной кислотой 23
Травленіе мѣдно-амміачной солью въ амміачномъ растворѣ 24
Опредѣленіе склерометрической твердости . . 24
Изслѣдованіе шлифа.
Общій ходъ изслѣдованія 26
Изслѣдованіе подъ микроскопомъ 27
Освѣщеніе косо-падающимъ дневнымъ свѣтомъ 27
Освѣщеніе посредствомъ плоскаго стекла . . . 29
Освѣщеніе посредствомъ полностью отражающей призмы 30
Искусственный свѣтъ 31
Микроскопный штативъ системы Мартенса . . 32
Объективы и окуляры 36

Стр.

Бинокулярный микроскопъ для стереоскопическаго разсматриванія 39
Фотографированіе микроскопнаго изображенія.
Пластинки 40
Время выдержки 40
Проявленіе снимка 41
Эйконогенъ-гидрохиноновый проявитель . . . 41
Глициновый проявитель 42
Фиксированіе 42
Полученіе позитива 42
Темная комната 44
Приборы для измѣренія температуры 46
Ртутный термометръ 46
Термоэлементы 48
Температуры плавленія и затвердѣванія 52
Опредѣленіе температуры затвердѣванія . . . 55
Самозаписывающій гальванометръ и хронографъ . 59
Опредѣленіе критическихъ точекъ 62
Производство опыта для опредѣленія критическихъ точекъ 66
Печи для цѣлей металлографіи 68
Спирально-никелевая печь 68
Газовая плавильная печь 68
Газовая тигельная печь 69
Электрическая трубообразная печь Heraeus'a . 69
Газовая печь съ дутьемъ 70
Электрическая угольная трубообразная печь . . 70
Электрическая печь съ угольнымъ сопротивленіемъ 71
Тигли. 72
Перечень авторовъ 73
Алфавитный указатель 74
Литература 78

Понятіе о металлографіи и ея цѣли.

Металлографія [1]) — это общее имя для всего ученія о металлахъ и ихъ сплавахъ.

Но металлографіи въ своихъ изслѣдованіяхъ приходится имѣть также дѣло съ веществами, которыя хотя и не обладаютъ металлическими свойствами, тѣмъ не менѣе образуютъ съ металлами, претерпѣвая какія-либо химическія превращенія или нѣтъ, сплавы или растворы. Стоитъ только вспомнить о желѣзѣ и фосфорѣ или сѣрѣ, мѣди и кислородѣ и т. д.

Задачи металлографіи можно кратко формулировать такъ:

1. Описательная характеристика отдѣльныхъ составляющихъ структуры сплава; опредѣленіе ихъ физическихъ и химическихъ свойствъ, равно ихъ взаимнаго расположенія.

2. Опредѣленіе измѣненій въ свойствахъ и расположеніи отдѣльныхъ составляющихъ структуры, которыя вызываются различной обработкой металла или сплава, какъ, напр., нагрѣвъ, быстрое охлажденіе, измѣненія формы, окисленіе, обуглероживаніе, химическая обработка и т. д.

---

[1]) Съ греческаго: „Описаніе металловъ“.

3. Опредѣленіе перемѣнъ въ качествѣ самого сплава, обусловленныхъ измѣненіемъ его структуры, подъ вліяніемъ причинъ, перечисленныхъ въ § 2.

При рѣшеніи всѣхъ этихъ задачъ оказало огромную услугу изслѣдованіе съ помощью микроскопа (металломикроскопія). Также принесло большую помощь примѣненіе законовъ растворовъ солей на сплавы или растворы металловъ между собой.

Само собой разумѣется, металлографія пользуется, когда это необходимо, и другими методами физическихъ или химическихъ испытаній.

Краткій историческій обзоръ.

Первое примѣненіе микроскопа къ изученію структуры металла было сдѣлано англичаниномъ H. Cl. Sorby въ 1863 году. Однако его первыя работы не возбудили всеобщаго интереса къ новому методу изслѣдованія; это уже выпало на долю Martens'a, руководителя Королевской Испытательной Станціи (Gross-Lichterfelde), который не зная работъ Sorby, въ 1878 году опубликовалъ свои первыя данныя о микроструктурѣ желѣза и стали главнымъ образомъ практическаго значенія.

Вслѣдъ затѣмъ много знаменитыхъ ученыхъ, какъ въ Россіи, такъ и заграницей, занялись изученіемъ новаго метода изслѣдованія, причемъ дальнѣйшимъ своимъ развитіемъ металлографія прежде всего обязана F. Osmond'y Его классическій трудъ: „Methode générale pour l'analyse micrographique des aciers au carbone" — является основнымъ для теоріи сплавовъ углерода съ желѣзомъ.

Извѣстный нѣмецкій металлургъ A. Ledebur заслужилъ славу, указавши первый, что сплавы надо разсматривать какъ растворы металловъ между собой.

Osmond и Roberts-Austen въ этомъ отношеніи пошли далѣе: примѣнили законы растворовъ солей на сплавы. Работы Roozeboom'a привели къ дальнѣйшему развитію ученія о растворахъ и поэтому также къ значительному успѣху въ познаніи сплавовъ.

Пирометръ Le Chatelier при всѣхъ металлографическихъ изслѣдованіяхъ оказываетъ неоцѣнимую услугу.

Черновъ, Charpy, Heycock и Neville, Stead, Arnold, Howe, Sauveur и многіе другіе неутомимо работали надъ развитіемъ молодой науки — металлографіи [1]).

Съ постояннымъ развитіемъ этой отрасли знанія растетъ также интересъ и признаніе широкихъ круговъ практическаго значенія новаго метода изслѣдованія, который уже въ настоящее время оказываетъ неоцѣнимую услугу при испытаніи матеріаловъ.

Теперь уже во многихъ техническихъ учебныхъ заведеніяхъ читаются лекціи по металлографіи и большіе заводы желѣзодѣлательной промышленности имѣютъ собственныя металлографическія лабораторіи.

Техника металлографіи.

Взятіе пробы и приготовленіе пробныхъ кусковъ для шлифованія и полировки.

Такъ-же, какъ при химическомъ анализѣ, при металлографическомъ изслѣдованіи играетъ большую роль правильное взятіе пробы, которую необходимо всегда сообразовать съ характеромъ испытуемаго предмета.

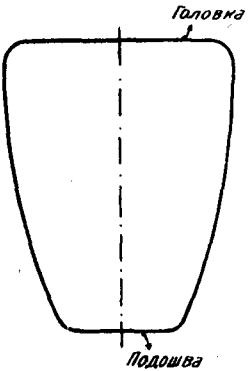
---

[1]) Подробныя историческія данныя см. O. Bauer: „Die Metallographie", Baumaterialienkunde 1904, №№ 1—2.

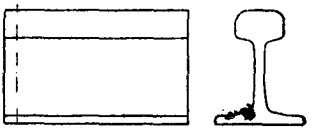
Небольшіе переплавленные кусочки разрѣзаютъ вдоль (см. фиг. 1). Такимъ образомъ получаютъ сѣченіе, которое заключаетъ въ себѣ структуру какъ головки, такъ и подошвы.

При изслѣдованіи профильнаго желѣза, рельсъ для обнаруживанія явленій ликваціи и т. д. отрѣзаютъ поперекъ холодной пилой темплетъ толщиной 10—15 мил. (см. фиг. 2). Вырѣзаніе небольшихъ кусочковъ отъ головки или подошвы рельса или какого-либо профильнаго желѣза въ большинствѣ случаевъ имѣетъ мало значенія, такъ какъ строеніе не вездѣ бываетъ одинаковое.

При установленіи причины излома, кромѣ поперечнаго сѣченія необходимо еще брать сѣченіе перпендикулярное плоскости



Фиг. 1.


Фиг. 2.

излома, для сравненія структуры мѣста близкаго къ излому съ мѣстами болѣе или менѣе удаленными отъ него.

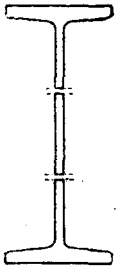
Дабы не затруднять безъ нужды работу шлифованія и полировки, необходимо обращать вниманіе, чтобъ испытуемые образцы не были слишкомъ тяжелыми.

При большихъ профиляхъ темплетъ раздѣляютъ на нѣсколько частей (см. фиг. 3).

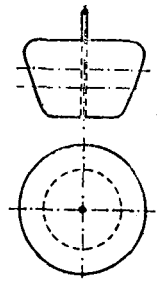
Наоборотъ, когда вопросъ идетъ объ изслѣдованіи

очень малыхъ поперечныхъ сѣченій, какъ, напр. проволоки, то оплавляютъ послѣднюю легкоплавкимъ сплавомъ, какъ указано на фиг. 4. По затвердѣваніи можно отрѣзать въ любомъ сѣченіи темплетъ, который будетъ содержать и поперечное сѣченіе проволоки.

Если испытуемый матеріалъ нельзя рѣзать или строгать (какъ, напр., бѣлый чугунъ, закаленная сталь), то отбиваютъ молоткомъ кусокъ и грубо шлифуютъ какую-либо плоскость на медленно вращающемся наждачномъ кругѣ. Нагрѣванія пробы необходимо избѣгать, иначе въ нѣкоторыхъ случаяхъ (напр., закаленная сталь) измѣняется структура.



Фиг. 3.



Фиг. 4.

Во многихъ случаяхъ при матеріалахъ, которыхъ нельзя пилить или строгать, ровное сѣченіе можно получить такимъ образомъ: берутъ старую, бывшую уже въ употребленіи пилу и распиловку производятъ въ струѣ смѣси воды съ масломъ. Такимъ образомъ можно рѣзать даже очень твердую инструментальную сталь.

При всѣхъ вышеупомянутыхъ работахъ необходимо строго слѣдить, чтобъ въ мягкомъ матеріалѣ не было, благодаря удару или сжатію, остающихся деформацій, въ противномъ случаѣ измѣняется структура.

При пользованіи тисками, нужно между ихъ щеками и пробнымъ кускомъ класть подкладки (напр., свинецъ, мѣдь, дерево или резину), которыя были бы мягче обрабатываемаго металла.

Шлифованіе и полировка.

Отрѣзанные темплеты, полосы и т. д. должны быть выравнены на строгальномъ станкѣ или при небольшихъ кускахъ напильникомъ, послѣ чего ихъ шлифуютъ и полируютъ.

Методы шлифованія.

Въ теченіе времени выработалось нѣсколько методовъ шлифованія.

Здѣсь будетъ описанъ только методъ, выработанный въ Королевской Испытательной Станціи A. Martens'омъ и Heyn'омъ, преимущество котораго заключается въ томъ, что онъ пригоденъ для всѣхъ металловъ и сплавовъ, безразлично, будетъ ли это свинецъ или закаленная инструментальная сталь.

Шлифованіе производится наждачной бумагой различныхъ номеровъ, которая наклеивается на деревянный кругъ; дабы избѣжать покоробливанія круга, склеиваютъ его изъ отдѣльныхъ деревянныхъ листовъ.

Станкомъ можетъ служить обыкновенный вращающійся станокъ.

Деревянный кругъ навинчивается на цапфу валика (см. фиг. 5). Діаметръ круга около 360 мм.; число оборотовъ 400—450 въ минуту.

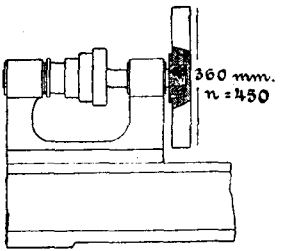
Такъ какъ необходимо шлифовать различными сортами наждачной бумаги, переходя отъ болѣе грубой къ болѣе мелкой, то имѣютъ всегда рядъ круговъ въ запасѣ. Когда наклеенная на дискъ наждачная бумага болѣе негодна къ употребленію, ее счищаютъ и наклеиваютъ новый листъ.

Въ лабораторіи Королевской Испытательной Станціи

примѣняется наждачная бумага марки „Hubert“ слѣдующихъ номеровъ:

3	наиболѣе грубыя зерна
2	↓
1 G	
1 M	зерна становятся мельче
1 F	↓
0	
00	наиболѣе мелкія зерна

Самое шлифованіе производятъ такимъ образомъ: пробный кусокъ слегка прижимаютъ плоскостью, которую слѣдуетъ отшлифовать, къ вращающемуся диску. Чѣмъ



Фиг. 5.

мягче шлифуемый матеріалъ, тѣмъ осторожнѣе необходимо его прижимать, ибо въ противномъ случаѣ отдѣльныя зерна наждака, оторванныя отъ бумаги, могутъ быть вдавлены въ шлифъ и тѣмъ его испортить. Такой шлифъ легко можетъ неопытнаго наблюдателя ввести въ заблужденіе.

Фотографическій снимокъ 1-ый (табл. I-ая) показываетъ при увеличеніи въ 108 разъ шлифъ чистой мѣди, поврежденный слишкомъ сильнымъ нажимомъ. Черныя точки есть пороки самого шлифа и не имѣютъ ничего общаго съ структурой.

При шлифованіи переходятъ постепенно отъ номеровъ бумаги съ грубыми зернами наждака къ бумагѣ съ болѣе мелкими. Часто нѣтъ необходимости пользоваться послѣдовательно всѣми 7-ью дисками — нѣкоторые могутъ быть пропущены.

Диски отъ 3 до 0 употребляютъ сухими; дискъ же 00 полезно смачивать чистымъ машиннымъ масломъ (свободнымъ отъ пыли и кислоты).

Когда на шлифуемой поверхности нѣтъ царапинъ, переходятъ къ ея полировкѣ.

Полировка.

Полировку производятъ на деревянномъ кругѣ, обтянутомъ сукномъ, пользуясь водой и крокусомъ (окись желѣза).

Имѣющимся въ продажѣ крокусомъ (нѣтъ необходимости его отмучивать) обсыпаютъ обтянутый сукномъ дискъ и растираютъ его кругомъ чистой мокрой щеткой; послѣ этого дискъ готовъ для полировки.

Легкимъ нажимомъ придерживаютъ шлифъ къ медленно вращающемуся вокругъ своей оси диску. Шлифъ считается готовымъ, если имѣетъ совершенно зеркальную поверхность.

Безъ нужды долгой полировки надо избѣгать.

Отполированный шлифъ обмывается водой, потомъ спиртомъ (отъ воды) и промакивается осторожнымъ прикосновеніемъ (безъ тренія) мягкимъ полотенцемъ.

При легко окисляемыхъ веществахъ (напр., марганецъ, магній и т. д.) рекомендуется при полировкѣ вмѣсто воды употреблять спиртъ съ крокусомъ. Такъ какъ спиртъ быстро испаряется, необходимо дискъ чаще увлажнять.

Кромѣ окиси желѣза, согласно даннымъ Le Chatelier [1]), можно употреблять:

1. окись аллюминія изъ амміачныхъ квасцовъ;
2. наждачный порошокъ, отмученный;
3. окись хрома изъ двухромоаммоніевой соли.

Вся работа шлифованія и полировки при небольшихъ кусочкахъ занимаетъ отъ 1/2 до 1 часа времени, при большихъ плоскостяхъ шлифованія до 2 1/2 часовъ.

Чтобы при сплавахъ съ низкой температурой плавленія избѣжать всей работы шлифованія и полировки, нѣкоторыми изслѣдователями рекомендуется выливать металлъ въ жидкомъ состояніи прямо на стекло или слюдяную пластинку [2]). Однако этотъ методъ не всегда примѣнимъ; надо принять во вниманіе, что въ этомъ случаѣ будетъ получаться структура, соотвѣтствующая только литому и быстро охлажденному металлу.

Само собой разумѣется, тамъ, гдѣ необходимо изслѣдовать металлъ въ томъ состояніи, какъ онъ есть, настоящій методъ не примѣнимъ.

Дальнѣйшая обработка шлифа [3]).

Отполированные шлифы только въ томъ случаѣ годны безъ дальнѣйшей отдѣлки для наблюденія подъ микроскопомъ, если отдѣльныя составляющія структуры различны

---

[1]) H. Le Chatelier, Sur la technique de la métallographie microscopique, Revue de métallurgie, 1905, іюль.

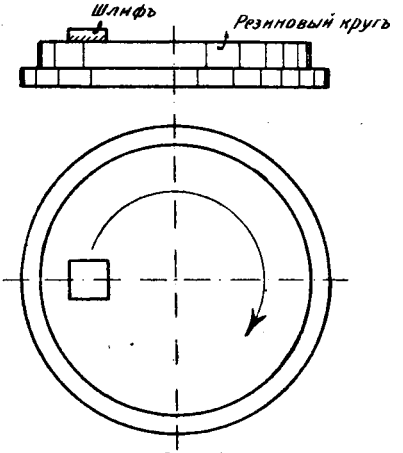
[2]) H. J. Hannover, Bulletin de la Société d'Encouragement pour l'Industrie nationale. Августъ 1900, стр. 210.

[3]) Ср. также E. Heyn: „Einiges über das Kleingefüge des Eisens". Stahl und Eisen 1899, выпускъ 15, стр. 709; выпускъ 16, стр. 768.

Кромѣ того: „Überblick über den gegenwärtigen Stand der Metallographie" — Heyn. Z. d. V. deutscher Ingenieure 1900, выпускъ 5, стр. 137; выпускъ 6, стр. 175.

по собственной окраскѣ (мѣдь-закись мѣди, мѣдь-сѣрнистая мѣдь, мѣдь-висмутъ и т. д.).

Фотографическій снимокъ 2 (таблица I-ая) представляетъ шлифъ сплава мѣдь-висмутъ съ 3% мѣди (увеличеніе въ 108 разъ) — только отполированный. Кажущіеся на фотографіи темными, въ дѣйствительности — красные кристаллы мѣди. Они вкраплены въ свѣтлую (серебрянноблестящую) массу висмута.



Фиг. 6.

Въ большинствѣ случаевъ шлифы нуждаются въ дальнѣйшей обработкѣ, дабы можно было отличить отдѣльныя составляющія структуры.

Полировка въ рельефъ.

(Предложена Sorby, усовершенствована Osmond'омъ, Martens'омъ, Wedding'омъ).

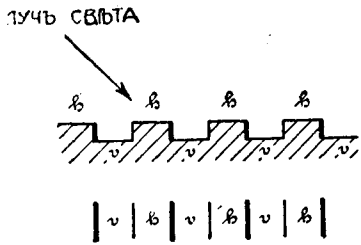
Полировка въ рельефъ основана на различіи въ твердости отдѣльныхъ составляющихъ структуры.

На подкладкѣ изъ мягкой резины или пергамента отполированный шлифъ, пользуясь небольшимъ количествомъ крокуса съ водой, легкимъ нажимомъ руки снова полируется (см. фиг. 6).

Болѣе твердыя составляющія части структуры лучше противостоятъ шлифующему дѣйствію.

Вслѣдствіе того, что подкладка (резина) эластична, крокусъ проникаетъ въ образующіяся углубленія менѣе твердыя части структуры стираются все болѣе и болѣе и, наконецъ, получается рельефная поверхность.

Отъ времени до времени по виду подъ микроскопомъ судятъ объ успѣшности работы. Когда виденъ уже ясный рельефъ, прекращаютъ полировку, ибо иначе могутъ истираться и твердыя части структуры (обыкновенно достаточно 10--20 минутъ).



Фиг. 7.

Фотографическій снимокъ 3 (таблица II) показываетъ отполированный въ рельефъ шлифъ отожженнаго бѣлаго чугуна (увеличеніе въ 242 раза). Свѣтъ падаетъ сверху слѣва.

Какъ видно изъ фигуры 7, углубленныя, болѣе мягкія составляющія сплава имѣютъ тѣневой кантъ на сторонѣ лучей свѣта (лѣвой), тогда какъ выступающія части свѣтлымъ кантомъ обращены къ лучу.

Здѣсь необходимо замѣтить, что при наблюденіи подъ микроскопомъ соотношеніе будетъ обратное, ибо микроскопъ переворачиваетъ изображеніе.

Травящая полировка.

(Предложена Osmond'омъ).

Полировку въ рельефъ можно ускорить, если къ чисто механическому вліянію добавить еще химическое.

Съ этой цѣлью воду замѣняютъ жидкостью, дѣйствующей химически на шлифъ, какъ, напр., экстрактъ солодковаго корня [1]), азотно-аммоніева соль [2]) и др., причемъ способъ полировки остается прежній.

Такимъ образомъ разрушеніе химическимъ путемъ и стираніе идутъ одновременно и кромѣ того при соотвѣтствующемъ выборѣ травящей жидкости получается окрашиваніе отдѣльныхъ составляющихъ сплава.

Растворъ солодковаго корня приготовляютъ такимъ образомъ: 10 гр. солодковаго или лакричнаго корня въ видѣ мелкихъ опилокъ обливаютъ 100 гр. воды. Спустя 4 часа жидкость отфильтровывается и сохраняется въ хорошо запираемой стеклянной бутыли. Такъ какъ со временемъ экстрактъ портится, необходимо часто его приготовлять.

Растворъ азотно-аммоніевой соли согласно Osmond'у таковъ:

2 гр. азотно-аммоніевой соли на 100 куб. сант. воды.

Нагрѣваніе.

(Впервые примѣнено Martens'омъ, послѣ того Behrens'омъ, Stead'омъ [3]) и др.).

Часто при нагрѣваніи на воздухѣ отполированнаго пробнаго куска сплава одни его составляющія части окисляются быстрѣе другихъ. Какъ извѣстно, появленіе

---

[1]) F. Osmond, Méthode générale pour l'analyse micrographique des aciers au carbone. Contribution à l'étude des alliages. Paris 1901, Chamerot et Renouard.

[2]) F. Osmond and G. Cartaud. New reagents for the micrographic study of carburised Irons. The Metallographist III, стр. 1.

[3]) Stead, Practical Metallography. Proceedings of the

11002 7/61

тонкаго слоя окисловъ на легче окисляющихся частяхъ вызываетъ ихъ окрашиваніе, что и даетъ возможность различать отдѣльныя составляющія сплава.

Цвѣта при нагрѣваніи появляются въ такомъ порядкѣ

Порядокъ цвѣтовъ	Цвѣтъ въ отраженномъ свѣтѣ
I	черный темно-сѣролавендовый свѣтлѣе „ очень свѣтлый „ бѣло-синеватый бѣло-зеленоватый бѣло-желтоватый блѣдно-соломенножелтый желто-бурый оранжевый красный
II	пурпуровый фіолетовый индиго небесно-лазуревый свѣтлѣе небесно-лазуревый очень свѣтлый синевато-зеленый свѣтло-зеленый желто-зеленый желтый свѣтло-оранжевый красный

Cleveland Institution of Engineers, Februar 1900. The Metallographist III, стр. 220.

Structure of phosphoretic pig Metals. Proc. Clev. Inst. of Eng., Februar 1900. The Metallographist III, стр. 261.

Въ большинствѣ случаевъ нагрѣваніе достаточно производить до желтобураго цвѣта 1-го порядка. При нѣкоторыхъ сплавахъ (мѣдь-фосфоръ и др. мѣдные сплавы) идутъ далѣе — до пурпуроваго и фіолетоваго 2-го порядка.

Для выполненія опыта необходима нѣкоторая практика. Шлифъ полированной поверхностью кверху кладется на желѣзный листъ, который медленно нагрѣвается горѣлкой Бунзена (см. фиг. 8). Какъ только получится на поверхности желаемое окрашиваніе, шлифъ тотчасъ снимаютъ щипцами и быстро опускаютъ въ холодную воду, такъ чтобы не смачивалась полированная поверхность.

Фиг. 8.

При металлахъ и сплавахъ, которые не образуютъ съ ртутью амальгамы, можно вмѣсто воды для охлажденія пользоваться ртутью.

Фотографическій снимокъ 4 (таблица II) показываетъ при увеличеніи въ 242 раза подвергнутый нагрѣванію шлифъ мѣдно-оловяннаго сплава съ 12% содержаніемъ олова.

Составляющая сплава K, богатая мѣдью, посрединѣ темно окрашена, а къ краямъ окраска ослабѣваетъ. Темная часть K окружаетъ свѣтлую, богатую оловомъ часть S.

Слѣдуетъ замѣтить, что нагрѣваніе необходимо производить осторожно и съ знаніемъ дѣла, ибо въ нѣкоторыхъ случаяхъ (напр., при закаленной стали), нагрѣваніе можетъ измѣнить структуру, и привести къ ложному заключенію.

Травленіе.

Во всѣхъ случаяхъ, когда не примѣнимы вышеописанные методы, пользуются травленіемъ.

Для правильнаго травленія необходимо, чтобы отполированная поверхность была совершенно чиста отъ масла и жировъ, для чего ее осторожно обтираютъ ваткой, пропитанной спиртомъ, и высушиваютъ промакиваніемъ чистымъ мягкимъ полотенцемъ. Необходимо избѣгать трогать пальцами отполированную поверхность.

Дѣйствіе разнообразныхъ травящихъ жидкостей очень различно.

Во многихъ случаяхъ онѣ дѣйствуютъ какъ растворители — одни составляющія сплава быстрѣе растворяются другихъ; получается рельефная поверхность, гдѣ выступающія части менѣе растворимы. Иногда при обработкѣ жидкостью пользуются еще слабымъ электрическимъ токомъ (методъ Weyl'я, разработанный Charpy).

Одного общаго рецепта здѣсь дать нельзя: способъ травленія необходимо сообразовать съ испытуемымъ металломъ.

Изъ большого числа рекомендованныхъ и примѣняемыхъ способовъ травленія здѣсь будутъ приведены только нѣкоторые.

Травленіе мѣдно-амміачной солью.
(Методъ E. Heyn'a[1]*).*

Методъ преимущественно пригоденъ для мягкаго желѣза, обыкновенной углеродистой незакаленной стали и бѣлаго чугуна.

---

[1]) Bericht über Ätzverfahren zur makroskopischen Gefügeuntersuchung des schmiedbaren Eisens und über die damit zu erzielenden Ergebnisse. Mitteilungen aus dem Königlichen Materialprüfungsamt 1906, выпускъ 5, стр. 253.

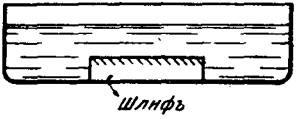
Составъ травящей жидкости таковъ:

10 гр. мѣдно-амміачной соли (имѣется въ продажѣ) въ 100 куб. с. воды.

Полированной поверхностью кверху быстро опускаютъ шлифъ въ жидкость вышеописаннаго состава, которая находится въ ванночкѣ (см. фиг. 9).

При опусканіи необходимо слѣдить, чтобы на полированной поверхности не было пузырьковъ воздуха, ибо въ противномъ случаѣ въ тѣхъ мѣстахъ металлъ будетъ защищенъ отъ травящаго дѣйствія и оставшіеся маленькіе выступающіе островки на протравленной поверхности шлифа легко могутъ привести къ заблужденіямъ.

Продолжительность травленія около 1 минуты.



Фиг. 9.

Ванночку необходимо все время колебать, дабы помѣшать измѣненію концентраціи жидкости у поверхности шлифа.

Желѣзо пробы вытѣсняетъ мѣдь изъ раствора; послѣдняя осаждается на отшлифованной поверхности въ видѣ губчатой массы. Затѣмъ проба быстро переносится въ ванночку съ водой, гдѣ губчатая мѣдь снимается ваткой; это удается легко, если былъ правильно составленъ (1 : 12) реактивъ.

При слишкомъ слабомъ растворѣ мѣдь сильно пристаетъ къ шлифу и тогда ее трудно удалить.

Слишкомъ крѣпкій растворъ дѣйствуетъ на шлифъ очень быстро и сильно.

Послѣ промыванія водой шлифъ обливается спиртомъ и быстро промакивается мягкимъ полотенцемъ [1]) (отнюдь не тереть!)

[1]) Обливаніе спиртомъ по окончаніи травленія и промакиваніе мягкимъ полотенцемъ примѣняется также при всѣхъ нижеописанныхъ способахъ травленія.

Въ эксикаторѣ шлифы сохраняются, какъ угодно долго, безъ ржавленія.

На основаніи результатовъ, получаемыхъ послѣ травленія мѣдно-амміачной солью, можно сдѣлать очень цѣнныя заключенія о мѣстномъ увеличеніи углерода, фосфора въ желѣзѣ, а также о тѣхъ остающихся деформаціяхъ, которымъ оно было подвержено на холоду.

Для сѣрыхъ чугуновъ, закаленной стали, никелевой и хромовой стали настоящій методъ не примѣнимъ, ибо мѣдь настолько сильно пристаетъ къ поверхности шлифа, что удалить ее ваткой невозможно.

Травленіе растворомъ соляной кислоты въ спиртѣ.
(Методъ Martens'a и *Heyn'a).*

Этотъ методъ вполнѣ пригоденъ для всѣхъ сортовъ желѣза и стали, какъ въ закаленномъ, такъ и въ незакаленномъ состояніяхъ. Продолжительность травленія колеблется при незакаленной стали отъ 3 до 15 минутъ.

При закаленной стали необходимо болѣе — иногда до 1 часа.

Составъ раствора таковъ:

1 куб. сан. соляной кислоты (удѣл. вѣсъ 1,19)
на 100 куб. сан. чистаго спирта.

Спеціальная сталь (никелевая, хромовая, вольфрамовая) травится очень медленно.

Травленіе растворомъ азотной кислоты въ спиртѣ.
(Методъ Martens'a).

Въ нѣкоторыхъ случаяхъ полезно замѣнять соляную кислоту азотной.

4 куб. сан. азотной кислоты (удѣл. вѣсъ 1,14)
на 100 куб. сант. чистаго спирта.

Чугунъ (бѣлый и сѣрый), никелевая, хромовая, вольфрамовая стали травятся даннымъ реактивомъ скорѣй, чѣмъ предыдущимъ.

Травленіе подъ вліяніемъ электрическаго тока.

Особенно пригодно для спеціальныхъ сортовъ стали, которые иначе очень трудно поддаются травленію.

Фиг. 10 поясняетъ данный способъ.

Pt — платиновый тигель, гдѣ находится водный растворъ соляной кислоты [1]:

1 куб. сан. соляной кислоты (удѣл. вѣсъ 1,19)
на 100 куб. сант. воды.

Платиновый тигель соединяется съ отрицательнымъ, а шлифъ съ положительнымъ полюсомъ гальванической батареи. Достаточенъ токъ силой отъ 0,5 до 0,7 амперъ на квадратный сантиметръ отшлифованной поверхности

Продолжительность травленія отъ 1 до 5 минутъ, хотя, смотря по обстоятельствамъ, можетъ и болѣе.

Травленіе латуни Charpy предлагаетъ производить такъ:

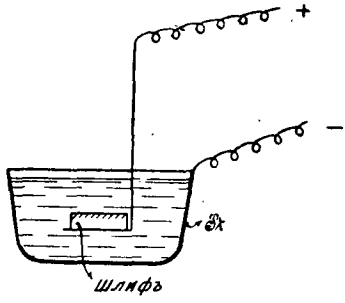
Въ стаканъ *G* (см. фиг. 11) съ растворомъ сѣрной кислоты (1 : 10) помѣщается глиняный, пористый сосудъ съ насыщеннымъ растворомъ мѣднаго купороса и мѣдной лентой *K*. Проба латуни *M* опускается на платиновой проволокѣ въ сѣрную кислоту.

Такимъ образомъ получаютъ элементъ Даніэля, въ которомъ латунная проба играетъ роль цинка.

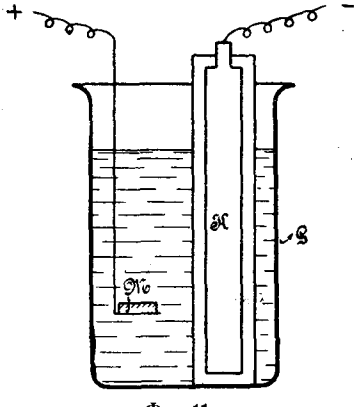
Продолжительность дѣйствія около 1/4 часа. Настоящій методъ примѣнимъ при всѣхъ мѣдно-цинковыхъ сплавахъ съ содержаніемъ цинка менѣе 50%.

---

[1]) Вмѣсто соляной кислоты съ успѣхомъ примѣняютъ водный растворъ сѣрной кислоты.



Фиг. 10.



Фиг. 11.

Травленіе азотной кислотой.

Азотная кислота (уд. вѣсъ 1,18) часто пригодна вмѣсто мѣдно-амміачной соли для травленія бѣднаго углеродомъ литого желѣза. Для богатыхъ углеродомъ сортовъ стали концентрированная азотная кислота менѣе

годится, ибо она слишкомъ неравномѣрно дѣйствуетъ на различныя составляющія сплава.

Для мѣди травленіе азотной кислотой въ большинствѣ случаевъ очень полезно.

Травленіе мѣдно-амміачной солью въ амміачномъ растворѣ.

(*Методъ Heyn'a*).

Пригодно для мѣди и большинства ея сплавовъ.

Къ раствору мѣдно-амміачной соли, приготовленному какъ уже выше было сказано (см. стр. 20), приливаютъ амміаку до тѣхъ поръ, пока выпавшій синій осадокъ снова растворится.

Продолжительность травленія около 1 минуты.

Послѣ травленія шлифъ обмываютъ въ слегка амміачной водѣ, потомъ, какъ всегда, обливаютъ спиртомъ и промакиваютъ мягкимъ полотенцемъ.

Кромѣ вышеприведенныхъ методовъ травленія различными изслѣдователями предложено много другихъ, какъ, напр., тинктурой іода, пикриновой кислотой [1]) и т. д., которые здѣсь не приводятся по недостатку мѣста.

Опредѣленіе склерометрической твердости (*по Martens'y*).

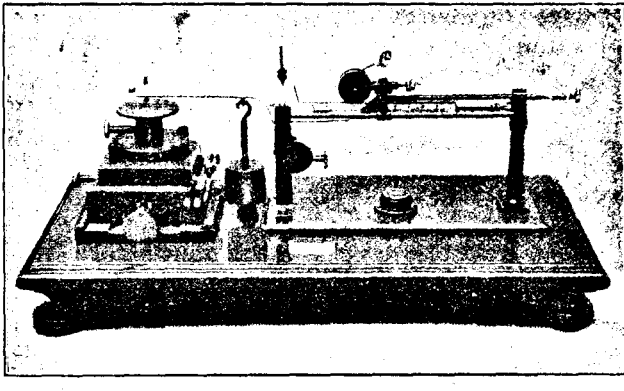
Въ заключеніи вышеописанныхъ пріемовъ для распознаванія и отличія отдѣльныхъ составляющихъ сплава

---

[1]) Прим. переводчика: Отдѣломъ по испытанію и освидѣтельствованію заказовъ М. П. С. рекомендуется при изслѣдованіи микроструктуры рельсовъ для вытравленія пользоваться растворомъ пикриновой кислоты въ обыкновенномъ этиловомъ спиртѣ. Концентрація пикриновой кислоты не должна превосходить 3—4%. Для легко окисляемыхъ (марганцовистыхъ) рельсовъ рекомендуется концентрацію пикриновой кислоты понижать до 1%.

здѣсь будетъ описано испытаніе склерометрической твердости способомъ Martens'a.

Съ помощью спеціальнаго прибора склерометра (см. фиг. 12) въ извѣстныхъ случаяхъ возможно опредѣлить сопротивленіе царапанью отдѣльныхъ составляющихъ сплава и тѣмъ установить ихъ различіе.



Фиг. 12.

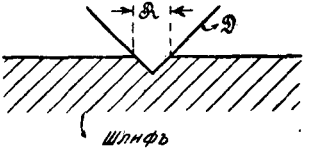
Принципъ таковъ [1]: при опредѣленной нагрузкѣ, которую можно установить переставляемымъ роликомъ L, проводится по испытуемому шлифу черта (царапина) ребромъ алмаза D, грани котораго отшлифованы подъ прямымъ угломъ другъ къ другу.

Смотря по твердости отдѣльныхъ составляющихъ

[1]) Подробное описаніе и объясненіе см.: A. Martens, Untersuchung dreier Härteprüfer (System Martens). Mitteilungen aus den Königlichen technischen Versuchsanstalten. 1890, стр. 215.

сплава, алмазный рѣзецъ проникаетъ болѣе или менѣе глубоко въ матеріалъ. Ширина царапины R (см. фиг. 13) тѣмъ больше, чѣмъ мягче составляющая сплава.

Фотографическій снимокъ 5 (таблица III) представляетъ при увеличеніи въ 242 раза микроструктуру бѣлаго металла (олово, сурьма, мѣдь) съ нанесенной вышеуказаннымъ способомъ царапиной.



Фиг. 13.

Въ темной (богатой оловомъ) основной массѣ царапина значительно шире, чѣмъ въ свѣтломъ (богатомъ сурьмой) кристаллѣ Sb.

Отсюда ясно, что кристаллъ тверже, чѣмъ основная масса.

Изслѣдованіе шлифа.

Общій ходъ изслѣдованія.

Сначала шлифъ разсматривается невооруженнымъ глазомъ.

Во многихъ случаяхъ, напр. при установленіи явленій ликваціи [1]), при соотвѣтствующей предварительной обработкѣ уже разсматриваніе шлифа простымъ глазомъ позволяетъ дѣлать цѣнныя заключенія.

Потомъ, если необходимо, наблюдаютъ шлифъ подъ лупой или подъ микроскопомъ.

Какъ общее правило надо помнить, что всегда начинаютъ съ слабаго увеличенія и только тогда переходятъ къ наблюденію при сильномъ увеличеніи, если первое не позволяетъ сдѣлать искомаго заключенія.

---

[1]) Срав. часть II „Примѣры металлографической практики“.

Это правило приходится особенно подчеркнуть, ибо начинающіе большей частью думаютъ, что лучше работать съ сильнымъ увеличеніемъ, забывая, что они въ такомъ случаѣ разсматриваютъ лишь небольшую часть шлифа.

Грубое мѣстное различіе въ строеніи, которое большею частью имѣетъ огромное значеніе для качества матеріала, ускользаетъ отъ ихъ вниманія.

Изслѣдованіе подъ микроскопомъ.

Микроскопическое изслѣдованіе металловъ и сплавовъ можно производить лишь въ падающемъ свѣтѣ, по причинѣ ихъ незначительной свѣтопроницаемости.

О такъ называемыхъ тонкихъ шлифахъ, какъ это имѣетъ мѣсто въ петрографіи, здѣсь рѣчи быть не можетъ.

Металлическіе шлифы совершенно свѣтонепроницаемы; ихъ освѣщеніе возможно потому, что полированная поверхность играетъ роль зеркала.

Освѣщеніе производится такимъ образомъ:

Освѣщеніе косопадающимъ дневнымъ свѣтомъ [1]).

Шлифъ, какъ показано на фиг. 14, устанавливается подъ угломъ къ оптической оси микроскопа и освѣщается косопадающимъ разсѣяннымъ дневнымъ свѣтомъ.

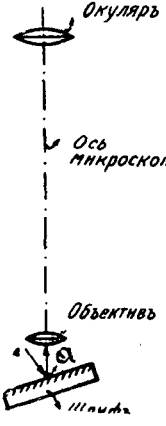
Шлифъ отражаетъ падающій лучъ *e* по направленію оси микроскопа, причемъ только узкая полоска шлифа въ непосредственной близости отъ *A* (см. фиг. 14) видима вполнѣ ясно. Чѣмъ сильнѣе выбрано увеличеніе,

---

[1]) Срав. A. Martens и E. Heyn: Über die Mikrophotographie im auffallenden Licht und über die mikrophotographischen Einrichtungen der Königlichen mechanisch-technischen Versuchsanstalt in Charlottenburg. Mitteilungen aus den Königlichen technischen Versuchsanstalten, 1899, стр. 73.

тѣмъ уже эта полоска. Поэтому понятно, что подобное освѣщеніе не пригодно при большомъ увеличеніи; наоборотъ, при слабыхъ увеличеніяхъ оно очень удобно.

Лучшимъ микроскопомъ при такомъ способѣ освѣщенія является шаровой микроскопъ системы Martens'а (см. фиг. 15).



Фиг. 14.

Шлифъ кладется на столъ T. Столъ покоится на шариковомъ основаніи, что позволяетъ его удобно устанавливать подъ любымъ угломъ къ оптической оси микроскопа.

Штативъ имѣетъ два сферическихъ шарнира K_1 и K_2, которые даютъ возможность ставить микроскопъ въ любое положеніе въ пространствѣ.

Это позволяетъ также разсматривать большіе куски, на которыхъ отшлифована какая-либо поверхность.

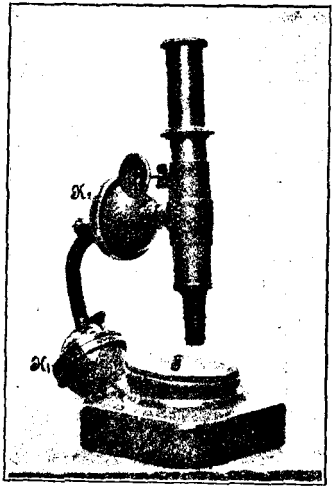
Громадную услугу оказываетъ микроскопъ Martens'а при наблюденіи хода полировки и травленія шлифа, также при отысканіи на большихъ площадяхъ шлаковыхъ включеній и другихъ грубыхъ мѣстныхъ недостатковъ.

Какъ подходящія можно рекомендовать слѣдующія стекла:

объективъ-ахроматъ		aa [1])
„	„	A
„	„	a*
окуляръ Гюйгенса		2
„	„	4

[1]) Настоящія обозначенія относятся къ фабрикатамъ фирмы „Carl Zeiss“ въ Іенѣ. Отдѣленіе въ Россіи: Петербургъ, Казанская улица, домъ № 2.

Для большинства цѣлей достаточно имѣть объективъ А и окуляръ 2.



Фиг. 15.

Освѣщеніе посредствомъ плоскаго стекла.

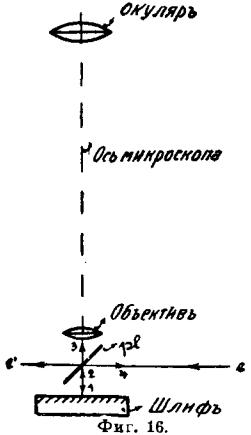
Падающій лучъ свѣта *e* (см. фиг. 16) встрѣчаетъ на своемъ пути плоское стекло *pl*, наклоненное подъ угломъ въ 45⁰ къ оптической оси микроскопа. Часть свѣта проникаетъ черезъ стекло въ направленіи *e'* и для освѣщенія является потерянной; другая часть отражается въ направленіи стрѣлки *1* къ шлифу, который отбрасываетъ свѣтъ обратно на стекло въ направленіи стрѣлки *2*.

Отброшенный пучокъ лучей дѣлится на двѣ части: одна проникаетъ черезъ стекло параллельно оптической

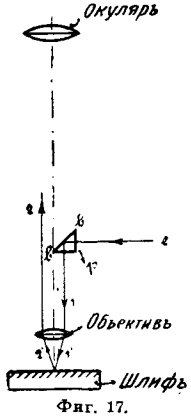
оси микроскопа, другая отражается по направленію стрѣлки *4* и, слѣдовательно, является тоже потерянной.

Вслѣдствіе означенныхъ потерь свѣта, этотъ способъ освѣщенія пригоденъ лишь для слабаго увеличенія.

Такъ какъ плоское стекло *pl* помѣщается между объективомъ и шлифомъ, то необходимо имѣть большое разстояніе отъ предмета до объектива, слѣдовательно послѣдній долженъ быть выбранъ слабаго увеличенія.



Фиг. 16.



Фиг. 17.

Плоское стекло необходимо употреблять возможно тонкое (приблизительно толщиной обыкновеннаго покрывного стекла), ибо иначе изображеніе предмета сильно коверкается.

Освѣщеніе посредствомъ полностью отражающей призмы.

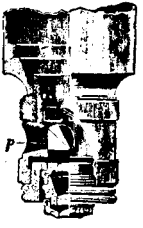
(Вертикальный иллюминаторъ).

Для сильныхъ увеличеній наилучшимъ является освѣщеніе посредствомъ призмы (см. фиг. 17).

Въ тубусѣ микроскопа выше объектива помѣщается полностью отражающая призма *p*, покрывающая предметъ на половину.

Падающій лучъ [1]), достигая поверхности *bb* призмы, цѣликомъ отражается къ объективу въ направленіи *1*. Объективъ отклоняетъ лучи, какъ указано стрѣлкой *1'*. Ходъ лучей, отраженныхъ отъ шлифа, показываютъ стрѣлки *2'* и *2*, причемъ направленіе *2* параллельно оптической оси микроскопа.

Фиг. 18 показываетъ въ разрѣзѣ вертикальный иллюминаторъ съ объективомъ и нижней частью тубуса.



Фиг. 18.

Искусственный свѣтъ.

Источниками искусственнаго свѣта служатъ: вольтова дуга, лампочка Nernst'a, друммондовъ свѣтъ, ртутная лампа и т. д.

Въ дальнѣйшемъ будетъ описано устройство, примѣняемое въ Королевской Испытательной Станціи для искусственнаго освѣщенія предмета. Получается свѣтъ спокойный, не слишкомъ свѣтлый, похожій на дневной.

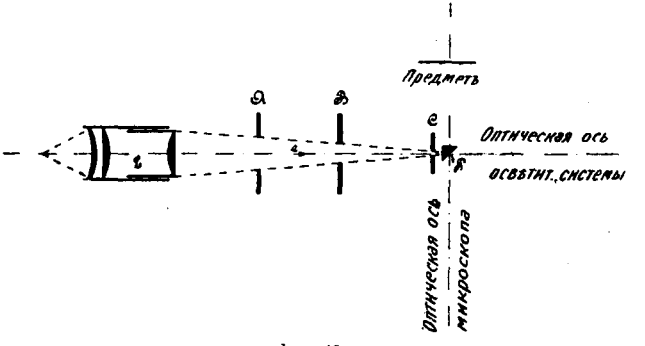
Къ горѣлкѣ Wolz'a для свѣтильнаго газа и кислорода придѣланъ сильно спекшійся штифтъ магнезіи, нагрѣвающійся до бѣлаго каленія.

Падающій на призму лучъ свѣта *e* (см. фиг. 19) ѣтъ раскаленнаго штифта *F* проходитъ черезъ систему линзъ освѣтительнаго прибора, двѣ діафрагмы-ирисъ *A* и *B* и въ случаѣ надобности еще черезъ матовый дискъ *C*.

---

[1]) Дневной свѣтъ не пригоденъ. Необходимо искусственое освѣщеніе, какъ описано ниже.

При пользованіи вольтовой дугой получается такъ много свѣта, что для его ослабленія ставятъ между источникомъ свѣта и вертикальнымъ иллюминаторомъ стеклянные сосуды, наполненные жидкостью, напр., воднымъ растворомъ двухромокислаго калія.



Фиг. 19.

Микроскопный штативъ системы Martens'a.

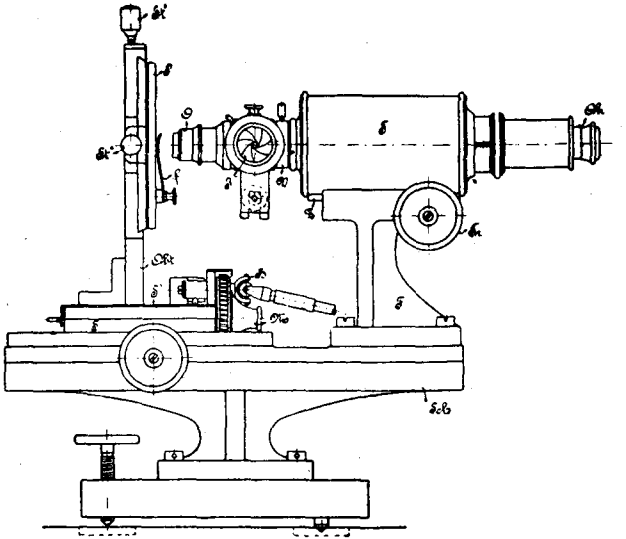
(*Строится Zeiss'омъ въ Іенѣ*).

При работахъ въ падающемъ свѣтѣ, въ особенности при пользованіи вертикальнымъ иллюминаторомъ, лучше всего употреблять штативъ, который отъ обыкновеннаго отличается тѣмъ, что установка на фокусъ дѣлается не движеніемъ тубуса, а перемѣщеніемъ предметнаго столика. Причиной этого является установка на постоянномъ мѣстѣ источника свѣта. Въ самомъ дѣлѣ, если желаютъ переставить тубусъ и вмѣстѣ съ нимъ иллюминаторъ, то необходимо также передвигать источникъ свѣта, что сопряжено съ различными неудобствами.

При металлографическихъ работахъ оказался особенно

пригоднымъ штативъ системы Martens'a, описаніе котораго приводится ниже [1]).

Фиг. 20 представляетъ рисунокъ микроскопнаго штатива.



Фиг. 20.

Между объективомъ *O* и тубусомъ *T* помѣщается діафрагма-ирисъ *J* и вертикальный иллюминаторъ *V*. *Ok* — окуляръ.

---

[1]) Болѣе подробное описаніе найдетъ читатель въ работѣ A. Martens'a и Heyn'a: „Über die Mikrophotographie im auffallenden Licht und über die mikroskopischen Einrichtungen der Königlichen mechanisch-technischen Versuchsanstalt in Charlottenburg. Mitteillungen aus den Königlichen technischen Versuchsanstalten zu Berlin, 1899, выпускъ 3.

Тубусъ *T* посредствомъ зубчатой рейки *Z* и винта *Tr* можетъ горизонтально перемѣщаться на подставкѣ *F*.

F покоится на одномъ концѣ шины *Sch*. На другомъ концѣ находятся перемѣщаемыя посредствомъ зубчатой передачи салазки *S*. Онѣ несутъ на себѣ направляющія для другихъ маленькихъ салазокъ *S'*, передвигаемыхъ микрометрическимъ винтомъ *M*.

На микрометрическомъ винтѣ находится вѣнецъ косонарѣзанныхъ зубьевъ, захватывающихъ приводъ. Послѣднимъ можно управлять со стороны матоваго стекла камеры посредствомъ ключа Hook'а, снабженнаго снимаемой деревянной штангой.

Къ салазкамъ *S'* придѣланъ предметный столикъ *Obt*. Доска *P*, къ которой прижимается пластинками *ff* изслѣдуемый шлифъ, двумя установочными винтами *St'*, *St''* передвигается въ горизонтальномъ и вертикальномъ направленіяхъ.

Необходимое требованіе для достиженія яснаго изображенія — перпендикулярное положеніе плоскости шлифа къ оси микроскопа.

Такъ какъ это условіе, при невозможности переставлять предметный столикъ въ любое положеніе, не всегда достижимо, ибо плоскости шлифа не всегда параллельны, фирма Carl Zeiss доставляетъ еще второй подвижный предметный столикъ *Obt'*, который прикрѣпляется къ столику *Obt*.

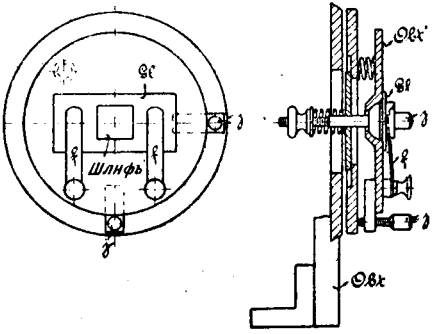
Какъ видно изъ фигуры 21, столикъ *Obt'* снабженъ винтами *jj*, которые позволяютъ его такъ устанавливать, чтобъ плоскость шлифа, укрѣпленнаго на немъ при помощи пластинъ *ff*, была перпендикулярна оптической оси микроскопа.

Дабы избѣжать царапанья полированной поверхности пластинами *ff*, шлифъ приклеиваютъ смѣсью канифоли

и воска (1 : 3) къ стеклу *Gl*, которое и удерживаютъ пластины.

Фиг. 22 представляетъ общій видъ [1]) микроскопа, освѣтительнаго устройства и камеры, какъ это имѣетъ мѣсто въ Королевской Испытательной Станціи.

Для цѣлей фотографированія, если необходимо, окуляръ



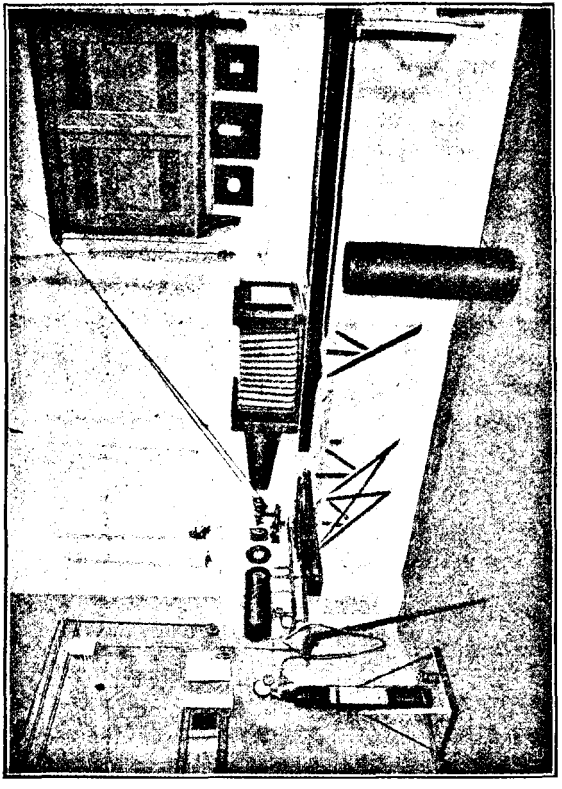
Фиг. 21.

замѣняется проэкціоннымъ окуляромъ, камера съ матовымъ стекломъ раздвигается и матовое стекло устанавливаютъ на фокусъ изображенія.

Кромѣ вышеописаннаго штатива Martens'a, среди разнообразныхъ штативовъ и микроскоповъ, употребляемыхъ для металлографическихъ работъ, лучшимъ является микроскопъ Le Chatelier (строитъ фирма Ph. Pellin въ Парижѣ).

---

[1]) Фотографія представляетъ и историческій интересъ — ибо это снимокъ перваго микроскопа описаннаго типа.



Фиг. 22.

Объективы и окуляры.

Ниже будетъ приведенъ наборъ оптическихъ стеколъ вполнѣ достаточный для работъ по металлографіи

1. Микропланаръ [1]) 70 для слабаго увеличенія и фотографированія въ разсѣянномъ дневномъ свѣтѣ.

2. Объективъ 35 или микропланаръ 35 для пользованія съ призмой или плоскимъ стекломъ.

Со стеклами 1 и 2 работаютъ безъ проэкціоннаго окуляра. Для разсматриванія или для выбора опредѣленнаго мѣста для фотографированія можно пользоваться объективомъ 35 (микропланаромъ 35) вмѣстѣ съ окуляромъ-искателемъ (см. подъ лит. 6), или какимъ-либо компенсаціоннымъ окуляромъ (см. подъ лит. 8).

3. Апохроматъ 16.

4. Апохроматъ 4, короткой конструкціи; 16 и 4 для употребленія безъ покрывного стекла. Освѣщеніе вертикальнымъ иллюминаторомъ.

5. Апохроматъ 2 (числовая апертура 1,3 или 1,4) для масляной иммерсіи. Употребляется съ покрывнымъ стекломъ и вертикальнымъ иллюминаторомъ.

6. Окуляръ-искатель.

7. Проэкціонные окуляры P_2 и P_4.

8. Компенсаціонные окуляры 4 и 12.

Примѣненіе покрывного стекла при апохроматѣ 2 необходимо, ибо иначе шлифъ испортится иммерсіонной жидкостью. При этомъ поступаютъ такъ: покрывное стеклышко (около 0,15 мм. толщ.) смачивается нѣсколькими каплями канадскаго бальзама и слегка прижимается къ полированной поверхности [2]), причемъ нѣтъ необходимости снимать шлифъ съ его точно установленнаго положенія на предметномъ столикѣ.

Послѣ этого, не дожидаясь высыханія бальзама, между

---

[1]) Всѣ обозначенія относятся къ каталогу фирмы „Carl Zeiss“.

[2]) Если канадскій бальзамъ сгустѣлъ, его можно разбавить нѣсколькими каплями ксилоля.

объективомъ и покрытымъ стекломъ шлифомъ помѣщаютъ каплю кедроваго масла, такъ чтобы объективъ былъ погруженъ въ него.

Наибольшее линейное увеличеніе, котораго можно достигнуть съ вышеназваннымъ наборомъ оптическихъ стеколъ, равняется 3000. Практически же не пользуются болѣе 2000-мъ увеличеніемъ.

Вообще увеличеніе при фотографированіи имѣетъ постолько смыслъ, посколько оно необходимо для яснаго изображенія деталей. Пользоваться чрезмѣрнымъ увеличеніемъ нѣтъ смысла.

Также всегда рекомендуется достигать болѣе сильнаго увеличенія не благодаря большому разстоянію матоваго стекла отъ окуляра, или посредствомъ сильнаго проэкціоннаго окуляра, а примѣненіемъ болѣе сильной объективной системы, ибо иначе, по причинѣ слабости свѣта, точная установка на фокусъ затруднительна и кромѣ того сильно сглаживаются контрасты между темнымъ и свѣтлымъ [1]).

Передъ фотографированіемъ устанавливаютъ линейное увеличеніе, которое получается примѣняемой системой стеколъ.

Съ этой цѣлью на мѣсто шлифа на предметномъ столикѣ кладется предметный микрометръ [2]). Онъ состоитъ изъ тонкой стеклянной пластинки, на которой 1 мм. раздѣленъ на 100 частей.

Изображеніе микрометра отбрасывается на матовое стекло, гдѣ разстояніе между отдѣльными черточками измѣряется миллиметровымъ масштабомъ.

Такимъ образомъ находятъ увеличеніе различныхъ

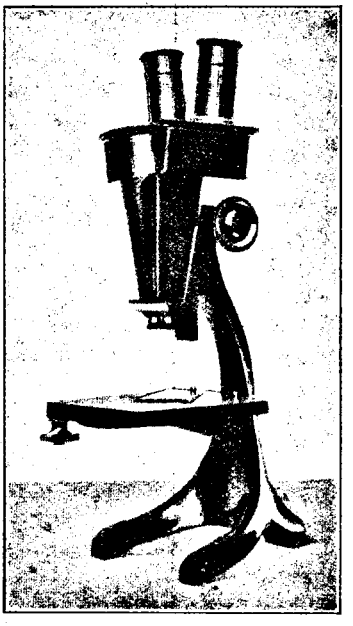
---

[1]) Для точнаго наведенія матоваго стекла на фокусъ удобно примѣнять установочную лупу Zeiss'a.

[2]) Предметный микрометръ доставляется Zeiss'омъ.

употребляемыхъ стеколъ съ примѣненными къ нимъ проэкціонными окулярами.

Такъ какъ было бы слишкомъ кропотливо устанавливать вышеуказаннымъ способомъ передъ каждымъ фотографированіемъ размѣръ увеличенія, то составляютъ разъ навсегда таблицу увеличеній различныхъ стеколъ при различныхъ положеніяхъ камеры.



Фиг. 23.

Бинокулярный микроскопъ для стереоскопическаго разсматриванія.

Для многихъ цѣлей, а именно: для изслѣдованія при слабомъ увеличеніи явленій излома, грубыхъ недостатковъ въ матеріалѣ (какъ, напр., явленій ликваціи, включеній шлака, мѣстъ сварки), для установленія различія въ высотахъ (рельефа) и т. д. оказываетъ большую услугу бинокулярный микроскопъ Greenough'а (см. фиг. 23) [1]).

---

[1]) Дѣлаетъ Zeiss въ Іенѣ.

Для большинства цѣлей достаточны:
Парный объективъ a_2.
Окуляръ 2.

Фотографированіе микроскопнаго изображенія.

Пластинки.

Очень хорошія пластинки — Люмьера (лиловый этикетъ) [1]). Форматъ 9 × 12 для большинства цѣлей достаточенъ.

Время выдержки.

Время выдержки необходимо сообразовать съ яркостью освѣщенія и тонами картины.

Оно колеблется при вышеописанномъ способѣ освѣщенія предмета (штифтъ магнезіи, свѣтильный газъ и кислородъ) между нѣсколькими секундами при слабомъ увеличеніи и 3—4 минутами при масляной иммерсіи.

При другихъ источникахъ свѣта (напр., вольтова дуга) необходимо соотвѣтственно большей яркости меньшее время.

При примѣненіи микропланаровъ продолжительность выдержки незначительна, ибо эти стекла большой свѣтосилы. Апохроматъ 16 и апохроматъ 4 съ проэкціоннымъ окуляромъ 2 требуютъ при прочихъ равныхъ условіяхъ приблизительно одинаковаго времени выдержки.

Для апохромата 2 необходимо приблизительно въ 2,5—3 раза большее время.

---

[1]) Прим. перев. Означенныя пластинки примѣняются въ лабораторіяхъ Южно-Русскихъ заводовъ. Рекомендованныя авторами пластинки Perutz'а (Мюнхенъ) въ Россіи мало употребительны.

Проявленіе снимка.

Предполагается, что общая техника фотографированія уже знакома.

Какого-либо ретушированія, мѣстнаго усиленія или ослабленія негатива, само собой разумѣется, надо избѣгать. Подобныя изображенія теряютъ всякое научное значеніе.

Изъ большого числа хорошихъ проявителей [1]) здѣсь будутъ приведены только два, которые уже много лѣтъ примѣняются на Королевской Испытательной Станціи:

а) Эйконогенъ-гидрохиноновый проявитель.

Онъ состоитъ изъ двухъ растворовъ:

Растворъ I

900 гр. дистиллированной воды,
100 гр. сѣрнистокислаго натрія (Na_2SO_3),
16 гр. эйконогена,
4 гр. гидрохинона.

Растворъ II

200 гр. дистиллированной воды,
40 гр. поташа (K_2CO_3).

Для употребленія смѣшиваютъ 90 куб. сант. перваго раствора съ 20 куб. сант. второго и прибавляютъ 7 капель желтаго синькали (1 : 10) и 3 капли раствора (1 : 10) бромистаго калія.

Свѣжій проявитель большею частью слишкомъ крѣпокъ, поэтому разбавляютъ его на $^1/_4$—$^1/_3$ бывшимъ уже въ употребленіи.

---

[1]) Сравн.: „Rezepte und Tabellen für Photographie und Reproduktionstechnik“ Dr. Josef Maria Eder.

b) Глициновый проявитель:

600 куб. сант. дистиллированной воды,
40 гр. сѣрнистокислаго натрія (Na_2SO_3),
10 гр. глицина,
200 куб. сант. раствора поташа (1 : 5).

Готовый къ употребленію проявитель надо сохранять въ хорошо закупориваемой стеклянной бутыли.

При незначительной передержкѣ, или при слишкомъ большой жарѣ лѣтомъ достаточно нѣсколько капель раствора бромистаго калія, чтобы исправить снимокъ.

Продолжительность проявленія колеблется отъ 5 до 10 минутъ.

Фиксированіе.

Послѣ проявленія негативъ сначала тщательно обмывается водой, потомъ кладется въ ванночку съ фиксажемъ, гдѣ находится отъ 10 до 12 минутъ, пока на обратной сторонѣ пластинки не будетъ замѣтно ни одного молочнаго пятна.

Рекомендуется слѣдующій фиксажъ:

Смѣшиваютъ 1 литръ раствора (1 : 4) сѣрноватистокислаго натрія (въ продажѣ гипосульфитъ) съ 50—100 куб. сант. концентрированнаго кислаго раствора сѣрнистокислаго натрія.

Послѣ фиксированія пластинку обмываютъ водой и держатъ 1—2 часа въ проточной водѣ, послѣ чего сушатъ ее на воздухѣ.

Полученіе позитива.

Существуютъ много сортовъ свѣточувствительныхъ бумагъ. Въ Королевской Испытательной Станціи примѣ-

няется целлоидиновая, которая принадлежитъ къ глянцевымъ бумагамъ.

Печатаніе всегда производится до болѣе темныхъ тоновъ, чѣмъ тѣ, которые долженъ имѣть уже готовый снимокъ, ибо при послѣдующей операціи они ослабѣваютъ.

Послѣ нѣкотораго упражненія удается достигнуть правильнаго тона.

Вирированіе и фиксированіе, ради простоты, производится одновременно.

Для целлоидиновой бумаги пригоденъ слѣдующій виражъ-фиксажъ:

2000 гр. дистиллированной воды,
500 гр. сѣрноватистокислаго натрія,
55 гр. роданистаго аммонія,
15 гр. квасцовъ,
15 гр. лимонной кислоты,
20 гр. азотнокислаго свинца,
20 гр. уксуснокислаго свинца,
1 гр. хлористаго золота.

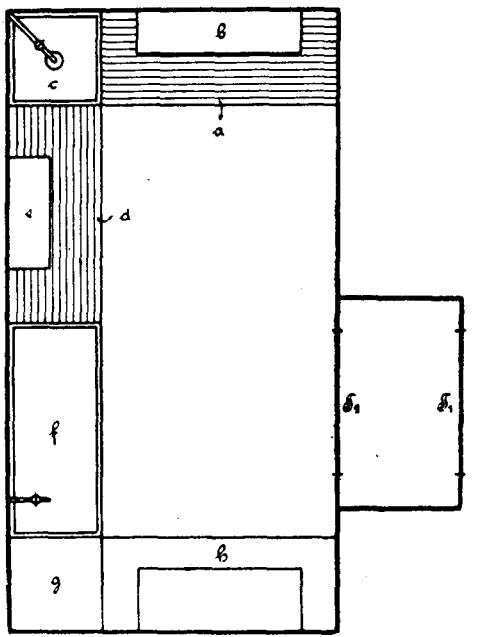
Сначала растворяютъ каждую соль въ отдѣльности въ части воды, а потомъ всѣ растворы смѣшиваютъ вмѣстѣ въ томъ порядкѣ, какъ они выше приведены.

Снимокъ находится въ ванночкѣ отъ 10 до 12 минутъ, причемъ послѣднюю необходимо все время колебать. Промываніе совершается въ проточной водѣ и продолжается отъ 1 до 2 часовъ.

Дабы избѣжать преждевременнаго исчезновенія золота, прибавляютъ всегда къ старому виражъ-фиксажу нѣкоторое количество новаго.

Темная комната.

При устройствѣ темной комнаты въ большинствѣ случаевъ приходится считаться съ существующими уже помѣщеніями.



Фиг. 24.

Основное правило слѣдующее:

„Только то должно быть, что безусловно необходимо“.

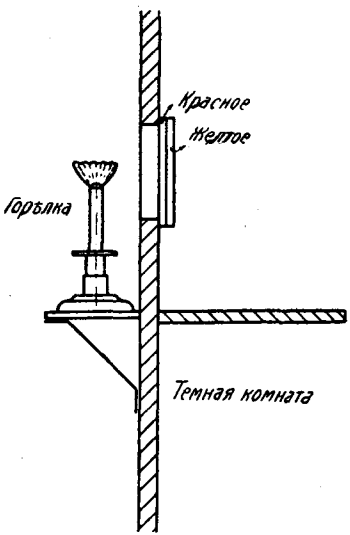
Если мѣсто достаточно, то указанныя на фиг. 24 приспособленія удовлетворяютъ всѣмъ цѣлямъ.

a = столъ для проявленія,
b = стѣнная доска для проявителей,
c = обмываніе душемъ,
d = столъ для фиксированія,
e = стѣнная доска для фиксажа,
f = бассейнъ для обмыванія пластинокъ,
g = столъ съ подставками для сушки пластинокъ,
h = столъ для складыванія пластинокъ,
i = шкафъ для храненія пластинокъ и реактивовъ.

Столы для проявленія a и для фиксированія d обложены свинцомъ, сверху котораго лежитъ деревянная рѣшетка. Оба стола имѣютъ слабый наклонъ къ бассейну c.

Дабы избѣжать перепутыванія въ темной комнатѣ реактивовъ, у каждаго стола находятся только тѣ реактивы, которые на немъ употребляются.

Такъ какъ желательно имѣть возможность во время работы выходить изъ комнаты, то устроены двѣ двери T_1 и T_2.



Фиг. 25.

Необходимо заботиться о хорошей вентиляціи комнаты.

Если имѣется электрическое освѣщеніе, то это создаетъ нѣкоторыя преимущества. Безцвѣтная стеклянная

груша замѣняется красной, имѣющейся также въ продажѣ. Передъ употребленіемъ купленной краснаго стекла лампочки необходимо убѣдиться въ ея неактиничности.

Кромѣ краснаго освѣщенія въ комнатѣ для ея уборки и т. п. долженъ быть также бѣлый свѣтъ.

Если электрическаго освѣщенія нѣтъ, то можно также обходиться газовымъ, свѣчнымъ, керосиновымъ.

Въ случаѣ газоваго освѣщенія лучше горѣлку помѣщать внѣ комнаты, какъ это указано на фиг. 25.

Черезъ окошко съ краснымъ и желтымъ стеклами свѣтъ проникаетъ въ темную комнату.

Вирированіе и промываніе снимка нѣтъ необходимости производить въ темной комнатѣ; при недостаткѣ въ ней мѣста можно также зафиксированныя пластинки промывать при дневномъ свѣтѣ.

Приборы для измѣренія температуры.

Такъ какъ состояніе металла и сплава есть прежде всего функція температуры [1]), то необходимы безошибочные и точные приборы для ея измѣренія.

Здѣсь будутъ названы нѣкоторые изъ употребляемыхъ.

Ртутный термометръ.

Для температуръ до 400° С вполнѣ пригоденъ ртутный термометръ изъ іенскаго стекла.

Ртутный термометръ всегда такъ вывѣренъ, что онъ тогда только непосредственно показываетъ правильную

---

[1]) Переходъ изъ жидкаго состоянія въ твердое и обратно (температуры затвердѣванія и плавленія), превращенія въ твердомъ состояніи (критическія точки), явленія перегрѣва и т. д. Все это будетъ подробно разобрано во второй части.

температуру, когда вся ртуть находится при измѣряемой температурѣ.

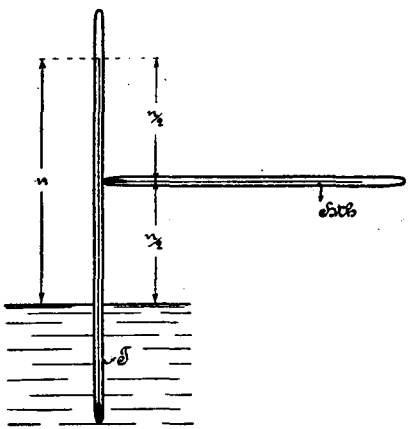
Вообще это условіе часто невыполнимо: обыкновенно только часть ртути принимаетъ измѣряемую температуру, другая же часть (нить въ трубкѣ) находится при низшей.

Въ такихъ случаяхъ термометръ непосредственно не даетъ правильнаго показанія — въ него надо внести поправку [1]).

Если непосредственное показаніе термометра изъ іенскаго стекла XVIII — T^0, то необходимо еще прибавить

$$+\frac{n}{6300}(T-t),$$

гдѣ n — длина выступающей нити въ градусахъ (см. фиг. 26), t — средняя ея температура, опредѣляемая вспомогательнымъ термометромъ Hth, ртутный шарикъ котораго касается середины нити и защищенъ отъ непосредственнаго вліянія тепловыхъ лучей.



Фиг. 26.

Отъ времени до времени необходимо убѣждаться въ правильности показаній термометра, ибо ртутные термо-

---

[1]) Landolt-Börnstein, Physikalisch-chemische Tabellen. Julius Springer 1905, стр. 195.

метры для высокихъ температуръ послѣ долгаго употребленія портятся.

Для этого проще всего сравнить его съ нормальнымъ термометромъ, провѣреннымъ въ Палатѣ Мѣръ и Вѣсовъ.

Нормальный термометръ служитъ исключительно цѣлямъ провѣрки и самъ отъ времени до времени испытывается Палатой Мѣръ и Вѣсовъ.

Термоэлементы.

Если двѣ проволоки *A* и *B* (см. фиг. 27) спаять и мѣсто спая *T* нагрѣть, то возникнетъ электрическій токъ.

Напряженіе тока растетъ съ температурой.

Соединяя оба свободныхъ конца *tt* проволоки *A* и *B* посредствомъ мѣдной проволоки *Cu* съ полюсами чувствительнаго гальванометра съ большимъ сопротивленіемъ, получается возможность приблизительно измѣрить силу порождаемаго тока.

Обѣ спаянныя проволоки *A* и *B* называютъ термоэлементомъ. Мѣсто спая *T* — горячимъ спаемъ; соединяемыя мѣста *tt* — холодными мѣстами спая.

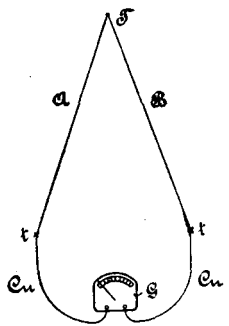
Такъ какъ въ одномъ и томъ же термоэлементѣ электровозбудительная сила зависитъ исключительно отъ разницы въ температурахъ $T - t$, то можно на гальванометрѣ, кромѣ дѣленій на милливольты, также нанести шкалу, которая позволитъ читать температуру $T - t$ непосредственно въ градусахъ. Означенная шкала наносится на гальванометрѣ въ предположеніи, что холодныя мѣста спая *tt* имѣютъ температуру $= 0^0$ [1]).

---

[1]) Фирма Siemens & Halske доставляетъ такіе гальванометры съ двойными дѣленіями для милливольтъ и температуры въ градусахъ Цельсія.

Однако, для точныхъ измѣреній необходимо обратить вниманіе на слѣдующее:

Гальванометръ G показываетъ силу тока, которая растетъ пропорціонально напряженію, если, благодаря большому сопротивленію гальванометра, не принимать во вниманіе сопротивленія въ остальныхъ частяхъ цѣпи. Въ дѣйствительности это не всегда такъ. Сопротивленіе цѣпи мѣняется сообразно съ длиной проводниковъ, а также зависитъ отъ паденія температуры, которое имѣетъ мѣсто отъ T до t. Такимъ образомъ, „глубина погруженія" термоэлемента можетъ оказать на его показанія большое вліяніе.



Фиг. 27.

Эти мѣшающія вліянія можно полностью исключить, если, вмѣсто непосредственнаго измѣренія термосилы Ex, включить противоположно ей другую извѣстную регулируемую электровозбудительную силу E_1 (аккумуляторъ и т. п.) и такъ ее регулировать, чтобы сила тока въ цѣпи была равна 0. Тогда искомая электровозбудительная сила Ex равна извѣстной E_1.

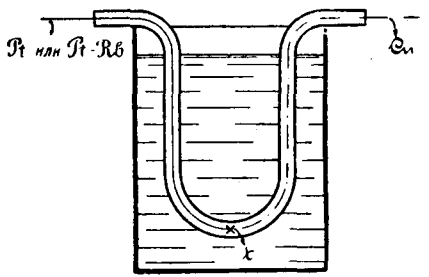
Такъ какъ подобное опредѣленіе для большинства металлографическихъ цѣлей не удобно, то обыкновенно измѣряютъ температуру приблизительно гальванометромъ, какъ указано на фиг. 27.

При благопріятныхъ условіяхъ (незначительное погруженіе, короткіе проводники и т. д.) получается небольшая ошибка.

Для низкихъ температуръ (-200^0 C до $+600^0$ C) примѣняютъ термоэлементъ съ большой электровозбуди-

тельной силой. Одна проволока мѣдная (или желѣзная), другая изъ сплава константанъ (50% мѣди и 50% никеля). Для измѣреній между + 200° C и + 1600° C служитъ термоэлементъ Le Chatelier, одна проволока котораго состоитъ изъ чистой платины, другая — изъ сплава 90% платины съ 10% родія.

Для температуръ до 2000° C пригоденъ термоэлементъ Heraeus'а въ Ганау; онъ состоитъ изъ иридіевой и иридіево-рутеніевой проволокъ (90% иридія и 10% рутенія).



Фиг. 28.

Для большинства металлографическихъ работъ вполнѣ достаточенъ термоэлементъ Le Chatelier. Онъ можетъ быть выписанъ отъ Heraeus'а въ Ганау готовымъ уже къ употребленію со свидѣтельствомъ физико-технической казенной повѣрочной палаты въ Шарлоттенбургѣ.

Какъ уже выше было замѣчено, дѣленія на гальванометрѣ нанесены въ предположеніи, что холодныя мѣста спая имѣютъ 0°.

Дабы выполнить это условіе, холодныя мѣста спая проволокъ помѣщаютъ внутри U-образной стеклянной трубки, которую опускаютъ въ сосудъ съ водой и мелко раздробленнымъ льдомъ (см. фиг. 28).

Въ случаѣ если температура холодныхъ мѣстъ спая не равна 0^0, въ показанія гальванометра должна быть внесена поправка.

Для термоэлемента Le Chatelier поправку можно найти, пользуясь таблицей I [1]).

Къ непосредственному температурному показанію гальванометра прибавляютъ произведеніе t — температуры холоднаго спая на коэффиціентъ ρ.

Таблица I.

Поправка для термоэлемента Le Chatelier.

Температура, показанная гальванометромъ	ρ
0	1
100	0,89
200	0,76
300	0,65
400	0,59
500	0,56
600	0,54
700	0,52
800	0,51
900	0,50
1000	0,49

Для термопары мѣдь-константанъ поправка проще: къ показаніямъ гальванометра прибавляютъ температуру t холоднаго спая.

[1]) Vogel, Zeitschr. für anorg. Chemie 1905, 45, 13.

Термоэлементы при умѣломъ обращеніи могутъ служить долгое время; но при металлографическихъ работахъ не всегда возможно ихъ защитить отъ вредныхъ вліяній (пары металловъ, газы и т. д.), почему отъ времени до времени провѣряютъ показанія термоэлементовъ.

Проще всего производить провѣрку, опредѣляя испытуемымъ термоэлементомъ уже извѣстныя температуры затвердѣванія нѣкоторыхъ металловъ или сплавовъ, какъ напримѣръ:

Таблица II.

	Температуры затвердѣванія
Свинецъ	327 °[1]
Цинкъ	419 °[1]
Сурьма	631 °[1]
Серебро	961,5°[1]
Мѣдь, расплавленная съ доступомъ воздуха	1065 °[1][2]
Никель	1451 °[3]

Температуры плавленія и затвердѣванія.

При переходѣ кристаллическаго тѣла въ жидкое состояніе необходима затрата нѣкотораго количества теплоты (теплота плавленія); обратно — эта теплота выдѣляется при переходѣ изъ жидкаго въ твердое кристаллическое состояніе (теплота кристаллизаціи).

Вообще температуры какъ кристаллизаціи, такъ и плавленія для одного и того же вещества одинаковы.

---

[1]) Holborn und Day, Drudes Ann. 2 (1900).

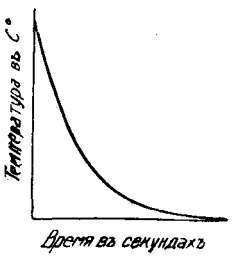
[2]) Сравн. также E. Heyn: „Kupfer und Sauerstoff“ Z. f. anorg. Chemie, 1904, выпускъ 39.

[3]) Ruer, Z. f. anorg. Chemie, 1906, 51, 225.

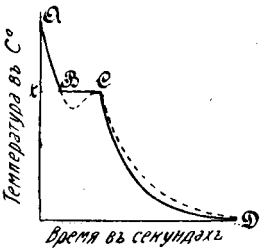
Это поглощеніе теплоты при плавленіи и выдѣленіе ея при затвердѣваніи (кристаллизаціи) даетъ возможность легко найти температуры плавленія или затвердѣванія кристаллическаго тѣла.

Такъ какъ въ большинствѣ случаевъ легче опредѣлить температуру затвердѣванія, то здѣсь мы только ею и будемъ заниматься.

Сначала коротко опишемъ ходъ охлажденія съ произвольной температуры t какого-либо тѣла, предполагая, что оно во все время охлажденія не претерпѣваетъ какого-либо превращенія. Напр., кусокъ платины, нагрѣтый



Фиг. 29.



Фиг. 30.

до температуры ниже точки плавленія (примѣрно до 1000^0). Вначалѣ, когда температура куска очень велика, необходимъ лишь короткій промежутокъ времени z, чтобы кусокъ охладился на опредѣленное количество градусовъ (напр., на 10^0 C). Съ пониженіемъ температуры означенный промежутокъ времени растетъ.

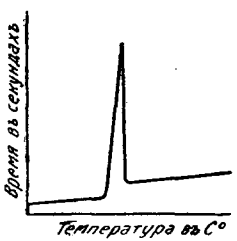
Нанося на ось абсциссъ прямоугольныхъ координатъ время z и на ось ординатъ температуру t, получимъ кривую, изображенную на фиг. 29.

Нѣсколько иначе протекаетъ процессъ охлажденія, если тѣло нагрѣто выше точки плавленія, то-есть передъ

началомъ охлажденія будетъ въ жидкомъ состояніи [1]). Первое время и въ данномъ случаѣ процессъ охлажденія протекаетъ подобно тому, какъ выше было описано (*AB* на фиг. 30), но какъ только начнется кристаллизація (затвердѣваніе), вся масса (кристаллы и жидкость) вслѣдствіе выдѣленія теплоты остается нѣкоторое опредѣленное время *BC* (фиг. 30), пока все вещество не затвердѣетъ, при постоянной температурѣ *t'*, затѣмъ охлажденіе идетъ далѣе (*CD* на фиг. 30).

BC при температурѣ *t'* принимаетъ большее или меньшее значеніе въ зависимости отъ теплоты кристаллизаціи и количества взятаго для опыта вещества.

Какъ видно изъ фиг. 30, кривая охлажденія при температурѣ *t'* (температура затвердѣванія) имѣетъ изгибъ, который бываетъ болѣе или менѣе ясно выраженъ. Въ теченіи времени *BC* идетъ затвердѣваніе [2]).



Фиг. 31.

Можно также процессъ охлажденія представить графически, нанося на ось абсциссъ температуру, а на ось ординатъ время въ секундахъ, которое необходимо, чтобы охладилось вещество на опредѣленное количество градусовъ (напр., 10^0 С).

Кривая охлажденія получаетъ видъ, изображенный на фиг. 31; при температурѣ затвердѣванія кривая дѣлаетъ скачекъ кверху.

---

[1]) Ради простоты предположимъ, что въ данномъ случаѣ имѣемъ дѣло съ простымъ тѣломъ, а не сплавомъ. Процессъ охлажденія сплавовъ будетъ разобранъ во второй части.

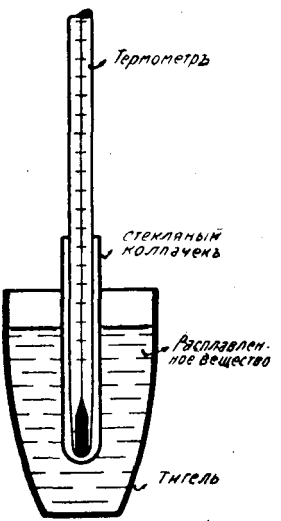
[2]) Относительно значенія пунктирной линіи см. часть II.

Опредѣленіе температуры затвердѣванія.

При температурахъ затвердѣванія металловъ и сплавовъ не выше 400° С производство опыта сравнительно просто.

Для измѣренія температуръ въ такомъ случаѣ можно пользоваться ртутнымъ термометромъ изъ іенскаго стекла.

Термометръ опускаютъ или непосредственно въ расплавленное вещество, или защищаютъ его колпачкомъ изъ трудно плавкаго стекла. (см. фиг. 32).



Фиг. 32.

Этотъ колпачекъ необходимъ въ случаѣ, когда металлъ или сплавъ расширяется при затвердѣваніи, ибо иначе термометръ будетъ раздавленъ.

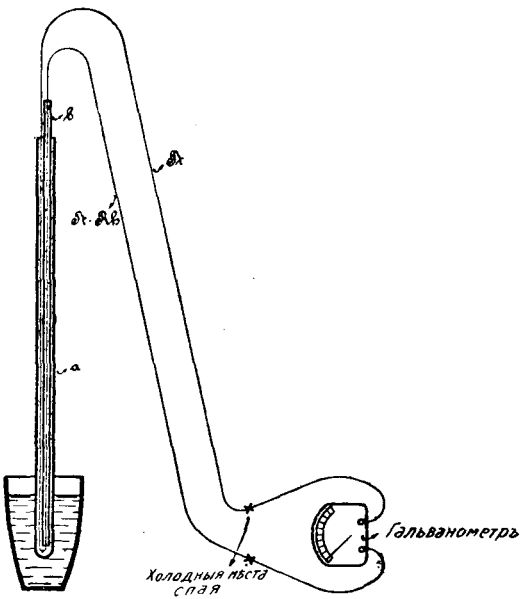
При затвердѣваніи вещества, колпачекъ остается въ немъ и раздавливается, а термометръ можно свободно вынуть.

Металлъ въ тиглѣ расплавляется или нагрѣваніемъ посредствомъ горѣлки Бунзена, или въ печи, пригодной для металлографическихъ цѣлей.

Когда температура вещества будетъ выше на 30—50° точки плавленія, притокъ теплоты прекращаютъ и тиглю даютъ медленно охлаждаться.

Наблюдатель съ часами въ рукахъ слѣдитъ за термометромъ и записываетъ время z (въ секундахъ), которое

необходимо, дабы вещество охладилось на опредѣленное число градусовъ. Способъ графическаго изображенія процесса охлажденія былъ разъясненъ на стр. 55.

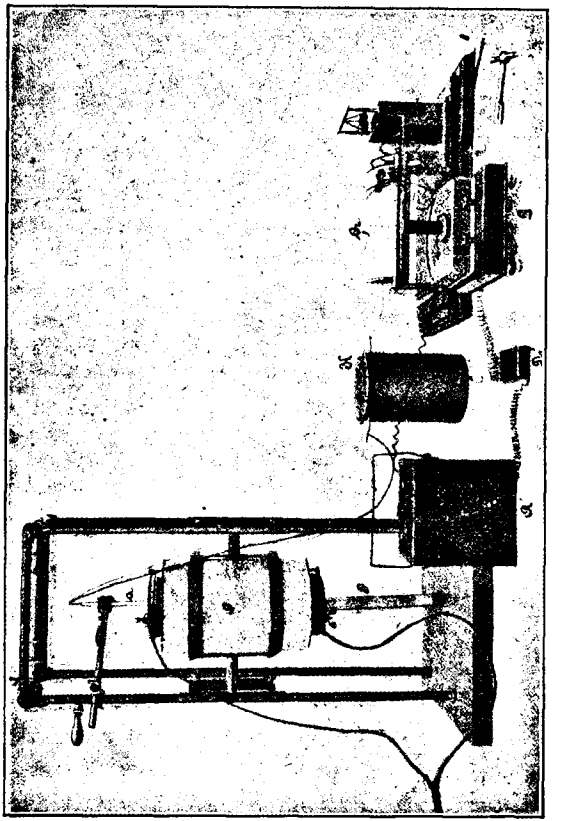


Фиг. 33.

Для производства подобнаго наблюденія за температурой и временемъ необходимо извѣстное упражненіе.

Работу можно значительно облегчить, примѣняя хронографъ.

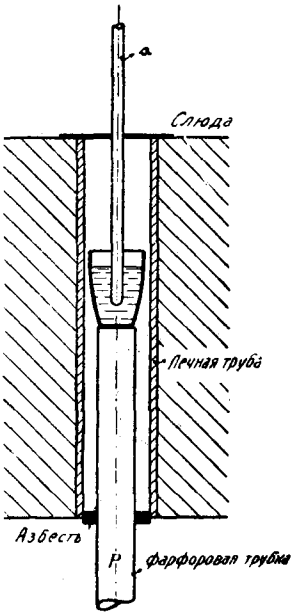
Подробно этотъ аппаратъ будетъ описанъ въ слѣдующей главѣ.



Фиг. 84.

Для опредѣленія температуръ затвердѣванія высокоплавкихъ металловъ и сплавовъ необходимо примѣнять термоэлементы. Нагрѣваніе тигля съ веществомъ цѣлесообразно всегда производить въ печи.

Чтобы имѣть правильныя показанія, мѣсто спая *T* термоэлемента опускаютъ въ расплавленный металлъ или сплавъ, помѣщая предварительно проволоки термоэлемента въ предохранительный фарфоровый колпачекъ *a* (см. фиг. 33). Кромѣ того одна проволока *Pt Rh* для изоляціи отъ другой находится внутри фарфоровой трубочки *b*.



Фиг. 35.

Въ остальномъ опредѣленіе происходитъ такъ, какъ и съ ртутнымъ термометромъ, только наблюдатель отсчитываетъ температуру по гальванометру, а не по термометру.

Дабы избѣжать окисленія, часто полезно расплавляемое вещество посыпать древесно-угольнымъ порошкомъ.

Помѣшиваніе содержимаго тигля, если это необходимо, можно производить предохранительнымъ колпачкомъ *a*, въ которомъ находится термоэлементъ.

Расположеніе приборовъ показано на фиг. 34. Тигель съ расплавляемой массой стоитъ въ серединѣ печи [1]) на фарфоровой трубкѣ *P* (ср. также схематическое изображеніе на фиг. 35). Нижнее отверстіе печи закрыто

---

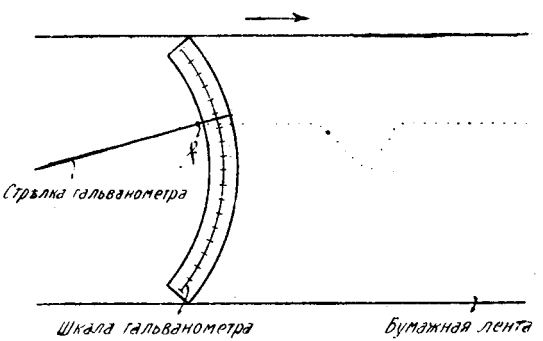
[1]) Печью въ данномъ случаѣ служитъ печь съ платиновымъ сопротивленіемъ Heraeus'а въ Ганау.

азбестомъ. На верхнемъ лежитъ слюдяная пластинка, снабженная отверстіемъ для предохранительной трубки *a*.

K — сосудъ для охлажденія холоднаго мѣста спая, *G* — гальванометръ для измѣренія температуръ, *Cr* — хронографъ съ включателемъ *Dr* и аккумуляторомъ *A*.

Самозаписывающій гальванометръ и хронографъ.

Цѣль этихъ аппаратовъ сдѣлать ненужной или облегчить работу одновременнаго записыванія времени и температуры, когда это требуется наблюдателю при металлографическихъ изслѣдованіяхъ.



Фиг. 36.

Принципъ самопишущаго гальванометра таковъ: подъ температурной шкалой гальванометра (см. фиг. 36), при помощи часового механизма двигается съ опредѣленной скоростью полоса бумаги въ направленіи, указанномъ стрѣлкой. Въ то же время сама стрѣлка гальванометра, снабженная чертилкой *f*, въ равные промежутки времени

(приблизительно черезъ каждыя 15 секундъ), благодаря механически дѣйствующему приспособленію, прижимается къ бумажной лентѣ и оставляетъ на ней знакъ. Получаемая такимъ образомъ пунктирная линія имѣетъ изгибъ въ мѣстахъ измѣненія температуры, какъ указано на фиг. 36.

Большую услугу оказываетъ этотъ приборъ [1]) въ томъ случаѣ, когда необходимо имѣть постоянный контроль надъ температурой печи даже въ отсутствіи наблюдателя. Также означенный приборъ примѣняется при опредѣленіяхъ температуръ затвердѣванія и кривыхъ критическихъ точекъ.

По мнѣнію авторовъ въ послѣднемъ случаѣ лучше непосредственно самому экспериментатору наблюдать за паденіемъ температуры по гальванометру и одновременно записывать время, ибо саморегистрирующіе аппараты только черезъ опредѣленные промежутки времени механически записываютъ измѣненія температуры и такимъ образомъ ея возможныя колебанія между этими промежутками ускользаютъ отъ наблюдателя [2]).

Для облегченія работы записыванія времени, при одновременномъ отсчетѣ температуры, можетъ служить хронографъ.

Фиг. 37 показываетъ хронографъ, которымъ уже много лѣтъ пользуются въ Королевской Испытательной Станціи.

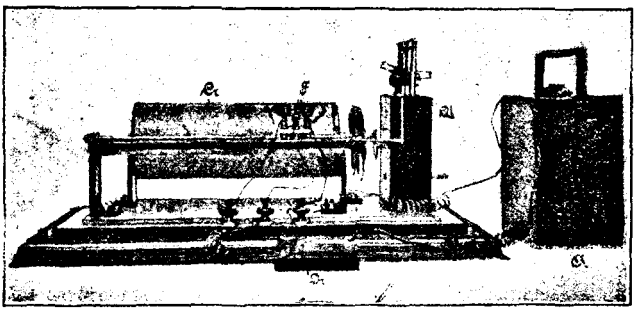
Работа съ хронографомъ происходитъ такимъ образомъ:

---

[1]) Подобные приборы строитъ фирма: „Siemens & Halske“.

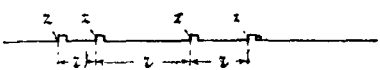
[2]) Въ послѣднее время появился фотографически регистрирующій пирометръ системы проф. Пет. Пол. Института Курнакова.

Обтянутый бумагой барабанъ *Cr* равномѣрно вращается часовымъ механизмомъ (предположимъ, дѣлаетъ въ одну минуту одинъ оборотъ). Отъ барабана *Cr* зубчатой передачей передается вращеніе параллельному



Фиг. 37.

шпинделю съ винтовой нарѣзкой, посредствомъ котораго передвигается небольшой суппортъ параллельно оси барабана. На суппортѣ находятся салазки съ карандашемъ *F*, который на барабанѣ чертитъ спираль.



Фиг. 38.

Какъ только цѣпь посредствомъ включателя *Dr* будетъ замкнута, токъ отъ аккумулятора *A* заставитъ электромагнитъ на все время, пока токъ включенъ, оттянуть въ сторону карандашъ *F*, и на спирали образуется выступъ *z*, какъ указано на фиг. 38.

При опредѣленіи кривой затвердѣванія, наблюдатель слѣдитъ только за паденіемъ стрѣлки гальванометра, и

каждый разъ, какъ только стрѣлка гальванометра пройдетъ отъ одного дѣленія шкалы до другого, производитъ посредствомъ включателя *Dr* на спиральной кривой выступъ *z*.

Такъ какъ число оборотовъ барабана въ минуту извѣстно, то, измѣривъ миллиметровымъ масштабомъ разстоянія *r* между каждыми сосѣдними выступами *z* (см. фиг. 38), можно разсчитать въ секундахъ время, которое необходимо, дабы стрѣлка гальванометра опустилась на одно дѣленіе.

Опредѣленіе критическихъ точекъ.

Нѣкоторыя вещества, а въ частности желѣзо и его сплавы испытываютъ при опредѣленной температурѣ или въ извѣстныхъ температурныхъ интервалахъ, даже въ твердомъ состояніи, превращенія (перекристаллизаціи), которыя также связаны съ тепловымъ эффектомъ.

Тѣ температуры, при которыхъ происходятъ эти превращенія, называются критическими [1]; часто ихъ можно опредѣлить посредствомъ пирометра.

Очень простое расположеніе приборовъ, въ общемъ подобное тому, какъ и при опредѣленіи температуры затвердѣванія, схематически представлено на фиг. 39.

P — проба, критическія температуры которой надо опредѣлить.

Pt, *Pt Rh* — проволоки термоэлемента Le Chatelier, горячій спай которыхъ находится въ серединѣ пробы.

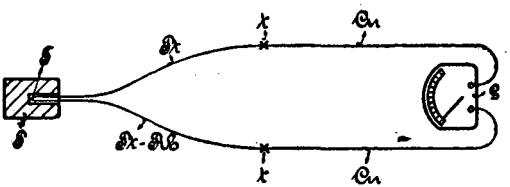
t t — холодныя мѣста спая, соединенныя мѣдной проволокой *Cu* съ гальванометромъ.

---

[1]) Подробности о критическихъ температурахъ см. часть II.

Пробу нагрѣваютъ до температуры, которая лежитъ еще ниже точки плавленія. Во время охлажденія наблюдаютъ на гальванометрѣ температуру, записывая также время, необходимое для ея опредѣленнаго пониженія (напр. 10^0 C), и строятъ кривую, откладывая температуру и время на координатныхъ осяхъ (совершено такъ-же, какъ было объяснено въ главѣ о температурахъ плавленія и затвердѣванія).

Если охлажденіе происходитъ безъ какихъ-либо физическихъ или химическихъ измѣненій въ массѣ, слѣдовательно, безъ выдѣленія теплоты, то кривая охлажденія получаетъ видъ, указанный на фиг. 29.



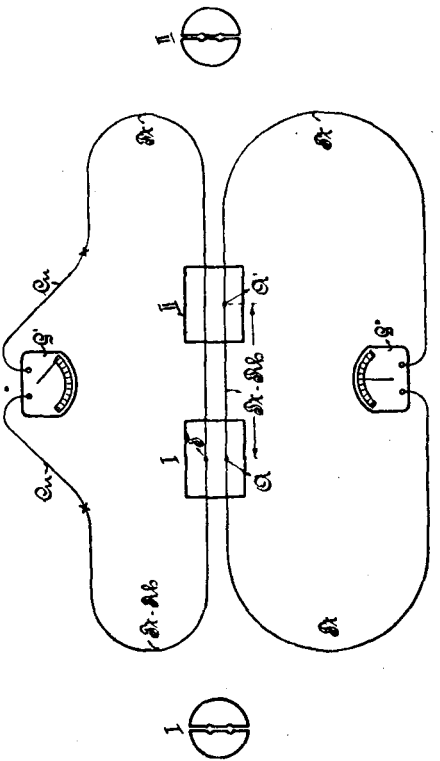
Фиг. 29.

Какъ только при опредѣленной температурѣ, которая въ такомъ случаѣ и называется критической, происходитъ выдѣленіе теплоты, паденіе температуры замедляется; только когда превращеніе кончится, температура опять падаетъ быстрѣе. Кривая охлажденія получаетъ болѣе или менѣе ясно выраженный изгибъ, подобно тому, какъ указано на фиг. 30 и 31.

Однако часто превращенія въ твердомъ состояніи сопровождаются такимъ незначительнымъ выдѣленіемъ теплоты, что при изслѣдованіи вышеописаннымъ способомъ они могутъ быть не замѣчены.

Въ такомъ случаѣ поступаютъ иначе.

Различіе состоитъ въ томъ, что пользуются двумя термоэлементами, какъ указано на схемѣ (см. фиг. 40).



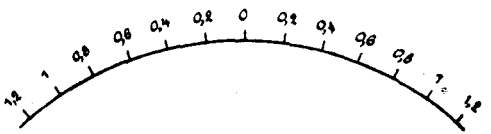
Фиг. 40.

Одинъ — обыкновенный термоэлементъ Le Chatelier (Pt — $Pt\,Rh$). Горячее мѣсто спая T лежитъ въ тѣлѣ I

(желѣзо), критическія точки котораго надо опредѣлить. G' — гальванометръ для измѣренія температуръ.

Второй термоэлементъ состоитъ изъ двухъ платиновыхъ проволокъ Pt, Pt и соединительнаго куска платинородіевой проволоки $PtRh$. Одно мѣсто спая лежитъ въ тѣлѣ I; второе — въ цилиндрѣ II изъ платины или огнеупорной глины, такого же размѣра какъ и I.

G'' — очень чувствительный гальванометръ. До тѣхъ поръ пока оба спая A и A' имѣютъ одинаковую температуру, возбуждаемыя электровозбудительныя силы взаимно уничтожаются и гальванометръ G'' показываетъ отсутствіе тока.



Фиг. 41.

Но какъ только въ пробномъ кускѣ I вслѣдствіе происходящихъ превращеній произойдетъ выдѣленіе или поглощеніе теплоты и получится разница въ температурахъ мѣстъ спая, стрѣлка гальванометра тотчасъ отклонится отъ 0 соотвѣтственно разницѣ электровозбудительныхъ силъ [1]).

Абсолютныя показанія здѣсь не имѣютъ значенія. Важны только относительно правильныя данныя и отсутствіе замедленія въ отклоненіи стрѣлки.

---

[1]) Впервые основанный на этомъ принципѣ методъ опредѣленія критическихъ точекъ былъ предложенъ Roberts-Austen'омъ. Всѣ другіе, также и здѣсь описанный, представляютъ исключительно измѣненіе и упрощеніе метода Roberts-Austen'a.

Температуру изслѣдуемаго тѣла, при которой происходитъ отклоненіе стрѣлки, читаютъ по гальванометру G'.

На Королевской Испытательной Станціи примѣняется гальванометръ Депре-д'Арсонваля (Deprez d'Arsonval) со шкалой, нулевое дѣленіе которой помѣщается по серединѣ [1]). Въ обѣ стороны идутъ дѣленія до 1,2 милливольтъ.

Каждое указанное на фиг. 41 дѣленіе раздѣлено на 10 частей, такъ что каждый градусъ соотвѣтствуетъ разницѣ напряженій въ 0,02 милливольтъ.

Производство опыта для опредѣленія критическихъ точекъ.

Хорошей печью для опредѣленія критическихъ точекъ является электрически нагрѣваемая спирально-никелевая печь.

Труба (20 мм. внутренній діаметръ и 800 мм. длина) изъ неглазированной огнеупорной массы спирально обкручена никелевой проволокой въ 1 мм. толщиной, черезъ которую пропускаютъ электрическій токъ (постоянный токъ напряженія 220 вольтъ). Никелевая спираль нагрѣвается и передаетъ теплоту трубѣ.

Внѣшняя защищающая труба (50 мм. въ свѣту) устраняетъ слишкомъ быстрое охлажденіе черезъ лучеиспусканіе.

Послѣ того, какъ оба тѣла *I* и *II* [2]) съ находящи-

---

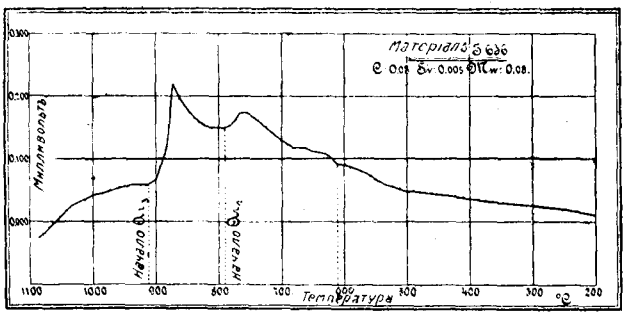
[1]) Доставляетя фирмой „Siemens & Halske".

[2]) Размѣры испытуемыхъ тѣлъ: 20 мм. — длина и 18 мм. діаметръ. Дабы удобно было помѣстить мѣста спая термоэлемента, образцы разрѣзаны по серединѣ и обѣ половины обкручены тонкой платиновой проволокой

мися въ нихъ спаями термоэлемента помѣщены въ печь, оба отверстія трубы закладываются азбестомъ и печь нагрѣвается.

Какъ только требуемая температура достигнута, выключаютъ токъ и начинается охлажденіе.

Одинъ наблюдатель громко читаетъ градусы температуры по гальванометру G' (см. фиг. 40). Второй наблюдатель сидитъ около гальванометра G'' и записываетъ



Фиг. 42.

соотвѣтственно названнымъ градусамъ положеніе его стрѣлки.

Нанося температуру (прочитанную по гальванометру G') на ось абсциссъ и соотвѣтствующее показаніе стрѣлки гальванометра G'' на ось ординатъ прямоугольныхъ координатъ, получаютъ, напр., для мало углеродистаго желѣза кривую, изображенную на фиг. 42 [1]).

[1]) Изъ E. Heyn'a. 1. Bericht über die mikroskopische Untersuchung der vom Sonderausschuss für Eisenlegierungen des Vereins zur Beförderung des Gewerbefleisses hergestellten Legierungen. Verhandlungen des Vereins zur Beförderung des Gewerbefleisses 1904.

Обозначенныя на кривой возвышенія Ar_2, Ar_3 соотвѣтствуютъ критическимъ температурамъ. Выдѣленіе теплоты происходитъ въ теченіе нѣкотораго промежутка времени, пока не закончится процессъ превращенія.

Совершенно такъ-же могутъ быть получены и кривыя нагрѣванія. При чемъ у желѣза наблюдаемыя при нагрѣваніи критическія точки лежатъ большей частью немного выше, чѣмъ тѣ же точки — при охлажденіи.

Это различіе иногда обусловливается скоростью нагрѣванія. Если нагрѣвать очень медленно и такъ-же медленно охлаждать, то означенныя точки совпадаютъ.

Печи для цѣлей металлографіи.

Ниже будутъ приведены нѣкоторыя очень удобныя для цѣлей металлографіи печи:

Спирально-никелевая печь

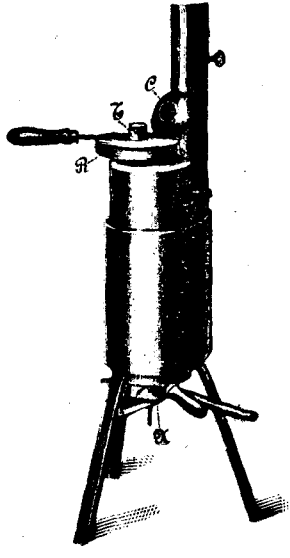
для опредѣленія критическихъ точекъ (см. стр. 66).

Газовая плавильная печь

съ удлиненнымъ *воздухонагрѣвателемъ № 3 германской* золото- и серебро-отдѣлительной палаты во Франкфуртѣ на Майнѣ (см. фиг. 43).

Наивысшая достижимая температура 1250° С. Тигель емкостью приблизительно 130—140 куб. сант. Расходъ газа $^3/_4$—1 куб. метра въ 1 часъ. Діаметръ трубки присоединяемой къ горѣлкѣ $^3/_4$ дюйма.

Печь должна съ помощью небольшой трубы примыкать къ дымовой трубѣ съ хорошей тягой.



Фиг. 43.

Газовая тигельная печь.

Газовую тигельную печь для цѣлей металлографіи описываетъ K. Friedrich въ Metallurgie за 1906 г. стр. 206. Расходъ газа приблизительно 12 куб. мет. въ 1 часъ. Наивысшая достигаемая температура 1555° C.

Электрическая трубообразная печь Heraeus'a

въ Ганау, типъ *D* 3. Нагрѣваемая труба имѣетъ внутренній діаметръ 50 мм., длину 30 сант. и снабжена обмоткой изъ платиновой фольги (см. фиг. 34). Емкость

тигля приблизительно 50 куб. сант. Такъ какъ печь вращается, то она очень удобна для многихъ цѣлей. Наивысшая достижимая температура въ горизонтальномъ положеніи 1400° С, въ вертикальномъ 1300°—1350° С. При напряженіи въ сѣти въ 220 вольтъ необходимо включать еще добавочное сопротивленіе въ 16 омъ. Если примѣняется постоянный токъ, то полезно чаще мѣнять полюса, дабы избѣжать дѣйствія начинающагося при высокой температурѣ электролиза фарфора.

При включеніи сила тока не должна превосходить 12 амперъ при напряженіи въ 220 вольтъ, по достиженіи краснаго каленія силу тока можно поднять до 14 амп.

Газовая печь съ дутьемъ

Otto Schober'a въ Берлинѣ для высокихъ температуръ (1550°—1600° С), различныхъ размѣровъ. Дутье необходимо.

Электрическая угольная трубообразная печь [1])

для самыхъ высокихъ температуръ.

Печь состоитъ изъ трубы *A* (см. фиг. 44) ретортнаго угля длиной въ 13 см.; внѣшній діаметръ трубы 3 см. и внутренній 2 см.

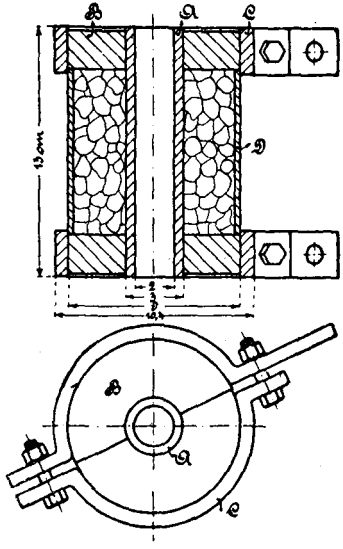
Для нагрѣванія употребляется перемѣнный токъ низкаго напряженія.

Токъ приводится посредствомъ двухъ угольныхъ полукруговъ *B*, снабженныхъ мѣдными хомутами *C*. Для уменьшенія потерь теплоты черезъ лучеиспусканіе

---

[1]) Ср. R. Ruer. Metallographie in elementarer Darstellung 1907, стр. 280.

служитъ глиняная труба *D*. Промежутокъ между *D* и *A* наполненъ древеснымъ углемъ.



Фиг. 44.

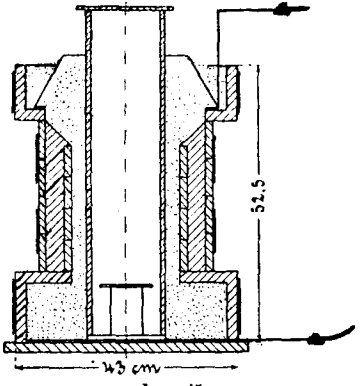
Электрическая печь съ угольнымъ сопротивленіемъ, причемъ уголь находится въ видѣ порошка [1]). Печь (см. фиг. 45) доставляется химико-технической испытательной станціей при Королевскомъ фарфоровомъ заводѣ

Діаметръ нагрѣваемой трубы 13,5 см. Для нагрѣванія печи пользуются постояннымъ токомъ. При напря-

---

[1]) Ср. Stahl und Eisen 1907, выпускъ 21, стр. 739: „Zur Bestimmung der Schmelzpunkte von Hochofenschlacken“ — Dr. Simonis.

женіи 100—200 вольтъ, печь, такихъ размѣровъ какъ указано на фиг. 45, расходуя 12 KW, можно нагрѣть въ 3—4 часа до 1600°.



Фиг. 45.

Въ меньшей печи, съ діаметромъ нагрѣваемой трубы въ 6,5 сант., можно достигнуть въ теченіе 1 часа 1600—1700° С, расходуя 8—9 KW.

Тигли.

Для расплавленія небольшихъ количествъ вещества въ печахъ Heraeus'а обыкновенно пользуются фарфоровыми (безъ глазури) тиглями. Въ послѣднее время въ продажѣ появились тигли изъ магнезіи (для высокихъ температуръ).

Обыкновенно тѣ фирмы, которыя дѣлаютъ печи, доставляютъ также и различныхъ сортовъ тигли.

Перечень авторовъ.

Arnold 7.

Bauer, O. 7.
Behrends 16.
Börnstein 49.

Cartaud 16.
Charpy 7, 19, 22.

Day 52.
Deprez d'Arsonval 66.

Eder, Dr. J. M. 41.

Friedrich, K. 69.

Greenough 39.

Hannover 13.
Heycock 7.
Heyn 10, 13, 19, 21, 24, 27, 33, 52, 67.
Holborn 52.
Howe 7.

Курнаковъ 60.

Landolt 47.
Le Chatelier 7, 13, 35, 50.
Ledebur 6.

Martens 6, 10, 14, 16, 21, 24, 27, 28, 32.

Neville 7.

Osmond, F. 6, 14, 16.

Roberts-Austen 7, 65.
Roozeboom 7.
Ruer 50, 70.

Sauveur 7.
Simonis, Dr. 71.
Sorby 6, 14.
Stead 7, 16.

Черновъ 7.

Wedding 14.
Weyl 19.

Алфавитный указатель.

Азотноаммоніева соль 16.
Апохроматъ 37.

Бинокулярный микроскопъ 39.

Вертикальный иллюминаторъ 30.
Взятіе пробы 7.
Виражъ-фиксажъ 43.
Вирированіе 43.
Вольтова дуга 31.
Воскъ 35.
Время выдержки 40.

Газовая печь съ дутьемъ 70.
— плавильная печь 68.
— тигельная печь 69.
Гальванометръ 48.
Глициновый проявитель 42.
Горѣлка Wolz'a 31.
Горячій спай 48.

Даніэля элементъ 22.
Діафрагма ирисъ 31.
Дневной свѣтъ 27.
Друммондовъ свѣтъ 31.

Измѣреніе температуры 46.
Изслѣдованіе подъ микроскопомъ 27.
Иммерсіонная жидкость 37.
Иридіево-рутеніевый термоэлементъ 50.
Искусственный свѣтъ 31.

Камера 35.
Канадскій бальзамъ 37.
Канифоль 34.
Компенсаціонный окуляръ 37.
Королевская Испытательная Станція 31, 35.
Кривая охлажденія 53, 54.
Критическая температура 62.
Крокусъ 12.

Лампочка Nernst'a 31.
Латунь 22.
Люмьера пластинки 40.

Масляная иммерсія 37.
Матовое стекло 35.
Микрометрическій винтъ 34.
Микропланаръ 37.
Микроскопъ 28, 32, 39.
Микроскопный штативъ системы Martens'a 32.
Мѣдь 52.
Мѣста спая термоэлемента 48.

Нагрѣваніе 16.
Наждачная бумага 11.
Наждачный порошокъ 13.
Негативъ 41.

Обработка шлифа 13.
Объективъ 28, 37, 40.
— ахроматъ 28.
Окись алюминія 13.
— хрома 13.
Окуляръ 28, 37, 40.
— Гюйгенса 28.
— искатель 37.
Опредѣленіе критическ. температуръ (точекъ) 62.
Освѣтительный приборъ 31.
Ослабленіе негатива 41.

Печи 68.
Печь съ сопротивленіемъ 71.
Пластинки 40.
Позитивъ 42.
Покрывное стекло 37.
Полировка 12.
Поправка въ показаніяхъ термометра 47.
Потеря свѣта 30.
Предметный микрометръ 38.
— столикъ 34.
Предохранительный кол пачекъ 55.
Приготовленіе пробныхъ кусковъ 7.
Призма 30.
Провѣрка термометровъ 47.
— термоэлементовъ 52.
Продолжительность проявленія 42.
— травленія 20, 21, 22 24.
Промываніе негатива 42.
— позитива 43.

Проявитель 41, 42.
Проявленіе снимка 41.
Проэкціонный окуляръ 37.

Рельефная полировка 18.
Ретушированіе 41.
Ртутная лампа 31.
Ртутный термометръ 46.

Самозаписывающій гальванометръ 59.
Свинецъ 52.
Свѣточувствительная бумага 42.
Серебро 52.
Склерометрическая твердость 26, 24.
Склерометръ 25.
Слюдяная пластинка 13.
Спирально никелевая печь 68.
Способъ освѣщенія 27, 29, 30, 31.
Стереоскопическое разсматриваніе 39.
Сурьма 52.

Темная комната 44.
Температура затвердѣванія 52.
— плавленія 52.
Теплота кристаллизаціи 52.
Теплота плавленія 52.
Термоэлементы 48.
Термоэлементъ константанъ-мѣдь 50.
— Le Chatelier 50.
Тигли 72.
Травленіе 19.
— азотной кислотой 23.
— мѣдно-амміачной солью 19.
— мѣдно-амміачной солью въ амміачномъ растворѣ 24.
— пикриновой кислотой 24.
— подъ вліяніемъ электрическаго тока 22.
— растворомъ азотной кислоты въ спиртѣ 21.
— растворомъ соляной кислоты въ спиртѣ 21.
— тинктурой іода 24.
Травящая полировка 16.
Трубообразная печь Heraeus'a 69.
Тубусъ микроскопа 31.

Увеличеніе 38.
Угольная трубообразная печь 70.

Фиксированіе 42.
Фотографированіе 40.

Холодныя мѣста спая 48.
Хронографъ 59.

Цвѣта при нагрѣваніи 17.
Целлоидиновая бумага 43.
Цинкъ 52.

Шаровой микроскопъ 28.
Шлифовальный кругъ 10.
Шлифовальный станокъ 10.
Шлифованіе 10.
Штативъ 32.
Штифтъ магнезіи 31.

Эйконогенъ-гидрохиноновый проявитель 41.
Экстрактъ солодковаго корня 16.

Литература [1]).

A. Martens und E. Heyn: Über die Mikrophotographie im auffallenden Licht und über die mikrophotographischen Einrichtungen der Königlichen mechanisch-technischen Versuchsanstalt in Charlottenburg. Mitteilungen aus den Königlichen technischen Versuchsanstalten 1899, стр. 73.

E. Heyn: Einiges über das Kleingefüge des Eisens. Stahl und Eisen 1899, выпускъ 15, стр. 709; выпускъ 16, стр. 768.

Stead, Practical Metallography. Proceedings of the Cleveland Institution of Engineers, февраль 1900. The Metallographist III, стр. 220.

E. Heyn: Überblick über den gegenwärtigen Stand der Metallographie. Z. d. V. deutscher Ingenieure 1900, выпускъ 5, стр. 137; выпускъ 6, стр. 175.

F. Osmond, Methode générale pour l'analyse micrographique des aciers au carbone. Contribution à l'étude des alliages. Paris 1901, Chamerot et Renouard.

O. Bauer: Die Metallographie, Baumaterialienkunde 1904, № 1—2.

E. Heyn: Kupfer und Sauerstoff. Z. f. anorg. Chemie, 1904, томъ 39.

E. Heyn: 1. Bericht über die mikroskopische Untersuchung der vom Sonderausschuss für Eisenlegierungen des Vereins zur Beförderung des Gewerbefleisses hergestellten Legierungen. Verhandlungen des Vereins zur Beförderung des Gewerbefleisses 1904.

---

[1]) Здѣсь приведены только тѣ сочиненія, на которыя есть ссылка въ первой части.

H. Le Chatelier: Sur la technique de la métallographie microscopique. Revue de métallurgie, 1905, іюль.

E. Heyn: Bericht über Ätzverfahren zur mikroskopischen Gefügeuntersuchung des schmiedbaren Eisens und über die damit zu erzielenden Ergebnisse. Mitteilungen aus dem Königlichen Materialprüfungsamt 1906, выпускъ 5, стр. 253.

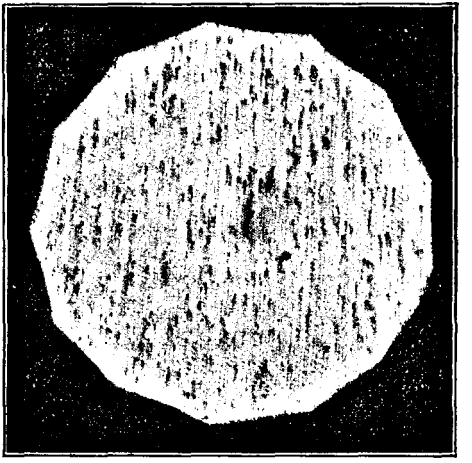
Dr. Josef Maria Eder: Rezepte und Tabellen für Photographie und Reproduktionstechnik. Wilhelm Knapp, Halle.

R. Ruer: Metallographie in elementarer Darstellung 1907. Hamburg und Leipzig, Leopold Voss.

Фотографіи.

Воспроизведенныя на таблицахъ I — V фотографіи взяты изъ коллекціи Королевской Испытательной Станціи (Gross-Lichterfelde).

3605 $v = 108$



Фотографическій снимокъ 1. Испорченный шлифъ (только полированный).

Таблица I.

4204 $v = 108$

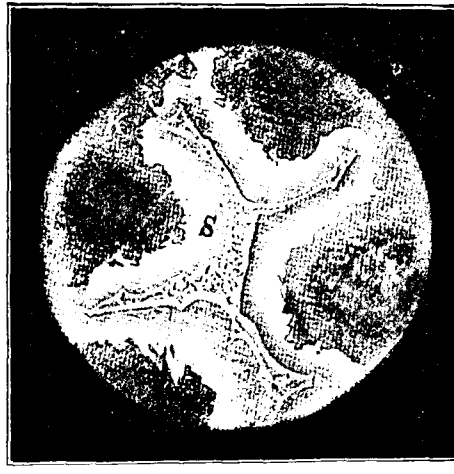
Фотографическій снимокъ 2. Сплавъ мѣдь-висмутъ (только полированный).

Таблица II.

3632 $v = 242$

Фотографическій снимокъ 3. Отожженный чугунъ (рельефно отполированный).

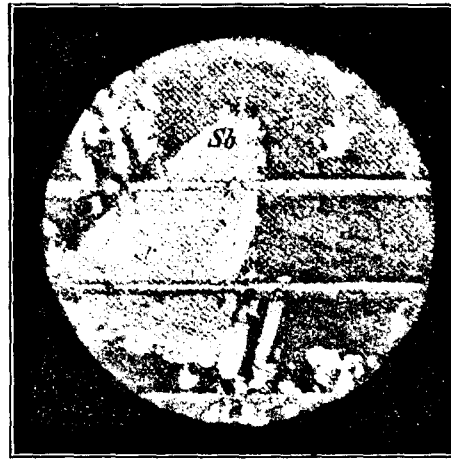
Таблица III.



Фотографическій снимокъ 4. Сплавъ мѣдь-олово (подвергнутый нагрѣванію).

Таблица IV.

4944 $v = 242$



Фотографическ. снимокъ 5. Сплавъ олово-сурьма-мѣдь (съ царапиной).

Таблица V.

Русское изданіе

„Sammlung Göschen“

Вышли изъ печати:

Д-ръ мед. **А. Леганъ,** Физіологическая химія. Часть I: Ассимиляція. № 6.

Д-ръ мед. **А. Леганъ,** Физіологическая химія. Часть II: Диссимиляція. № 9.

Проф. **Е. Гейнъ** и **О. Бауеръ,** Металлографія. Ч. I: Общая часть. № 19.

Выходятъ изъ печати:

Проф. **Е. Гейнъ** и **О. Бауеръ,** Металлографія. Ч. II: Спеціальная часть.

Д-ръ **А. Гауцъ,** Металлургія, въ двухъ частяхъ.

Проф. **Г. Кауманъ,** Общая и физическая химія, въ двухъ частяхъ.

Д-ръ **І. Клейнъ,** Неорганическая химія.

Д-ръ **І. Клейнъ,** Органическая химія.

Д-ръ **І. Гоппе,** Аналитическая химія, въ двухъ частяхъ.

Д-ръ **Г. Даннеэль,** Электрохимія, въ двухъ частяхъ.

Каждый выпускъ въ изящн. переплетѣ 65 коп.