

Т. И. Тихоновъ.

МЕТАЛЛОГРАФІЯ

и

ЕЯ ЗАДАЧИ.



ТОМСКЪ.

Паровая типо-литографія П. И. Макушина, Благовѣщ. пер., собств. д.

1903



Металлографія и ея задачи.

Т. И. Тихоновъ.

Ислѣдованія структуры металловъ подъ микроскопомъ создали новую отрасль науки, извѣстной подъ названіемъ металлографіи. Первые работы въ этомъ направленіи были сдѣланы англійскимъ металлургомъ Сорби въ 1864 году, а затѣмъ въ 1878 году проф. Martens опубликовалъ свои микроскопическія изслѣдованія желѣза и стали. Въ 1880 году Барба ввелъ микроскопъ на заводѣ Крезо и положилъ такимъ образомъ первый толчекъ трудамъ Осмонда, котораго, по справедливости, можно назвать основателемъ современной металлографіи. Въ настоящее время металлографія выходитъ уже изъ чисто научныхъ рамокъ и все болѣе и болѣе распространяется на заводахъ и безспорно является хорошей помощницей химическаго анализа и механическихъ испытаній.

Металлографія главнымъ образомъ преслѣдуетъ слѣдующія двѣ задачи:

1) Опредѣленіе отдѣльныхъ составныхъ частей сплавовъ (по виду строенія), опредѣленіе ихъ химическихъ и физическихъ свойствъ, а также и назначенія; изученіе зависимости между этими послѣдними факторами и свойствами металла въ цѣломъ.

2) Опредѣленіе тѣхъ измѣненій въ строеніи, которыя вызываются различною обработкою сплавовъ (нагрѣваніемъ, закалкою и мех. обработкою вообще).

Для разрѣшенія вышеозначенныхъ задачъ сначала пользовались всѣми способами физической химіи, пока она давала возможность дѣлать какія либо заключенія относительно внутренняго строенія сплава, но для металлографіи въ настоящее время болѣе цѣнны тѣ указанія, которыя даетъ микроскопъ, а также и изслѣдованія обстоятельствъ застыванія сплавовъ. Обѣ эти вѣтви металлографіи можно назвать микроскопией и криоскопией; послѣднее названіе употребляется въ физической химіи для ученія о застываніи растворовъ солей.

Изготовленіе металлическихъ шлифовъ. Обратимся сначала къ микроскопии желѣза. Излюбленнымъ въ петрографіи способомъ наблюде-

нія подъ микроскопомъ, при помощи проходящаго черезъ тонкія шлифы свѣта,—здѣсь, вслѣдствіе непрозрачности тонкихъ пластинокъ металла, пользоваться нельзя; поэтому для изслѣдованія подъ микроскопомъ желѣзо должно имѣть полированную поверхность, чтобы можно было пользоваться отраженнымъ свѣтомъ. Приготовление полированной поверхности металла—одна изъ самыхъ трудныхъ и хлопотливыхъ задачъ при изслѣдованіи металловъ подъ микроскопомъ, но вмѣстѣ съ тѣмъ отъ приготовления хорошихъ шлифовъ цѣликомъ зависятъ успѣхъ и вѣрность результатовъ.

Раньше, чѣмъ приступить къ изложенію способовъ самой полировки, считаю не лишнимъ сдѣлать нѣсколько замѣчаній по поводу полирующихъ веществъ, употребляемыхъ при изготовленіи шлифовъ. Самымъ удобнымъ и употребительнымъ веществомъ для полировки шлифа служить обыкновенный продажный наждакъ въ порошокѣ, но только послѣ промывки и тщательной сортировки посредствомъ отмучиванія. Инженеръ А. Ржешотарскій *) при своихъ работахъ примѣнялъ очень простой способъ отмучиванія, состоящій въ слѣдующемъ: въ бутылку вместимостью отъ 1—2 литровъ, наполненную водой, помещаютъ одинъ фунтъ мелкозернистаго наждаку, затѣмъ жидкость взбалтываютъ и оставляютъ на нѣкоторый періодъ въ покоѣ, чтобы грубыя части наждака отложились бы на днѣ. Послѣ этого осторожно сливаютъ жидкость въ другой сосудъ и, давъ ей отстояться въ теченіе нѣкотораго времени, снова переливаютъ ее въ новый сосудъ, и т. д. Повторяя эту операцію 5—6 разъ, получаютъ нѣсколько сортовъ наждака различной мелкости, которые затѣмъ или осторожно просушиваютъ въ водяной банѣ при температурѣ не выше 70°, иначе частицы наждака снова собираются въ крупинки, или просто оставляютъ наждакъ въ растворѣ воды, но только дѣлаютъ помѣтки на банкахъ 1, 2... сообразно съ мелкостью порошка.

Мартенсъ **) раздѣленіе наждачнаго порошка производитъ нѣсколько, иначе, а именно: $\frac{1}{2}$ фунта наждачнаго порошка смѣшиваютъ съ водою въ фарфоровой ступкѣ, чтобы получить жидкое тѣсто. Затѣмъ тѣсто смываютъ въ другой сосудъ, прибавляютъ $\frac{1}{2}$ литра воды и послѣ сильнаго размѣшиванія выливаютъ въ особый раздѣлитель (Фиг. А. таб. V). Раздѣлитель состоитъ изъ бутылки А безъ дна, заткнутъ снизу пробкой, черезъ которую проходитъ латунная трубка В, снабженная на верхнемъ концѣ блюдечкомъ. Когда жидкость въ сосудѣ А нѣсколько отстоится и грубыя частицы наждака осядутъ на дно, то

*) А. Ржешотарскій. Микроскопическія изслѣдованія желѣза. Стр. 9. 1898 г.

**) Стель. Методъ изготовленія полированныхъ поверхностей. Артиллерійскій журналъ, 1895 № 11.

трубку съ блюдечкомъ опускаютъ внизъ и переливаютъ смѣсь въ нижній сосудъ С; отстоявшійся наждакъ сушатъ и берутъ для полировки.

Для изготовленія самому ассортимента наждачной бумаги слѣдуетъ просушенные и полученные вышеозначеннымъ способомъ сорта наждака развести въ альбуминовомъ клѣѣ, который употребляется для изготовленія чувствительныхъ пластинокъ, и такую смѣсь намазать посредствомъ кисточки на листы прочной бумаги.

Проф. Неуп при своихъ работахъ примѣняетъ покупную наждачную бумагу завода Hubert въ Парижѣ слѣдующихъ номеровъ: 000, 00, 0, 1^m, 1, 1^o, 2 и 3.

Кромѣ наждака иногда для полировки употребляютъ крокусъ („крокусъ для стали“ и „крокусъ для золота“), „вѣнскую известь“ и самые высокіе номера (50—60) порошкообразнаго карборундума. Наконецъ надо замѣтить, что всѣ полирующія вещества надо сохранять въ закрытыхъ сосудахъ, чтобы частицы комнатной пыли, а тѣмъ болѣе заводской, ни въ коемъ случаѣ не попадали бы къ нимъ. Подлежащая полировкѣ площадь металла не должна имѣть большихъ размѣровъ ($1/2 \square_{\text{cm}}/\text{cm}$ и $1/1 \square_{\text{cm}}/\text{cm}$), ибо очень трудно полировать большую поверхность; сначала поверхность дѣлается гладкой и ровной обыкновенными средствами, а затѣмъ обрабатывается наждачной бумагой разной крупности, наклеенной на вращающіеся деревянные кружки, до тѣхъ поръ, пока на поверхности шлифа совсѣмъ не будетъ рисокъ. Слѣдующая обработка шлифа производится на обтянутыхъ сукномъ деревянныхъ шайбахъ посредствомъ тончайшаго порошка и воды, причемъ, при нѣкоторомъ навыкѣ, можно получить совершенно зеркальную поверхность, неимѣющую никакихъ рисокъ. Обработанная такимъ образомъ поверхность очень рѣдко даетъ возможность видѣть строенія металла подъ микроскопомъ, а потому она должна подвергнуться еще дальнѣйшей обработкѣ, которая можетъ быть сдѣлана по 3 существенно различнымъ способамъ, по каждому въ отдѣльности или послѣдовательно одинъ за другимъ.

а) „Рельефная“ полировка (введена Sorby и значительно усовершенствована Osmond'омъ, Martens'омъ и Wedding'омъ). Шлифъ полируется далѣе при слабомъ надавливаніи мягкой резиной или пергаментомъ, посыпанными немного крокусомъ или очень мелкимъ наждакомъ. Болѣе твердыя составныя части шлифа больше противостоятъ работѣ эластичной полирующей поверхности, чѣмъ мягкія, и выступаютъ въ видѣ рельефовъ *) (Фиг. 8. Т. I. 9, 10 и 12. Таб. II. 18 и 19. Т. III).

*) Возвышенныя части шлифа легко можно отличить, если помнить, что со стороны обратной направленію луча свѣта у возвышенныхъ частей шлифа всегда имѣется черная полоса — тѣнь.

б) Полировка съ протравой (введена Osmond'омъ). Шлифъ, приготовленный согласно пункту а, полируютъ еще дальше при помощи резины или пергамента съ прибавкою къ водѣ лакричнаго экстракта или сахара, при этомъ нѣкоторыя составныя части строенія шлифа получаютъ окраску, что даетъ большую возможность еще большихъ различій. Но различное окрашивание составныхъ частей шлифа можно получить не только окисленіемъ шлифа, но и путемъ нагрѣва послѣдняго, если только составныя элементы сплава въ различной степени подвержены окисленію; такъ, напр., бываетъ при нагрѣваніи шлифа изъ сплавовъ мѣди и серебра,—составныя части шлифа съ большимъ содержаніемъ серебра остаются блестящими, тогда какъ другія, съ большимъ содержаніемъ мѣди, приобрѣтаютъ различныя цвѣта окрашиванія.

Примѣчаніе. Лакричный корень извѣстенъ въ продажѣ подъ названіемъ сосо (коко), и экстрактъ изъ него готовится слѣдующимъ образомъ: 10 грам. мелкоиздробленнаго корня намачиваются въ продолженіе 4-хъ часовъ въ 100 грам. воды и затѣмъ настойка фильтруется. Настой на третьи сутки уже начинаетъ бродить и годенъ въ употребленію.

Сахарную воду проф. Неупн приготовляетъ такого состава: 10 грам. сахара на 100 грам. холодной воды.

в) Протрава. Отполированный на сукнѣ шлифъ очищается хорошо отъ жира и кладется въ ванну съ протравой. Это или растворъ іода въ іодистомъ кали и водѣ, или очень слабая азотная кислота, или сильно разбавленная спиртомъ соляная кислота, или бромная вода, или простая вода съ нѣсколькими каплями салициловой кислоты въ алкогольѣ и т. п. реактивы. Благодаря протравѣ получается нѣкоторое измѣненіе въ окраскѣ шлифа, и рельефъ послѣдняго становится болѣе отчетливымъ (Фиг. 1 и 3. Т. I. 15. Т. II. 26, 27 и 31. Т. IV).

Примѣчаніе. Wedding *) для промывки шлифовъ предлагаетъ цѣлый рядъ различныхъ жидкостей. Сначала шлифъ промывается въ водѣ, потомъ въ хлороформѣ, тщательно очищая кистью всѣ ямки и поры шлифа отъ случайно оставшагося крокуса или наждака. Затѣмъ шлифъ поочередно на короткій періодъ времени погружается въ слѣдующія жидкости:

- 1) Смѣсь хлороформа съ алкоголемъ (1:1).
- 2) Хлороформъ.
- 3) Сѣрнистый эфиръ.
- 4) Алкоголь.

*) Wedding. Eisenhüttenkunde B. I. S. 867.

5) Смѣсь алкоголя съ водой (1 : 3).

5). Дистиллированная вода.

Если образец, вынутый изъ дистиллированной воды, ровно покрыть водою, то его опускаютъ въ вытравляющую жидкость. Если же на поверхности шлифа вода собирается каплями, то это доказываетъ, что поверхность шлифа еще не чиста, и шлифъ надо снова промыть. Если образецъ хотятъ разсматривать подъ микроскопомъ безъ вытравки въ кислотѣ, то, послѣ вынутія изъ дистиллированной воды, его надо снова погрузить въ жидкость № 5, а затѣмъ въ № 4 и на нѣсколько секундъ въ № 3. Погружать шлифъ въ кислоту надо щипчиками (а не руками, которыя всегда оставляютъ сальные пятна) и не глубже, какъ на 1—2 ст. ниже уровня жидкости (при такомъ погруженіи шлифа въ кислоту можно легко наблюдать черезъ лупу появленіе узора на шлифѣ). А. Ржешотарскій *) совѣтуетъ для протравы твердыхъ сортовъ желѣза брать 2⁰/₀ азотной кислоты и 4⁰/₀ растворъ для мягкихъ сортовъ желѣза, погружая образцы на 10—15 секундъ. Для очень нѣжной вытравки онъ совѣтуетъ брать на стаканъ воды только 5—10 капель азотной кислоты.

Вытравленные образцы необходимо держать въ сухомъ и защищенномъ отъ пыли мѣстѣ. Лучше всего завертывать каждый образчикъ въ оловянную бумагу и хранить въ закрытомъ помѣщеніи въ присутствіи ѣдкаго кали или просто хранить подъ стекляннымъ колпакомъ въ присутствіи сѣрной кислоты.

Приготовленный такимъ образомъ шлифъ для дальнѣйшихъ наблюдений и фотографированія закрѣпляется въ микроскопъ. Освѣщеніе предмета для микроскопическихъ наблюдений и фотографированія достигается слѣдующимъ образомъ: предметъ помѣщается наклонно относительно оптической оси микроскопа и освѣщается дневнымъ лучемъ (Фиг. В таб. V); но для сильнаго освѣщенія шлифа требуется давать ему большой уклонъ, вслѣдствіе чего ясное изображеніе въ фокусѣ получается только въ видѣ узкой полосы. Увеличеніе свыше 200 разъ получить довольно трудно, ибо, съ приближеніемъ линзы объектива къ предмету, оправка объектива препятствуетъ лучамъ свѣта освѣщать шлифъ.

На чер. С таб. V шлифъ расположенъ перпендикулярно къ оптической оси. Лучъ, падающій отъ искусственнаго источника свѣта, падаетъ на отражательное стекло р1, наклоненное къ оптической оси подъ угломъ въ 45⁰, отражается отъ него на полированную поверхность и возвращается отъ послѣдней по направленію оптической оси,

*) А. Ржешотарскій. Микроскопическія изслѣдованія желѣза. Стр. 27. 1898 г.

прохъ дѣя черезъ отражательное стекло pl . Часть свѣта тратится совершенно напрасно—вслѣдствіе прохожденія черезъ стекло pl .

На чер. D таб. V шлифъ расположенъ опять перпендикулярно къ оптической оси. Призма pz полностью отражаетъ падающій лучъ I на объективъ f . Послѣдній служитъ въ то-же время и для концентраціи падающаго пучка лучей и для полученія микроскопическаго изображенія. Кромѣ этого заслуживаетъ особаго вниманія приспособленіе Фремона *), гдѣ лучи свѣта, отраженные зеркаломъ D (Фиг. E таб. V) попадаютъ черезъ отверстіе въ трубу микроскопа, гдѣ встрѣчаютъ вогнутое подвижное зеркало C. Измѣняя положеніе зеркалъ D и C, можно заставить лучъ свѣта пройти черезъ объективъ. Призма K направляетъ лучи свѣта параллельно оси микроскопа. Черезъ зеркало C и призму K проходитъ коническая труба P, которая при помощи окуляра служитъ для наблюденія изображенія шлифа, освѣщеннаго лучами свѣта.

Источникомъ свѣта можетъ служить обыкновенная или электрическая лампа, драммондовъ свѣтъ и т. п. Послѣднія приспособленія микроскопа даютъ возможность разсматривать шлифы при любомъ увеличеніи и снимать фотографическіе снимки, но только съ тѣмъ условіемъ, чтобы плоскость шлифа была-бы установлена строго перпендикулярно къ оси микроскопа; для облегченія установки шлифа въ такомъ положеніи, столикъ микроскопа снабжаютъ ножкой съ шарообразнымъ закрѣпленіемъ (система пр. Мартенса и изготовляется фирмою Цейса въ Йеннѣ).

Микроскопическія изображенія можно воспроизвести двояко: или путемъ срисовыванія на бумагу, или же посредствомъ фотографіи. Первый способъ въ настоящее время употребляется только при сильныхъ увеличеніяхъ, когда изображенія не отчетливо видны, или когда шлифъ плохо изготовленъ—имѣетъ шарообразную поверхность **). Но чтобы удачно срисовать шлифъ, надо имѣть большой навыкъ; гораздо меньше хлопотъ и менѣе тратится времени на фотографированіе шлифа. Для этой цѣли прямо къ окуляру микроскопа приспособляется фотографическая камера; получается сначала изображеніе на матовомъ стеклѣ, а затѣмъ его замѣняютъ кассетой съ чувствительной пластинкой. Надо замѣтить, что горизонтально приспособленный фотографическій аппаратъ (системы Мартенса фирмы Цейса) для фотографированія шлифовъ несравненно удобнѣе вертикальнаго.

*) Ржешотарскій. Микроскопическія изслѣдованія желѣза. Стр. 30. 1898.

***) Болѣе подробныя свѣдѣнія о рисовальныхъ приборахъ можно найти въ брошюрѣ Циммермана „Микроскопъ“. Пер. Д-ра А. Ильиша 1896 г. Сиб.

Микроструктура желѣза. Отдѣльныя составныя части желѣза, открытыя при помощи описанныхъ способовъ, получили особыя названія, такъ:

а) Ферритъ (по Howe). Свободное или почти свободное отъ углерода желѣза, самая мягкая составная часть желѣза, на рельефныхъ шлифахъ представляется ниже другихъ составныхъ частей. Полировкой съ протравой или осторожнымъ травленіемъ совсѣмъ не окрашивается или окрашивается въ слабо-желтоватый цвѣтъ. Очень бѣдное углеродомъ желѣзо состоитъ изъ феррита и подъ микроскопомъ имѣетъ видъ мелкихъ зеренъ, такъ что строеніе шлифа получается сходное съ мраморомъ. Когда дѣйствіе протравы немного сильнѣе или когда употреблено специальное средство въ видѣ раствора въ водѣ ($1/12$ — $1/30$) хлористо-мѣдно-амміачной соли, то на поверхности шлифа появляются бороздки, называемыя протравными фигурами (ätzfiguren); эти фигуры очень рельефно выдѣляютъ зерна феррита и даютъ возможность точно опредѣлить ихъ число и среднюю величину (Фиг. 1 т. I). Черная сѣтка, разграничивающая въ этомъ шлифѣ между собою зерна феррита, состоитъ изъ особаго углеродистаго вещества—перлита.

Въ мягкихъ сортахъ стали зерна феррита располагаются въ видѣ мозаики, составляющей звѣздообразныя фигуры (Фиг. 2 т. I), но по мѣрѣ увеличенія содержанія углерода въ стали эти тонкія бѣлыя полоски феррита, образующія болѣе правильную сѣтку, становятся все тоньше и тоньше (Фиг. 3, 4 т. I). При свободномъ и медленномъ охлажденіи желѣза (въ срединѣ болванки) зерна феррита выдѣляются мощною сѣткою по периферіи углеродистаго желѣза (Фиг. 5 т. I). Ковка и прокатка сильно вліяютъ на измѣненіе формы и группировки зеренъ феррита: первая раздробляетъ ихъ и разсѣиваетъ въ безпорядкѣ среди углеродистаго желѣза (Фиг. 6 т. I), а вторая—вытягиваетъ ихъ въ видѣ волоконъ (Фиг. 7 т. I); но не надо забывать, что группировка зеренъ феррита въ послѣднихъ двухъ случаяхъ сильно зависитъ отъ конечной температуры обработки.

б) Цементитъ (по Howe). По Осмонду считаютъ, что цементитъ соответствуетъ карбиду углерода желѣза въ видѣ Fe_3C . Цементитъ тверже другихъ составныхъ частей, вслѣдствіе чего на „рельфныхъ“ шлифахъ выступаетъ на поверхности раньше другихъ составныхъ частей структуры желѣза. Онъ остается послѣ травленія и полировки съ протравой не окрашеннымъ и блеститъ какъ зеркало. (Фиг. 8 т. I, 9, 10 т. II). Строеніе цементита лучше всего можно изучить въ цементной стали, гдѣ онъ нерѣдко образуетъ цѣлыя скопленія въ видѣ прямолинейныхъ полосъ (Фиг. 11 т. II) и мельчайшихъ волоконъ, разбросанныхъ между остальнымъ углеродистымъ желѣзомъ (мартензитомъ).

с) Перлитъ (по Howe) на „рельефныхъ“ шлифахъ выше феррита и ниже цементита. При полировкѣ съ протравой перлитъ дѣлается желтоватымъ и даже желтовато-бурымъ и чернымъ. Перлитъ всегда состоитъ изъ 2 элементовъ, чаще всего имѣющихъ видъ пластинокъ (Фиг. 12 и 13 т. II), а рѣже—крошечныхъ зеренъ (Фиг. 14 т. II), при чемъ эти элементы чередуются другъ съ другомъ. Обѣ формы перлита разнятся между собою твердостью, а иногда и окраской. Перлитъ, повидимому, состоитъ изъ феррита и цементита. Иногда встрѣчается переходная форма, названная Осмондомъ сорбитомъ, который находится тогда въ перлитѣ вмѣстѣ съ ферритомъ и цементитомъ. Перлитъ находится только въ тѣхъ сортахъ желѣза, въ которыхъ углеродъ находится по преимуществу въ видѣ карбида, что даетъ основаніе предполагать, что перлитъ въ своихъ твердыхъ частяхъ содержитъ углеродъ въ формѣ, одинаковой съ карбидомъ. Въ очень мягкихъ сортахъ желѣза перлитъ въ видѣ сѣтки разграничиваетъ зерна феррита (Фиг. 1 т. I) и наоборотъ, въ полутвердыхъ и твердыхъ сортахъ стали зерна перлита окаймлены сѣткою феррита (Фиг. 4, 6 т. I). Въ сѣрыхъ чугунахъ перлитъ группируется въ видѣ ѣлкообразныхъ, разрывчатыхъ кристалловъ, подобныхъ тѣмъ, что встрѣчаются въ усадочныхъ раковинахъ чугунныхъ и стальныхъ отливокъ (Фиг. 15 т. II).

d) Мартензитъ (по Осмонду) встрѣчается только въ томъ желѣзѣ, которое было закалено при температурѣ выше критической точки А, по Чернову, и содержитъ поэтому весь углеродъ въ формѣ углерода закала. Содержаніе углерода въ мартензитѣ мѣняется такъ, что его можно рассматривать какъ растворъ углерода и карбида Fe_3C въ желѣзѣ. Вслѣдствіе непостоянства въ количествѣ углерода, мартензитъ бываетъ различной твердости, но всегда тверже феррита и значительно мягче цементита. При полировкѣ съ протравой онъ или совсѣмъ не окрашивается, или окрашивается въ слабо желтый цвѣтъ, а при протравѣ, по большей части, въ бурый. Окраска обманчивое средство для распознаванія; характерно только для мартензита его игольчатое строеніе: иглы пересѣкаются въ 2—3 направленіяхъ (Фиг. 16 т. II, 17 т. III), чѣмъ мартензитъ существенно разнится отъ перлита, зерна котораго всегда размѣщены параллельно (Фиг. 12 т. II, 19 т. III).

e) Графитъ и углеродъ отжига металлографически очень мало разнятся между собою (Фиг. 18, 19 т. III, 15 т. II).

Итакъ, сопоставляя вмѣстѣ всѣ характерныя черты отличія микроскопическихъ элементовъ структуры желѣза, получимъ слѣдующую таблицу:

| Элементы микроструктуры желѣза. | Состояніе элементовъ послѣ рельефной полировки на резиновой подкладкѣ съ порошкомъ и водой. | Состояніе элементовъ послѣ полировки съ протравой на резиновой подкладкѣ съ порошкомъ и водой. | Состояніе элементовъ послѣ протравъ. | | | Предполагаемый химическій составъ. | Состояніе элементовъ при раствореніи въ холодной H_2SO_4 (1:10) въ безвоздушномъ пространствѣ (по Müller'y). |
|---------------------------------|---|--|--|---|---|---|--|
| | | | 1 ч. соляной кислоты + 500 ч. алкоголя. | Тинктура іода. | Другія протравы. | | |
| Ферритъ. | Мягкая часть структуры шлифа; кажется всегда углубленнымъ среди другихъ элементовъ структуры. | Не окрашивается и только послѣ долгой полировки нѣкоторыя зерна феррита приобретаютъ слегка желтоватый цвѣтъ. | При очень слабомъ травленіи не окрашивается, но при сильномъ — нѣкоторые кристаллы остаются блестящими, а другіе приобретаютъ различныя оттѣнки, отъ желтаго до темнаго (почти чернаго). | Послѣ протравы изъ хлористо-амміачой соли мѣди (1:12) при большомъ увеличеніи ясно замѣтно ätzfiguren, которыя служатъ характернымъ признакомъ присутствія феррита. | Безуглеродистое желѣзо или бѣдное углеродомъ желѣзо. | Растворяется. | |
| Цементитъ. | Твердая часть шлифа; обладаетъ приблизительно твердостью полевого шпата; всегда возвышается среди другихъ элементовъ шлифа. | Остается неокрашеннымъ и блеститъ какъ зеркало | — | — | Fe ₃ C; содержитъ углеродъ въ формѣ карбида. | Не растворяется. | |
| Перлитъ. | Средній по твердости между ферритомъ и цементитомъ; при рельефной полировкѣ выше перваго и ниже втораго. | При слабомъ увеличеніи кажется темно-окрашеннымъ, при большомъ увеличеніи кажется состоящимъ изъ двухъ составныхъ элементовъ различной твердости и окраски; очень рѣдко однообразно окрашенъ (Sorbit). Встрѣчается въ видѣ пластянокъ и очень рѣдко въ видѣ зеренъ | — | — | Ферритъ и цементитъ или ферритъ и Sorbit или цементитъ; содержитъ углеродъ въ формѣ карбида. | Ферритъ растворяется, но цементитъ остается не раствореннымъ. | |
| Мартензитъ. | Различной твердости, но всегда тверже феррита и мягче цементита. | Совѣмъ не окрашивается или очень слабо темноокрашенъ. При большомъ увеличеніи всегда имѣетъ видъ иглъ, пересекающихся въ 2—3 направленіяхъ. | Отъ желтаго до темно-чернаго цвѣта окрашенъ. имѣетъ видъ различныхъ | — | Плотное соединеніе изъ углерода или карбида (Fe ₃ C) въ желѣзѣ; содержитъ углеродъ въ формѣ углерода закала. | Растворяется, выделяя углеводороды | |

Изъ всего предыдущаго не трудно замѣтить, что элементы структуры желѣза зависятъ отъ химическаго состава послѣдняго и отъ условій механической обработки вообще, но кромѣ этого находятся и между собою въ строгой зависимости, а поэтому нѣкоторые авторы пытались на основаніи своихъ наблюденій выразить эту зависимость аналитически. Такъ для опредѣленія процентнаго содержанія шлифа Sauveur*) на основаніи своихъ наблюденій даетъ такія формулы:

а) Для желѣза съ содержаніемъ углерода менѣе, нежели 0,8⁰/о.

1) отожженнаго.

$$\text{карбидъ (Fe}_3\text{C)} = \frac{100 \cdot \text{C}}{6,67} \infty = 15 \times \text{C};$$

$$\text{перлитъ} = \frac{100}{12} \times \text{карбидъ};$$

$$\text{ферритъ} = 100 - \text{перлитъ};$$

2) закаленнаго: — мартензитъ = 100⁰/о.

Примѣчаніе. Эти уравненія имѣютъ значеніе только для тѣхъ сортовъ желѣза, у которыхъ содержаніе углерода не менѣе 0,14⁰/о.

в) Для желѣза съ содержаніемъ углерода болѣе 0,8⁰/о.

1) отожженнаго:

$$\text{карбидъ (Fe}_3\text{C)} = 15 \times \text{C};$$

$$\text{чистое желѣзо (ферритъ)} = 100 - (15 \times \text{C});$$

$$\text{перлитъ} = (100 : 88) \times \text{ферритъ};$$

$$\text{цементитъ} = 100 - \text{перлитъ};$$

2) закаленнаго:

$$\text{цементитъ} = \frac{100 \cdot \text{C} - 90}{5,77};$$

$$\text{мартензитъ} = 100 - \text{цементитъ}.$$

До сего времени еще не вполне выяснены различныя соединенія, въ которыя вступаетъ желѣзо съ углеродомъ подъ вліяніемъ нагрѣва и постороннихъ примѣсей. Вслѣдствіе этого многія авторы одни и тѣ же элементы структуры желѣза называютъ различно, такъ что начинающій изучать металлографію находитъ по этому вопросу страшный хаосъ въ литературѣ. — Чтобъ нѣсколько облегчить эту задачу А. Ржешотарскій**) приводитъ таблицу, въ которой сгруппированы всѣ названія, данныя различными авторами одному и тому же элементу.

*) „Trans. Am. Inst. Mining Eng.“ Colorado Meeting Sept. 1896.

**) „Journal Iron and Steel Inst.“ 1896. Vol. II. p. 191.

**) А. Ржешотарскій. Микроскопическія изслѣд. желѣза. Стр. 64. 1899 г.

| Osmond. | Howe. | Wedding. | Arnold. | Ржеваторскій. | Sorby. | Heyn. |
|-------------|------------|--|---------------------------------|---------------|------------|------------|
| Ferrite | Ferrite. | Homogenes. Eisen weicher als Krystall- eisen. | Ferrite (pure iron). | Желѣзистъ. | Ferrite. | Ferrit. |
| Sorbite. | Pearlite. | Krystalleisen | The pearly Constituent. | Сталиѣ. | Pearlite. | Pearlit |
| Cementite. | Cementite. | Homogenes. Eisen härter als Krystall- eisen. | Cristallized. Normal Carbid. | Цементитъ. | Cementite. | Cementit. |
| Martensite. | Hardenite. | — | Sub-Karbid. | Закалитъ | Hardenite. | Martensit. |

Заканчивая металлографическое строение желѣза, нельзя не сказать нѣсколько словъ о зависимости между микроскопическимъ строениемъ желѣза и его физическими свойствами; послѣднія цѣликомъ находятся въ зависимости отъ характера и вида первыхъ. Такъ углеродъ закала увеличиваетъ твердость, повышаетъ предѣлъ упругихъ измѣненій и крѣпость, но уменьшаетъ процентное удлинение и сжатіе. Углеродъ карбида дѣйствуетъ обратно. Кромѣ этого вполне уже установлено, что крѣпость желѣза растетъ съ содержаніемъ мартензита и обратно—уменьшается съ увеличеніемъ содержанія перлита. Пустоты, шлаки, цементитъ и графитъ уменьшаютъ плотность желѣза, а слѣдовательно и его крѣпость, увеличивая при этомъ удлинение и сжатіе. Подобнымъ же образомъ дѣйствуетъ и величина кристалловъ. Вообще можно сказать, что прочность желѣза растетъ:

1) отъ присутствія элементовъ, которые сами обладаютъ большою крѣпостью (никкель, кобальтъ);

2) отъ присутствія элементовъ, которые задерживаютъ выдѣленіе углерода въ графитъ или карбидъ (марганецъ до извѣстнаго 0/0 содержанія, хромъ, вольфрамъ и титанъ);

3) отъ присутствія элементовъ, которые уменьшаютъ величину кристалловъ (незначительное количество кремнія);

4) отъ присутствія элементовъ, которые уплотняютъ массу металла (кремній и алюминій, если они находятся въ крайне незначительномъ количествѣ) и

5) отъ присутствія элементовъ, которые способствуютъ выдѣленію твердыхъ иглообразныхъ кристалловъ.

Крѣпость желѣза уменьшается:

1) Отъ присутствія элементовъ, которые вызываютъ выдѣленіе графита или карбида (кремній, фосфоръ и сѣра) или только способствуютъ подобному выдѣленію (мѣдь);

2) Отъ присутствія элементовъ, которые увеличиваютъ величину кристалловъ (фосфоръ и значительное содержаніе марганца);

3) Черезъ не металлическія примѣси, которыя раздѣляютъ кристаллы металла (газы, большое количество кремнія, соединенія мѣди и сѣры, марганца и сѣры, окислы).

Большая величина кристалловъ вызываетъ хладколомкость (фосфоръ), а постороннія примѣси, которыя сами плавятся при высокой температурѣ (сульфиды) или мѣшаютъ свариванію отдѣльныхъ кристалловъ металла (окислы), вызываютъ красноломкость.

Albert Sauveur *) очень много занимался вопросомъ о вліяніи величины кристалловъ металловъ на его физическія свойства и пришелъ къ такого рода заключеніямъ:

1) Медленное, покойное охлажденія желѣза отъ нѣкоторой температуры X вызываетъ измѣненіе въ строеніи металла.

2) Покойное, медленное охлажденіе желѣза отъ температуры ниже X не вызываетъ никакихъ измѣненій въ строеніи металла.

3) Положеніе температуры X зависитъ отъ химическаго состава желѣза, такъ примѣси — углеродъ и фосфоръ понижаютъ эту температуру хотя въ различныхъ отношеніяхъ.

4) Углеродъ и фосфоръ сообщаютъ желѣзу крупную кристаллизацию.

5) Чѣмъ чище желѣзо, тѣмъ выше критическая температура X.

6) Чѣмъ выше температура нагрѣва, отъ которой охлаждено желѣзо, тѣмъ крупнѣе кристаллизация послѣдняго.

7) Чѣмъ медленнѣе идетъ охлажденіе желѣза, тѣмъ значительнѣе ростъ кристалловъ.

8) При механической обработкѣ кристаллы могутъ быть измельчены, но достаточно желѣзо нагрѣть до температуры X или выше ея и медленно охладить, какъ желѣзо снова принимаетъ свое прежнее строеніе.

Насколько вліяетъ величина кристалловъ на механическія свойства желѣза, можно судить изъ слѣдующихъ опытовъ Sauveur'a **). Sauveur производилъ опыты съ рельсами и бралъ для этого пробныя бруски изъ разныхъ частей рельса, — головы, ножки и подошвы; одна

*) Baumaterialienkunde S. 252. 1900

**) Stahl und Eisen. S. 280. 1899.

партія рельсъ была прокатана при очень высокой температурѣ, а другая при низкой. Разница въ мех. свойствахъ видна изъ слѣдующей таблицы.

| МѢСТО ВЗЯТІЯ ПРОБЫ. | Величина кристалловъ въ 0,0001 qmm | Коефициентъ разрыва δ_B въ kg/qmm. | Удлиненіе δ въ % | Сжатіе q въ % | Температура прокатки. |
|------------------------|--|--|-------------------------------|---------------|--------------------------|
| Головка рельса | 148 | 69,6 | 15 | 20 | Бѣлое каленіе |
| Нога. | 118 | 70,3 | 19 | 22 | |
| Подошва | 62 | 71,7 | 22,5 | 35 | |
| Головка рельса | 86 | 71,0 | 20,5 | 23 | Красное каленіе |
| Нога. | 75 | 72,4 | 20 | 32,5 | |
| Подошва | 35 | 73,0 | 21 | 39 | |

Для большей наглядности результаты надлюденій Sauveur'a надъ сталью, у которой величина кристалловъ не превышаетъ 0,0225 qmm., изображены въ видѣ кривыхъ (Фиг. 1. Таб. V), откуда ясно видно, какъ главныя механическія свойства стали убываютъ съ величинной кристалловъ. Эти наблюденія Sauveur'a вполне подтвердились опытами N. N. Ljamin'a *).

Изъ наблюденій Sauveur'a H. v. Jüptner **) вывелъ нѣсколько формулъ для опредѣленія механическихъ свойствъ желѣза въ зависимости отъ величины кристалловъ, такъ:

а) Разрывающее усиліе.

$$\delta_B = 75,5 - 0,004 \cdot K.$$

б) Удлиненіе.

$$\delta = 26,5 - 0,0735 \cdot K.$$

γ) Сжатіе.

а) для $K < 130$ — $q = 47 - 0,2 \cdot K$.

б) для $K < 130$ — $q = 29 - 0,07 \cdot K$.

Примѣчаніе: К средняя величина кристалловъ въ 0,0001 qmm; но этими формулами можно пользоваться только въ томъ случаѣ, когда величина кристалловъ измѣняется отъ 35 до 230, ибо дальше зависимость мех. свойствъ металла отъ величины кристалловъ принимаетъ видъ прямой.

*) Chem. Ztg. 21 Rep. p. 205.

**) Baumaterialienkunde. S. 252. 1900.

Для стали съ 1,10% С, 0,02% Si и 0,41% Mn. Howe *) даетъ такую зависимость между величиною кристалловъ въ qmm (A) и критической температурой T_{\max} (между 722° — 1050° С.).

$$T_{\max} = 680 + 281350 \cdot A.$$

Зависимость между величиною зеренъ металла и его мех. свойствами не трудно себѣ представить: допустимъ грубо, что весь металлъ состоитъ изъ шарообразныхъ кристалловъ, промежутки между которыми заполнены какимъ нибудь другимъ веществомъ. Тогда мех. свойства металла будутъ зависѣть отъ силъ сдѣвленія самихъ шарообразныхъ кристалловъ; сила же сдѣвленія кристалловъ будетъ тѣмъ больше, чѣмъ чаще между собою будутъ соприкасаться кристаллы и чѣмъ промежутки между ними будутъ меньше, т. е. чѣмъ меньше будутъ по величинѣ сами кристаллы.

Теорія сплавовъ. Всѣ сплавы вообще можно сравнить съ кристаллическими горными породами. Въ самомъ дѣлѣ, однородные сплавы, которые въ твердомъ состояніи были бы одинаковы въ разныхъ мѣстахъ какъ физически, такъ и химически принадлежатъ къ исключеніямъ. Дѣленіе породъ на простыя и сложныя допустимо и для сплавовъ, а въ особенности же для различныхъ сортовъ желѣза. Подъ простыми кристаллическими породами понимаютъ такія, которыя состоятъ изъ одного и того же образующаго породу минерала, какъ напр. мраморъ. Въ рядѣ съ ними можетъ быть поставлено очень бѣдное углеродомъ желѣзо, которое состоитъ изъ маленькихъ, хорошо видныхъ подъ микроскопомъ, отдѣльныхъ кристалликовъ (почти) чистаго желѣза. (Фиг. 1 таб. I). Сложными кристаллическими породами считаютъ тѣ, которыя состоятъ изъ смѣси различныхъ минераловъ, напр. гранитъ. Съ этими породами сравнимы сорта желѣза, богатые углеродомъ, гдѣ кромѣ желѣза есть и другія составныя части (Фиг. 19 т. III, 15, 11 т. II).

Многіе металлурги, а особенно Ледебуръ, давно уже указывали на то, что сплавы, въ томъ числѣ и сплавы желѣза съ углеродомъ, слѣдуетъ причислять къ затвердѣвшимъ растворамъ, а изслѣдованія новѣйшихъ химиковъ дѣйствительно подтвердили взглядъ пр. Лебедура.

Если 10% растворъ поваренной соли въ водѣ постепенно охлаждать, то мы замѣтимъ, послѣ постепеннаго паденія температуры, около -8° С внезапное замедленіе, сопровождающееся выдѣленіемъ кристалловъ льда. Приблизительно при -22° С встрѣтится вторая остановка термометра, причемъ вся остальная жидкая масса раствора застынетъ и температура во все время застыванія остается неизмѣнной (-22° С). Только послѣ полнаго застыванія всей массы начинается дальнѣйшее

*) Journ. „Iron Steel. Snst.“ 1891, 1 pag. 199.

пониженіе температуры. Если для разныхъ растворовъ процентное содержаніе поваренной соли откладывать по оси абциссъ, а по оси ординатъ соотвѣтственныя температуры, при которыхъ наблюдались замедленія или остановки въ паденіи ртутнаго столба термометра, то получимъ „кривую точекъ застыванія“ (Фиг. 1а таб. V), построенную впервые Guthrie въ 1876 году.

Такая кривая состоитъ изъ 3 частей: 2 вѣтвей АВ и ВС, пересекающихся въ точкѣ В, и горизонтали ДЕ, проходящей черезъ точку В. Вѣтвь АВ изображаетъ постепенное затвердѣваніе растворителя, т. е. воды, а ВС—затвердѣванія раствореннаго тѣла, т. е. поваренной соли. Линія ДЕ соотвѣтствуетъ самой низкой точкѣ въ кривой затвердѣванія, которая при всякомъ содержаніи соли въ водѣ приходится на -22° С. При этой температурѣ изъ всѣхъ растворовъ поваренной соли въ водѣ всегда выдѣляется плотная смѣсь кристалликовъ соли и льда въ пропорціи: $23,5\%$ поваренной соли на $76,5\%$ льда. Точка затвердѣванія раствора съ такимъ относительнымъ количествомъ составныхъ частей только одна (В) и наз. эвтектической точкой, а самый растворъ, соотвѣтствующій точкѣ (В),—эвтектической смѣсью. Всѣ растворы съ содержаніемъ соли меньше, чѣмъ въ эвтектической смѣси, выдѣляютъ въ періодъ, изображенный кривой АВ, кристаллы льда. Благодаря этому растворъ поваренной соли обогащается солью, а когда содержаніе соли въ оставшемся жидкомъ растворѣ достигаетъ предѣла, соотвѣтствующаго эвтектической смѣси, то и эта своеобразная смѣсь изъ частичекъ льда и эвтектической смѣси также застынетъ. Аналогично этому раствору,—растворы съ содержаніемъ поваренной соли больше, чѣмъ $23,5\%$, при измѣненіи по кривой ВС, выдѣляютъ кристаллы поваренной соли до тѣхъ поръ, пока опять оставшаяся жидкая часть раствора станетъ эвтектической смѣсью и застынетъ при -22° С.

Совершенно аналогичную картину, судя по даннымъ Neusock и Neville, представляетъ кривая затвердѣванія сплавовъ серебра и мѣди (Фиг. 2 таб. V), гдѣ по оси абциссъ отложено процентное содержаніе въ сплавѣ мѣди, а по оси ординатъ соотвѣтственныя температуры застыванія. Здѣсь вѣтвь АВ соотвѣтствуетъ періоду выдѣленія кристалликовъ серебра, ВС—кристалликовъ мѣди и ДЕ—точкѣ застыванія эвтектической смѣси, составъ которой 28% мѣди на 72% серебра при точкѣ застыванія 778° С. Эвтектическій сплавъ въ сравненіи со всѣми другими имѣетъ самую низкую точку застыванія, а слѣдов. и точку плавленія, однообразенъ по строенію, почему его и назвали эвтектическимъ (хорошо построенный). Эвтектическая смѣсь состоитъ изъ мелкихъ хорошо перемѣшанныхъ кристалликовъ смѣшиваемыхъ элементовъ сплава. Сплавы, у которыхъ мѣди меньше 28% , въ твердомъ со-

стояніи состоятъ изъ кристалловъ серебра, погруженныхъ въ массу эвтектической смѣси, количество которой все растеть, пока процентное содержаніе мѣди въ сплавѣ не дойдетъ до 28⁰/₀, тогда весь сплавъ будетъ эвтектическимъ. Сплавы, въ которыхъ мѣди больше 28⁰/₀, представляются въ твердомъ состояніи въ видѣ кристалловъ мѣди, погруженныхъ въ эвтектическую смѣсь, количество которой по мѣрѣ увеличенія содержанія мѣди уменьшается.

Вполнѣ аналогичная картина со сплавомъ мѣди и серебра наблюдается при охлажденіи многихъ другихъ сплавовъ, какъ-то: свинца и цинка, олова и свинца, свинца и антимонія, мѣди и окиси мѣди и многихъ другихъ. Но не всѣ сплавы имѣютъ кривыя охлажденія подобныя предыдущимъ, такъ для сплава изъ мѣди и антимонія кривыя охлажденія, какъ показали наблюденія Le Chatelier*), имѣетъ нѣсколько иной видъ (*Фиг. 3 таб. V*). Такая кривая можетъ быть раздѣлена на двѣ: ABE и ECD, изъ которыхъ каждая по характеру вполнѣ напоминаетъ предыдущія. Въ точкѣ E кривая застыванія дѣлаетъ переломъ и въ это время изъ сплава выдѣляется химическое соединеніе изъ мѣди и антимонія, соотвѣтствующе формулѣ $Sb Cu_2$ (процентное содержаніе такого химическаго соединенія $Sb Cu_2$ опредѣляется абсциссою точки E,—G).

Обозначимъ обѣ составныя части такого сплава черезъ K и L, а третье тѣло, хим. соединеніе изъ K и L,—M; тогда микроструктура сплава, кривая застыванія котораго ABE, есть смѣсь изъ элементовъ K и M, а микроструктура сплава съ E C D есть смѣсь изъ элементовъ M и L. Въ точкахъ B и C изъ сплава выдѣляются эвтектическія смѣси,—въ B—эвтектическая смѣсь изъ K+M, а въ C—изъ M+L. Такимъ образомъ микроскопическое строеніе такого двойного сплава изъ элементовъ K и L будетъ имѣть такой характеръ:

- 1) Кристаллы элемента K, окруженные эвтектической смѣсью изъ K+M (соотвѣтствуетъ кривой AB).
- 2) Кристаллы элемента M, окруженные эвтектическою смѣсью изъ K+M (соотвѣтствуетъ кривой BE).
- 3) Кристаллы элемента M, окруженные эвтектическою смѣсью изъ M+L (соотвѣтствуетъ кривой EC).
- 4) Кристаллы элемента L, окруженные эвтектическою смѣсью изъ M+L (соотвѣтствуетъ кривой CD).

Микроскопическія изслѣдованія Charpy**) и Stead***) сплавовъ мѣди и антимонія вполнѣ подтверждаютъ справедливость подобныхъ разсужденій.

*) Bul. d. l. Soc. d'Encour. 1895. p 573.

**) Bul. d. l. Soc. d'Encour. Мартъ 1898.

***) Jос. chem Ind. Декабрь 1897.

Такимъ образомъ сплавы, подобныя сплавамъ мѣди и антимонія, имѣютъ только нѣсколько иной формы кривую застыванія, а по характеру выдѣленія составныхъ частей сплава въ періодъ застыванія ничѣмъ не отличаются отъ предыдущихъ.

Для наблюденія характерныхъ точекъ застыванія всѣхъ легко плавкихъ сплавовъ примѣняютъ очень простой по устройству приборъ, схематически представленный на чер. 4 таб. V. Расплавленный сплавъ выливаютъ въ цилиндръ В, оканчивающійся на конусъ съ трубкою; коническое отверстие цилиндра В можетъ плотно закрываться шаровымъ концомъ стержня А, а на концѣ трубки находится платиновая сѣтка Е; вокругъ цилиндра В находится соответственная ванна СС. Во время наблюденій весь приборъ помѣщаютъ въ соответствующія условія и повременамъ поднимаютъ стержень А; тогда жидкія части сплава проходятъ черезъ сѣтку Е на дно прибора Д, а твердыя (кристаллы) остаются на сѣткѣ. Приборъ крайне простъ по устройству, дешевъ и даетъ прелестные результаты.

Всѣмъ извѣстенъ тотъ фактъ, что сѣра при температурѣ ниже $95,6^{\circ}$, спустя же короткій срокъ послѣ плавленія, измѣняетъ свое строеніе, цвѣтъ и измѣняется въ удѣльномъ вѣсѣ съ 1,96 на 2,07. Такое измѣненіе тѣла изъ одного состоянія въ другое при чемъ измѣняются только физическія свойства тѣла наз. аллотропіей. Какъ при химическомъ, такъ и при физическомъ измѣненіи тѣлъ всегда происходитъ выдѣленіе или поглощеніе тепла, а слѣдовательно критическія точки тѣла, при которыхъ происходитъ его измѣненіе, можно наблюдать.— Оказывается, что сплавъ желѣза съ углеродомъ (углеродистое желѣзо), при медленномъ охлажденіи, претерпѣваетъ измѣненія вполне аналогичныя съ аллотропіей сѣры.

Самый простой способъ уловить критическія точки сплава состоитъ въ слѣдующемъ: расплавленный сплавъ помѣщаютъ въ хорошо изолированный сосудъ, чтобы тепло не излучалось, опускаютъ туда термометръ и наблюдаютъ по часамъ время охлажденія сплава. Во время перехода сплава черезъ критическія точки будетъ происходить или поглощеніе или же выдѣленіе тепла и въ силу этого будетъ замѣчаться ускоренное или замедленное охлажденіе самого сплава. Иногда критическія точки сплава протекаютъ съ такимъ изобиліемъ выдѣленія тепла, что нагрѣваніе сплава становится замѣтнымъ даже простымъ глазомъ. Чтобы наблюденія за критическими точками сплавовъ сдѣлать болѣе точными, Roberts-Austen, главнымъ образомъ для сплавовъ углеродистаго желѣза, примѣнилъ аппаратъ такого устройства: (Фиг. 5 таб. V) передъ зеркаломъ гальванометра G находится въ деревянномъ колпакѣ электрическая лампа А₁, свѣтъ отъ которой проходитъ черезъ го-

ризонгальную щель съ вертикальною нитью (щель сдѣлана въ стѣнкѣ колпака лампы A_1), и ударяетъ въ зеркало гальванометра. Отраженный свѣтъ гальванометра проходитъ рядъ призмъ, помѣщенныхъ у самаго гальванометра, и ударяетъ въ фотографическую пластинку P , оставляя на ней слѣдъ въ видѣ кривой линіи, абсциссы которой пропорціональны времени, а ординаты—силѣ тока гальванометра; сила же тока гальванометра, какъ увидимъ ниже, находится въ прямой зависимости съ измѣненіемъ температуры сплава. Фотографическая пластинка P закрѣплена на поплавкѣ F , который можетъ опускаться или подниматься, смотря потому вытекаетъ или втекаетъ вода въ сосудъ H . Наблюдаемый же кусокъ сплава B помѣщаютъ внутри фарфоровой трубки A , дѣлаютъ въ кускѣ сплава отверстіе и помѣщаютъ туда термоэлементъ изъ 90% платины и 10% иридія, а проводникъ отъ элемента соединяютъ съ гальванометромъ G .

Въ послѣднее время Roberts-Austen сдѣлалъ маленькое измѣненіе въ своемъ аппаратѣ, а именно: онъ беретъ два термоэлемента изъ Pt и Ir и соединяетъ ихъ, какъ показано на чер. 6 таб. V, съ двумя гальванометрами G_1 и G_2 , изъ которыхъ G_2 отличается большою чувствительностью. При этомъ одинъ термоэлементъ A_1 лежитъ въ кускѣ сплава B , кривая охлажденія котораго уже точно опредѣлена, а другой A —въ испытуемомъ кускѣ C . При такомъ расположеніи приборовъ, какое указано на чер. 6, гальванометръ G_2 будетъ показывать разницу температуръ термоэлементовъ A и A_1 . На фиг. 7 таб. V представлены кривыя охлажденія углеродистаго желѣза (съ 0,1% C), ординаты которой даютъ разницу показаній термоэлементовъ, а абсциссы соответствующее время; какъ видно изъ характера кривой наблюдаемое желѣзо имѣло три критическихъ точки: A_3 при $862^{\circ} C$, A_2 при $767^{\circ} C$ и A_1 при $690^{\circ} C$.

При помощи такого чувствительнаго прибора Roberts-Austen изслѣдовалъ цѣлый рядъ сплавовъ желѣза съ углеродомъ недалеко отъ точекъ затвердѣванія. Свои наблюденія онъ представляетъ въ видѣ кривыхъ (Фиг. 8 таб. V), абсциссы которыхъ пропорціональны содержанию углерода въ желѣзѣ, а ординаты—температурамъ, при которыхъ наблюдались точки останова термоэлемента. Характерныя точки затвердѣванія углеродистаго желѣза представлены верхней кривой $a b c d e$. При чемъ линія ab указываетъ температуры, при которыхъ различныя по составу углеродистые сплавы желѣза начинаютъ застывать. Чистое желѣзо застываетъ при $1600^{\circ} C$, а затѣмъ точка плавленія желѣза падаетъ съ возрастаніемъ содержания углерода и для сплава съ 4,3% C точка плавленія лежитъ въ b на прямой de , соответствующей температурѣ $1130^{\circ} C$. Всѣ углеродистые сплавы желѣза съ содержаніемъ C болѣе

1,2⁰/₀ при остываніи всегда имѣютъ двѣ характерныя точки: одну на линіи ab или bc и вторую на de; только сплавъ съ 4,3⁰/₀ С имѣетъ одну характерную точку застыванія—b.

Бросая бѣглый взглядъ на кривую застыванія углеродистаго желѣза, полученную Roberts-Austen'омъ, и на ранѣе разобранныя кривыя застыванія поваренной соли и сплавовъ вообще, нельзя не замѣтить поразительнаго сходства, но только спрашивается, что-же здѣсь будетъ эвтектической смѣсью, растворителемъ и растворимымъ веществомъ. Появленіе впервые второй характерной точки у сплава съ 1,2⁰/₀ показываетъ, что до этого момента изъ сплава выдѣляется только плотное соединеніе желѣза съ углеродомъ, которое и имѣетъ только одну точку застыванія. Если же содержаніе углерода въ желѣзѣ возрастетъ до 1,2⁰/₀, то въ сплавѣ при охлажденіи сначала застынутъ частицы углеродистаго желѣза (приблизительно съ 1,2⁰/₀ С) и дадутъ точку на кривой ab, а остатокъ жидкаго сплава отъ выдѣленія первыхъ углеродистыхъ частицъ желѣза будетъ постепенно обогащаться углеродомъ до тѣхъ поръ, пока содержаніе углерода въ сплавѣ не возрастетъ до 4,3⁰/₀, тогда застынетъ и этотъ остатокъ сплава и дастъ при своемъ застываніи вторую точку на прямой de. Такимъ образомъ, при застываніи углеродистыхъ сплавовъ съ содержаніемъ С болѣе, чѣмъ 1,2⁰/₀, но менѣе 4,3⁰/₀, изъ сплава сначала выдѣляются твердыя углеродистыя частицы желѣза (назовемъ ихъ Fe C) и даютъ при своемъ застываніи первую характерную точку на кривой ab; но по мѣрѣ выдѣленія частицъ Fe C остатокъ жидкаго сплава обогащается углеродомъ, и какъ только содержаніе углерода въ этомъ остаткѣ жидкаго сплава достигнетъ 4,3⁰/₀, то и онъ застынетъ и дастъ вторую характерную точку застыванія на прямой de. Такая картина явленія наблюдается до тѣхъ поръ, пока содержаніе углерода въ сплавѣ не возрастетъ до 4,3⁰/₀; сплавъ съ 4,3⁰/₀ С имѣетъ только одну характерную точку (b)—точку застыванія при 1130°C. Если же содержаніе углерода въ сплавѣ желѣза будетъ болѣе 4,3⁰/₀, то при застываніи сплава сначала будетъ выдѣляться графитъ и дастъ первую характерную точку на кривой bc; но вслѣдствіе выдѣленія графита остатокъ жидкаго сплава будетъ терять часть своего углерода пока содержаніе послѣдняго не понизится до 4,3⁰/₀, тогда сплавъ застынетъ весь и дастъ вторую характерную точку на прямой de. Итакъ роль эвтектической смѣси, повидимому, въ обоихъ случаяхъ играетъ сплавъ желѣза съ 4,3⁰/₀ углерода. До содержанія углерода въ сплавѣ желѣза 4,3⁰/₀ изъ сплава при застываніи сначала выдѣляются плотныя углеродистыя частицы Fe C (ср. кристаллы льда), а послѣ—4,3⁰/₀ С—частицы графита (ср. поваренная соль), а слѣдовательно растворителемъ въ обоихъ слу-

чаяхъ является само углеродистое желѣзо. Въ результатѣ же по застываніи сплава мы имѣемъ: правѣе точки b —твердую массу изъ эвтектической смѣси (съ $4,3\%$ C) съ частицами графита, а лѣвѣе точки b ,—ту-же эвтектическую смѣсь, но только съ частицами (Fe C) другого по составу углеродистаго желѣза.

На характеръ кривой abc оказываетъ вліяніе скорость охлажденія сплава; такъ нѣкоторые сорта бѣлаго чугуна можно быстро охладить безъ выдѣленія графита, и частицы застывшаго сплава будутъ состоять только изъ частицъ цементита (карбида) и перлита, или же, при незначительномъ выдѣленіи графита,—изъ графита, цементита и перлита; но въ то-же время и послѣдняя точка застыванія эвтектическаго сплава для бѣлаго чугуна будетъ лежать гораздо ниже, чѣмъ для обыкновеннаго углеродистаго желѣза. Послѣднее обстоятельство дало поводъ Le Chatelier заключить о существованіи еще второй линіи XZ ,—линіи точекъ застыванія эвтектической смѣси для бѣлыхъ чугуновъ; но существованіе второй линіи XZ только гипотетическое и не подтвердилось обширными опытами Roberts-Austen'a. Итакъ при температурахъ выше кривой abc всѣ углеродистые сплавы желѣза находятся въ жидкомъ состояніи и однородны по составу, а ниже abc представляютъ или затвердѣвшее эвтектически углеродистое желѣзо (точка b), или же затвердѣвшую смѣсь изъ частицъ плотнаго углеродистаго желѣза (Fe C) или графита въ средѣ эвтектически углеродистаго желѣза.

Если мы прослѣдимъ охлажденіе углеродистаго желѣза ниже температуры 1000° C до 650° , то замѣтимъ нѣсколько критическихъ точекъ, сопровождающихся выдѣленіемъ тепла. Такое выдѣленіе тепла, конечно, зависитъ не отъ перехода сплава изъ жидкаго состоянія въ твердое, но отъ перемѣны въ молекулярномъ строеніи сплава (отъ аллотропіи сплава). Кривая такихъ критическихъ точекъ, впервые изображенная Осмондомъ и окончательно подтвержденная Roberts-Austen'омъ, представлена на фиг. 8—ABCDE и по характеру вполне напоминаетъ кривую застыванія сплавовъ вообще. Принимая по Осмонду, что выше точекъ кривой ABC сплавъ представляется въ видѣ раствора карбида (нѣкоторой разновидности углеродистаго желѣза,—Fe₃C), увидимъ, что кривая AB соотвѣтствуетъ выдѣленію кристалловъ чистаго растворителя, т. е. феррита, а кривая BC—выдѣленію чистаго раствореннаго тѣла, т. е. карбида (цементита). Точка B соотвѣтствуетъ одновременному выдѣленію обоихъ тѣлъ въ видѣ эвтектической смѣси—перлита. Всѣ сплавы съ содержаніемъ углерода меньше того, которое соотвѣтствуетъ эвтектической смѣси ($0,8\%$), въ твердомъ видѣ состоятъ изъ зеренъ феррита, окруженныхъ эвтектическою смѣсью—перлитомъ. Количество перлита въ массѣ

растетъ, а феррита уменьшается до тѣхъ поръ пока содержаніе углерода въ сплавѣ не станетъ равнымъ $0,8\%$, тогда вся масса сплава будетъ состоять только изъ перлита. Сплавъ съ содержаніемъ С больше, чѣмъ $0,8\%$ состоитъ изъ выдѣлившихся сначала кристалловъ цементита (карбида), окруженныхъ перлитомъ. Металлографіей все это вполне подтверждено, такъ что теорія Осмонда и Roberts-Austen'a является хорошо обоснованной. Вліяніе прямой FG на строеніе углеродистаго желѣза еще недостаточно ясно установлено, а поэтому я могъ бы, ради краткости, совсѣмъ ее не разсматривать, чтобы не было надобности вдаваться въ чисто теоретическую и еще спорную область аллотропической теоріи Осмонда. Если мы будемъ разсматривать углеродистый сплавъ желѣза съ содержаніемъ С около $0,4\%$, то окажется, что такой сплавъ при температурахъ выше 760°C представляется въ видѣ прочнаго раствора карбида въ желѣзѣ, т. е. въ видѣ мартензита. При охлажденіи ниже 760°C начинается выдѣленіе феррита, а растворитель—мартензитъ обогащается углеродомъ, и содержаніе углерода будетъ увеличиваться до тѣхъ поръ, пока при температурѣ 680°C (690°) его количество не возрастетъ до содержанія эвтектической смѣси ($0,8\%$ С), тогда при нижней точкѣ, соответствующей линіи DE, весь сплавъ превратится въ тѣсную смѣсь феррита и цементита, т. е. въ перлитъ. Обратный случай имѣетъ мѣсто при нагрѣваніи сплава, но тогда критическая точка, по большей части, появляется нѣсколько выше. Если же тотъ же самый желѣзо-углеродистый сплавъ закалить при температурахъ выше указываемыхъ линіей AB, то мартензитъ сплава останется въ твердомъ состояніи, а самъ сплавъ будетъ находиться въ состояніи пересыщенія; достаточно небольшого подъема температуры выше температуры, указываемой DE, чтобы это неустойчивое состояніе сплава нарушилось бы и перешло бы въ другое устойчивое, при которомъ углеродъ выдѣляется въ видѣ перлита (начинается отпускъ стали). Если же температура закала находится между AB и DE, то вмѣстѣ съ мартензитомъ образуется и ферритъ; закалка при температурѣ ниже DE оказываетъ на строеніе металла такое же вліяніе, какъ медленное охлажденіе.

Эвтектической сплавъ съ $0,8\%$ С, имѣющій только одну критическую точку, при температурахъ выше ея долженъ состоять только изъ мартензита, а ниже—только изъ перлита.

Резюмируя все сказанное выше о теоріи углеродистыхъ сплавовъ желѣза вообще, получимъ слѣдующую таблицу:

| СОДЕРЖАНІЕ УГЛЕРОДА МЕНЬЕ 0,8 ⁰ /о. | Содержаніе углерода 0,8 ⁰ /о. | Содержаніе углерода болѣе 0,8 ⁰ /о. |
|---|--|--|
| <p><i>А) Въ незакаленномъ желѣзѣ.</i></p> <p>Только ферритъ, если желѣзо очень бѣдно углеродомъ</p> <p>Ферритъ и перлитъ, если содержаніе углерода достаточно; количество перлита растетъ, а феррита уменьшается, если содержаніе углерода въ желѣзѣ повышается.</p> <p><i>В) Въ закаленномъ желѣзѣ. Точка закала лежитъ выше точки А, Чернова.</i></p> <p>Только ферритъ, если желѣзо очень бѣдно углеродомъ</p> <p>Ферритъ и мартензитъ при большемъ содержаніи углерода въ желѣзѣ. Количество мартензита зависитъ отъ содержанія углерода въ желѣзѣ и отъ температуры закала; при очень высокой температурѣ закала даже бѣдное углеродомъ желѣзо состоитъ (повидимому) изъ мартензита.</p> | <p>Только перлитъ.</p> <p>Только мартензитъ.</p> | <p>Перлитъ и цементитъ.</p> <p>Мартензитъ и цементитъ.</p> |

Такимъ образомъ предположеніе, что углеродистое желѣзо вполне аналогично со сплавами вообще и съ растворомъ поваренной соли въ водѣ въ частности, а кромѣ этого, подобно сѣрѣ, претерпѣваетъ аллотропическія измѣненія, — является вполне доказаннымъ.

Критическихъ точекъ у большинства сортовъ углеродистаго желѣза наблюдается три: Ag_3 , Ag_2 и Ag_1 ; наиболѣе важной и характерной точкой является Ag_2 , ибо желѣзо, нагрѣтое до Ag_2 , быстро теряетъ свои магнитныя свойства. Положеніе этой точки Ag_2 разными изслѣдователями опредѣляется различно, такъ:

| | |
|---|-------------------------------|
| Roberts-Austen опредѣляетъ ее между | 600 и 550 ⁰ С. |
| Curie | около 550 ⁰ С. |
| Arnold | между 525—400 ⁰ С. |
| Morris | около 420 ⁰ С. |
| Howe | ниже 260 ⁰ С. |

Данныя различныхъ авторовъ, какъ видно, сильно разнятся между собою, но не надо забывать, что положеніе критическихъ точекъ вообще, а въ частности Ag_2 зависитъ отъ химическаго состава испытуемаго желѣза, и точка Ag_2 лежитъ тѣмъ ниже, какъ показали наблюденія Curie, чѣмъ больше примѣсей содержитъ желѣзо. Но кромѣ этого на положеніе критическихъ точекъ вообще оказываетъ замѣтное вліяніе внѣшнее давленіе, подѣ которымъ происходитъ охлажденіе металла. Внѣшнее давленіе понижаетъ или повышаетъ критическія точки металла, все зависитъ отъ того, какое объемное измѣненіе металла наблюдается при переходѣ черезъ критическія точки. Такъ проф. Mallard и Le Chatelier, измѣняя искусственно внѣшнее давленіе, понизили критическую точку іодистаго серебра болѣе, чѣмъ на 100° *). Roberts-Austen**) подобнымъ же образомъ уменьшили рекалесценцію металловъ и вообще доказалъ, что сжатіе внѣшней оболочки стали при закалкѣ оказываетъ громадное вліяніе на структуру внутреннихъ частицъ закаливаемаго предмета; подобнаго же взгляда придерживается и пр. Akerman***)

Примѣненіе металлографіи. Что касается примѣненія металлографіи, то „я сдѣлалъ-бы ошибку“, говоритъ проф. Неуп, „еслибы началъ утверждать, что она призвана замѣнить практически испытанныя средства для испытанія желѣза: химическій анализъ и механическія испытанія матеріаловъ. Задача металлографіи не въ замѣнѣ, а въ дополненіи“. Металлографія наиболѣе важна какъ средство для изученія природы желѣза и примѣняется тамъ, гдѣ химическій анализъ, который въ данномъ случаѣ вполне сходенъ съ анализомъ камней, не даетъ достаточныхъ указаній для заключеній. Въ этомъ случаѣ металлографія оказываетъ намъ незамѣнимую услугу, и если бы мы упорно отказывались отъ нея, то это было бы равносильно тому, какъ если бы мы, отыскивая причины свойствъ какой нибудь каменной породы, напр. гранита, упрямо отказывались бы изслѣдовать изъ какихъ составныхъ частей состоитъ гранитъ и какія свойства имѣютъ эти части. Мало этого: сильное увеличеніе микроскопа открываетъ намъ пороки и недостатки металла, которые совсѣмъ не замѣтны невооруженному глазу, но очень часто влекутъ за собою существенныя поврежденія на практикѣ. Для примѣра укажу на случай, приводимый А. Ржешотарскимъ†), поломки вала, изготовленнаго однимъ германскимъ заводомъ для паровой машины въ Москвѣ. Хотя химическій составъ металла вполне

*) Comptes rendus. 1884. t. XCIX. p. 157.

**) Proc. Inst. Mech. Eng. 1893. p. 124.

***) Stahl und Eisen 1897. S. 913.

†) А. Ржешотарскій. Микроскопическія изслѣдованія желѣза. Стр. 100. 1898.

удовлетворялъ назначенной цѣли и, повидимому, изломъ былъ безъ пороковъ, но однако микроскопическія изслѣдованія обнаружили, что вся поверхность шлифа усѣяна мелчайшими чечевицеобразными язвинами, которыя, безъ сомнѣнія, и были причиною поломки вала (Фиг. 20 таб. III).

Нѣтъ ничего удивительнаго въ томъ, что прослойки шлака очень хорошо можно видѣть при помощи микроскопа (Фиг. 21 таб. III), а также внутреннія рванины, полученныя во время прокатки металла (Фиг. 22 таб. III), газовые пузыри мельчайшей формы (Фиг. 23, 24 таб. III), совершенно незамѣтные невооруженному глазу, и мѣста сварки кусковъ желѣза (Фиг. 25 таб. IV).

Нѣкоторые металлурги позднѣйшаго времени дѣлали попытки примѣнить микроскопію для опредѣленія вліянія постороннихъ примѣсей на структуру и качества желѣза. Такъ по наблюденіямъ А. Ржешотарскаго улучшающія свойства никкеля состоятъ въ томъ, что ферритъ подъ вліяніемъ никкеля выдѣляется въ видѣ весьма сложной сѣтки и, какъ бы гвоздями, соединяетъ зерна перлита (Фиг. 26 таб. IV). Чѣмъ больше содержаніе никкеля въ желѣзѣ, тѣмъ сильнѣе увеличивается связь зеренъ перлита,—развѣтвленія феррита глубже проникаютъ въ зерна перлита. (Фиг. 27 таб. IV). Видъ зеренъ феррита въ никкелевой стали и ихъ относительная твердость указываютъ, что зерна феррита состоятъ не изъ чистаго желѣза, а изъ сплава желѣза съ никкелемъ. Такое развѣтвленіе зеренъ феррита въ зернахъ перлита придаетъ никкелевой стали большую вязкость и тягучесть. Обширныя химическія и микроскопическія изслѣдованія Андруса*) надъ различными поломками локомотивныхъ осей, бандажей, рельсъ и гребныхъ винтовъ позволяютъ считать, что главной причиною этихъ несчастныхъ случаевъ было присутствіе сѣры. Оказывается, что сѣра, давая нѣкоторыя химическія соединенія съ элементами желѣза, образуетъ вкрапины, на подобіе газовыхъ пузырей, среди структуры желѣза и тѣмъ, конечно, значительно ослабляетъ сопротивленіе металла (Фиг. 28, 29 таб. IV). (Черныя пятна на шлифахъ есть сѣрнистыя соединенія металла,—вкрапины).

Только благодаря наблюденіямъ металлографіи удалось подтвердить весьма серьезную гипотезу пр. Чернова о закалкѣ и отжигѣ стали. По вопросу о ликваціяхъ металлографія тоже можетъ дать весьма цѣнныя указанія. Явленія выдѣленія феррита въ цементитѣ, въ широкомъ смыслѣ слова, надо причислять къ ликваціямъ. Нѣтъ никакого углеродистаго желѣза, кромѣ эвтектическаго которое, не проявляло бы

*) Microscopic interval flaws inducing fracture in steel by Thomas Andrews London. 1896.

ликваціи. Но въ болѣе узкомъ смыслѣ слова подѣ ликваціей желѣза разумѣютъ явленіе обогащенія содержанія примѣсей въ той части сплава, которая затвердѣваетъ послѣ всѣхъ, а это уже прямо вытекаетъ изъ теоріи растворовъ. Въ слабыхъ растворахъ сначала застываетъ чистый растворитель, въ данномъ случаѣ углеродистое желѣзо, жидкая же масса еще болѣе обогащается посторонними тѣлами, скопляется въ срединѣ болванки и застываетъ. Аналитически это уже давно доказано, а металлографія даетъ яркую картину этого явленія, приготавливая для этого шлифы путемъ протравъ (Фиг. 30, 31 таб. IV).

Явленіе ликваціи болѣе серьезныя послѣдствія вызываетъ при отлитіи болванокъ изъ желѣза, предназначенныхъ для дальнѣйшей обработки, ибо скопленіе постороннихъ примѣсей въ срединѣ болванки значительно понижаетъ ея однородность и мех. свойства. Анализы такихъ отдѣленій въ срединѣ болванки даютъ слѣдующіе результаты*).

| Fe. | Mn O. | Si O ₂ . | Ca O. | S. | P ₂ O ₅ . |
|-------|-------|---------------------|-------|------|---------------------------------|
| 24,74 | 63,03 | 9,16 | 0,64 | 0,61 | 0,227 |
| 27,01 | 59,05 | 10,18 | 0,84 | 0,76 | 0,316 |
| 23,12 | 71,02 | 5,01 | 0,21 | — | 0,090 |

Такимъ образомъ внутреннія вкрапины болванки состоятъ главнымъ образомъ изъ окисловъ главныхъ элементовъ желѣза и хромѣ этого, подобное отдѣленіе въ въ болванкахъ чаще всего встрѣчается въ верхней трети болванки, а слѣдовательно, все это вмѣстѣ взятое даетъ возможность сдѣлать слѣдующее предположеніе: кислородъ, растворенный въ расплавленномъ металлѣ во время охлажденія послѣдняго, поднимается постепенно къ верху болванки и окисляетъ по пути главные элементы желѣза Fe, Mn, Si, образуя съ ними легкоплавные шлаки; эти шлаки, а также и тѣ, что остались еще въ болванкѣ отъ плавки, вслѣдствіе меньшаго удѣльнаго вѣса, всплываютъ на верхъ болванки и собираются въ верхней трети ея. Примѣсь въ шлакахъ CaO, S и P₂ O₅ чаще всего встрѣчается въ болванкахъ мартеновской стали, когда плавку ведутъ изъ шихты съ большимъ содержаніемъ чугуна и, для ускоренія хода самого процесса плавки, къ шихтѣ прибавляютъ руду и обрѣзки желѣза; такимъ образомъ CaO, S и P₂ O₅, навѣрное, переходятъ въ желѣзо еще во время самой плавки, какъ составныя части шихты.

На вредныя послѣдствія ликваціи стали надо обращать серьезное вниманіе при отлитіи отвѣтственныхъ валовъ; нельзя сильно перегрѣвать сталь до отливки, ибо съ температурой растетъ способность стали къ ликваціи. Такъ по исслѣдованіямъ Arnold'a **) химическій составъ

*) Stahl und Eisen. S. 41. 1897.

**) Stahl und Eisen. S. 307. 1897.

одного литого вала, поломка котораго вызвала большое несчастье, въ различныхъ мѣстахъ былъ совершенно различенъ:

| | C | Si | Mn | P | S |
|-------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Въ срединѣ вала | 0,470 | 0,031 | 0,986 | 0,167 | 0,150 |
| По краямъ вала | 0,310 | 0,037 | 0,828 | 0,058 | 0,055 |

Очевидно, что главная причина поломки вала его неоднородность; середина вала, вслѣдствіе присутствія большаго количества сѣры и фосфора, была слабѣе его окраинъ, а поэтому и разрушеніе вала началось постепенно, незамѣтно, отъ его середины къ периферіи, что вполне подтвердилось микроскопическими наблюденіями пр. Arnold'a.

Примѣчаніе. Для уменьшенія явленія ликвиці стали надо прибавлять отъ 60 до 120 грам. алюминія на тонну мартеновской стали и отъ 80 до 210 грам. алюминія на тонну бессемеровской стали. См. Vorchers. Metallhüttenkunde Aluminium. 1900.

Весьма обстоятельныя микроскопическія наблюденія были сдѣланы Stead'омъ *) надъ причинами поломки рельсъ и бандажей даже послѣ незначительнаго срока службы. Рельсы, бывшія въ употребленіи, очень легко разрушаются при изгибѣ, если только головка рельса при этомъ работаетъ на растяженіе, т. е. обращена внизъ. Еще Smith **) замѣтилъ, что рельсъ, бывший въ службѣ, снова приобрѣтаетъ свои хорошія свойства и ничѣмъ не отличается отъ новаго, если только головку рельса обстругать приблизительно на 3 mm. толщины, но причину такого явленія не могъ выяснитъ. Только Stead'у подъ микроскопомъ удалось замѣтить на внутренней поверхности головки долго работавшаго рельса цѣлую серію рванинъ, проникающихъ на глубину 0,1—0,25 mm. и никогда не болѣе 3 mm. внутрь рельса (Фиг. 32 таб. IV). Дальнѣйшія микроскопическія наблюденія Stead'a показали, что головка рельса подъ вліяніемъ ударовъ ската поѣзда съ теченіемъ времени измѣняетъ свое строеніе, а сообразно съ этимъ и мех. свойства. Частицы металла подъ вліяніемъ ударовъ ската начинаютъ перемѣщаться по направленію движенія поѣзда, металлъ уплотняется, теряетъ свою вязкость и наконецъ подъ вліяніемъ дальнѣйшихъ ударовъ ската начинаетъ рваться съ поверхности. Рельсъ, бывший незначительный періодъ въ употребленіи, имѣетъ только измѣненную по строенію головку безъ присутствія рванинъ; достаточно такой рельсъ нагрѣть до свѣтло-краснаго каленія и медленно охладить, чтобы всѣ хорошія механическія качества желѣза возвратились-бы обратно.

*) Stead „Microscopic metallography“ „Micro-Mechanics examination of old Steel rails and tyres“ Journl of the West of Scotland Iron and Steel Institute. Voll. IV. P 23 и 24

**) Stahl und Eisen. S. 304. 1897.

Наконецъ металлографіи принадлежитъ послѣднее слово въ дѣлѣ выясненія нѣкоторыхъ весьма интересныхъ явленій механической обработки металловъ вообще. Словомъ задача металлографіи обширна и металлографія, какъ наука, несомнѣнно имѣетъ громадное будущее.

За недостаткомъ достаточнаго количества шлифовъ я не упомянулъ также въ своемъ краткомъ очеркѣ о весьма оригинальныхъ работахъ позднѣйшаго періода въ области металлографіи, но впрочемъ я питаю надежду, что въ очень недалекомъ будущемъ снова вернусь къ этимъ весьма интереснымъ вопросамъ.

Мягкая броневая сталь, прокатан.
под вальцами.



№ 7.

V=100.

Образец взят из середины
маргенов. болванки съ содер.
0,69% С. и 0,48% Mn., нагреть
до 550° С. и медленно охладить,
f—феррит.

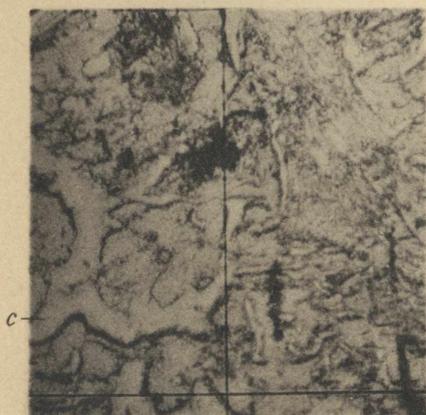


№ 5.

V=100.

№ 8.

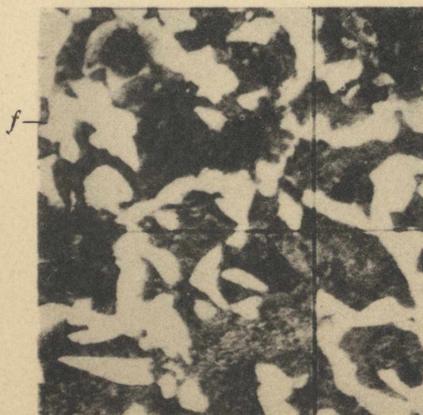
V=100.



Сталь с 0,95% С. Рельефная
полировка. *c*—цементит.

№ 6.

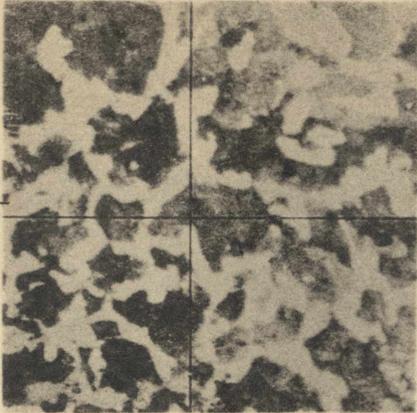
V=100.



Кованная сталь. *f*—феррит.

Таблица I.

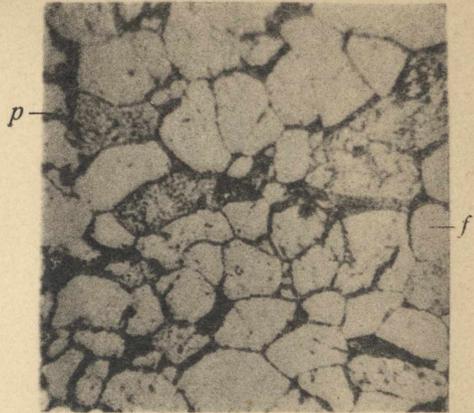
Мягкая сталь съ 0,6% С.
f—ферритъ.



№ 3.

V=100.

Мягкая основная сталь съ 0,14% С.
f—ферритъ, *p*—перлитъ.



№ 1.

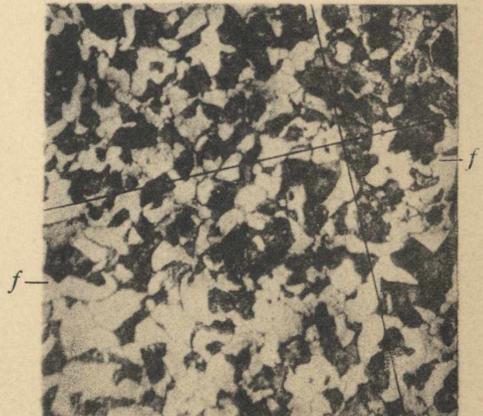
V=300.

№ 4, V=100.



Сталь съ 0,72% С. *f*—ферритъ.

№ 2, V=100.



Мягкая сталь съ 0,45% С.
f—ферритъ.

Сѣрый чугуны, рафинированный
въ бессемер. ретортѣ. *g* — гра-
фитъ, *p* — перлитъ.



№ 15.

$V=200$.

Твердая отожженная сталь.
Перлитъ.

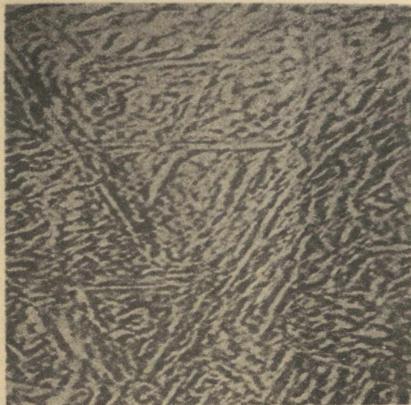


№ 13.

$V=600$.

№ 16.

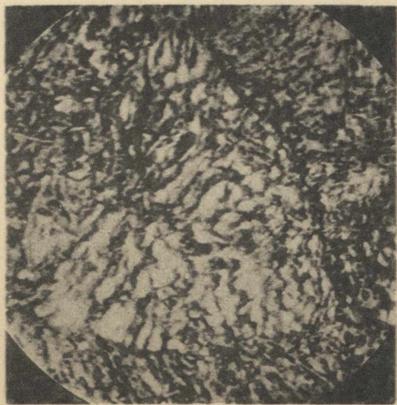
$V=1000$.



Сталь съ 0,45% С. нагрѣта до
825° и закалена при 720° С.
Рельеф. полиров. съ програвой.
Мартензитъ.

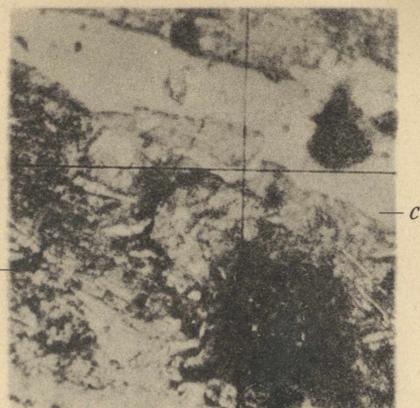
№ 14.

$V=1240$.



Кован. тигельн. сталь съ 0,92% С.
Зернистый перлитъ.

Сталь съ 1,5% С. Рельефная полировка. *c*—цементитъ и *m*—мартензитъ.



№ 11.

V=100.

Цементная сталь съ 1% С. Рельефная полировка. *c*—цементитъ.

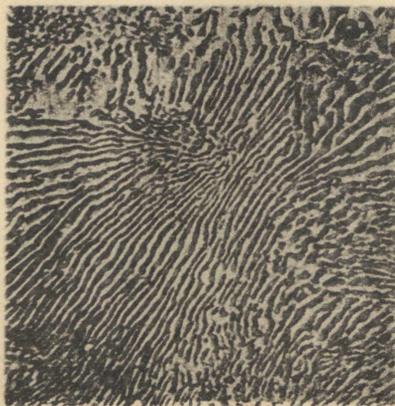


№ 9.

V=100.

№ 12.

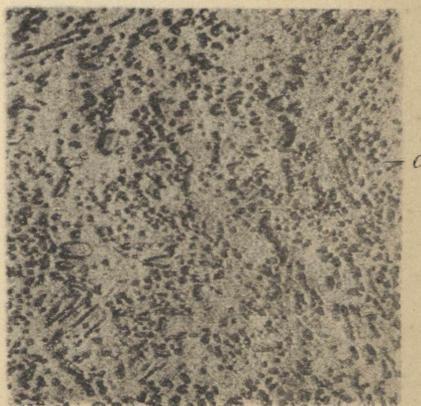
V=1000.



Сталь съ 0,45% С., нагрѣта до 800° и закалена при 720° С. Рельефная полиров. съ протравой.

№ 10.

V=1000.



Сталь съ 1,24% С. Рельефная полировка. *c*—цементитъ.

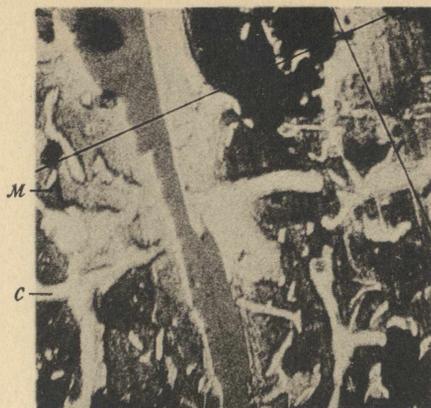
Кованная литая сталь.



№ 23.

V=100.

Цементная сталь. *с* — цементит, *м* — мартензит, *ш* — шлак.



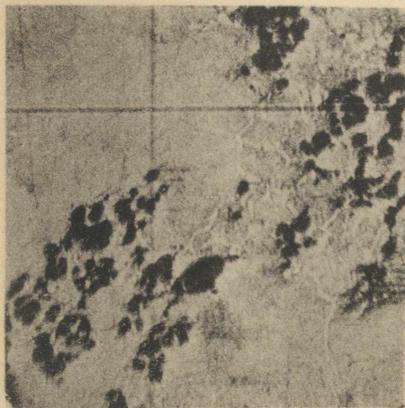
№ 21.

|
ш

V=100.

№ 24.

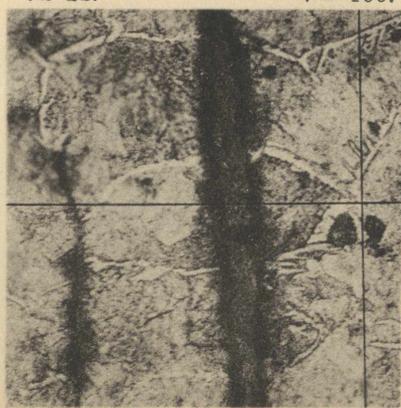
V=100.



Кованная литая сталь.

№ 22.

V=100.



Прокатанная сталь.

Томасовский чугуны послѣ 108 ч. отжига въ древес. углѣ. Рельефная полировка. *g*—(черное) углеродъ отжига, *c*—цементитъ, *p*—перлитъ.



№ 19.

$V=270$.

Закаленная сталь съ 0,85% С. Мартензитъ.



№ 17.

$V=800$.

№ 20.

$V=500$.



№ 18.

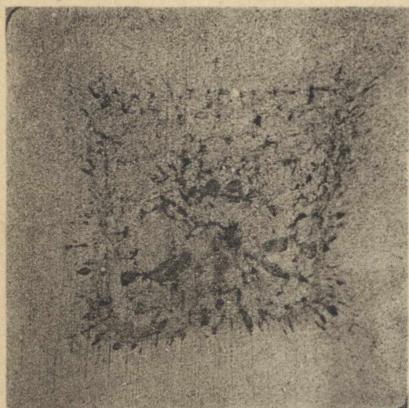
$V=90$.



Образецъ взятъ изъ сломавшагося вала.

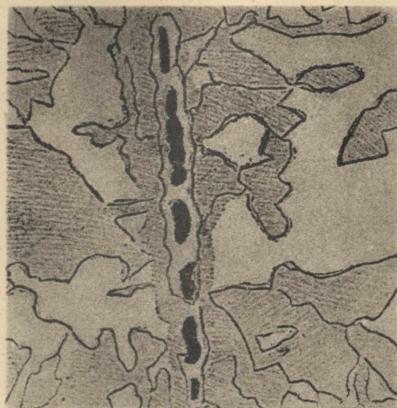
Сѣрый чугуны съ 0,72% Si., 1,43% Mn. и 1,8% Ph. Рельефная полировка. *p*—перлитъ (въ углубленіи), *c*—цементитъ (выдается) и *g*—графитъ.

Медленно охлажден. болван. изъ слабо перегрѣтаго желѣза.



№ 31.

Сталь съ содержаніемъ 0,03% S.

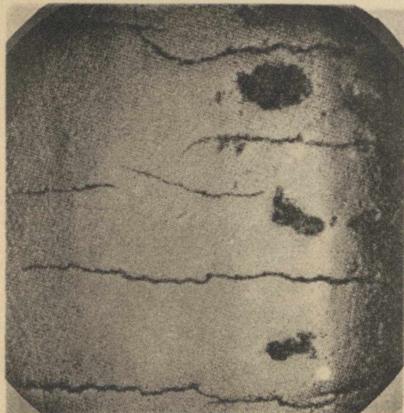


№ 29.

V=500.

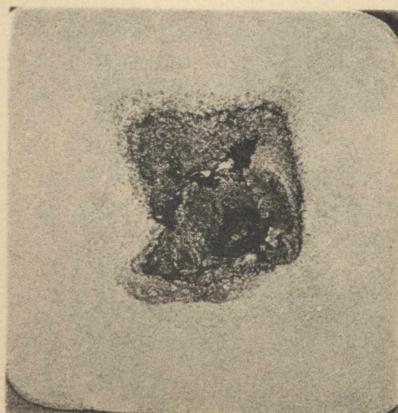
№ 32.

V=5.



Видъ головки работавшаго рельса сверху.

№ 30.



Медленно охлажден. болван. изъ сильно перегрѣтаго желѣза.

Таблица IV.

Никкелевая сталь съ 0,3% С. и 3% Ni. *f*—ферритъ.



№ 27.

V=100.

Образецъ сварочнаго желѣза.
Рельеф. полировка (мѣста сварки
имѣють блестящую поверхность).



№ 25.

V=1,1.

№ 28.

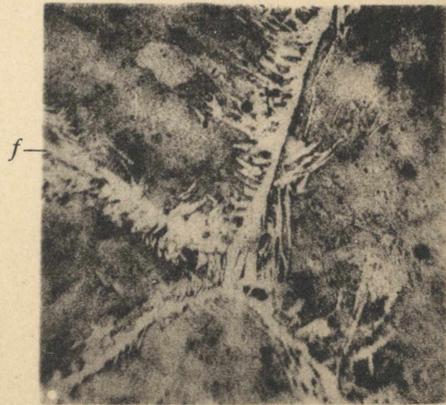
V=500.



Сталь съ содержаніемъ 0,02% S.

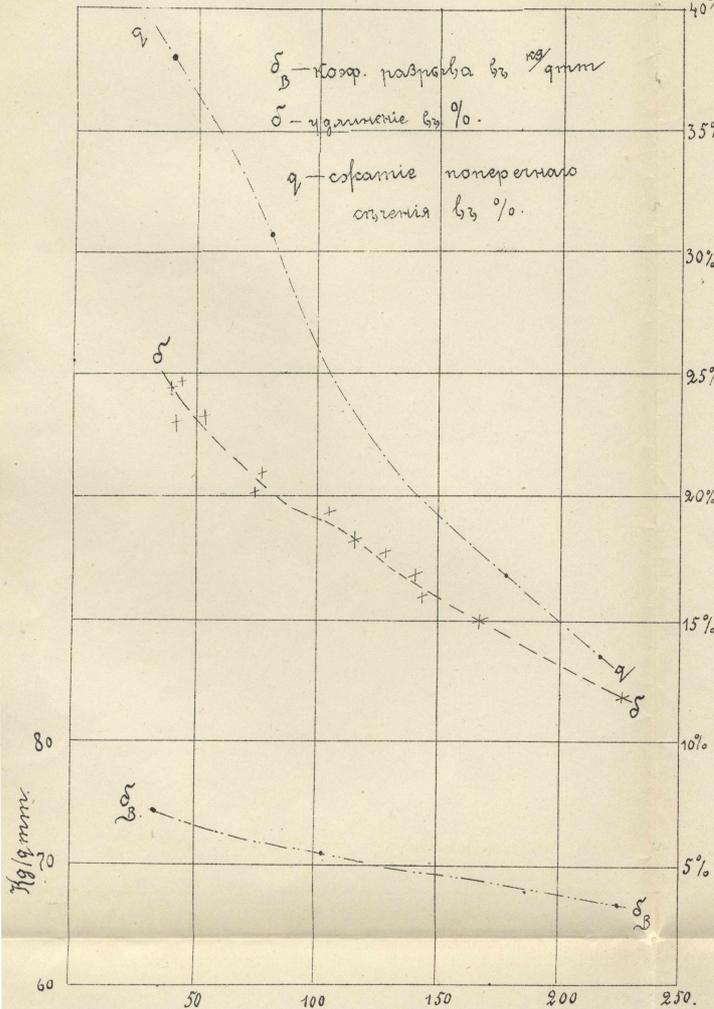
№ 26.

V=100.



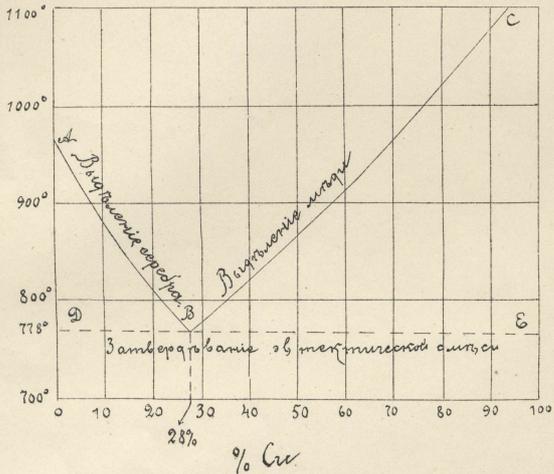
Никкелевая сталь съ 0,25% С. и 2% Ni. *f*—ферритъ.

Фиг. 1.



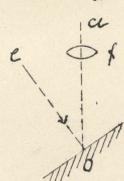
Средняя величина кристаллов в 0,0001 qmm.

Фиг. 2.

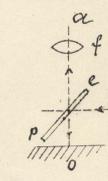


% Cu

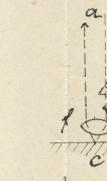
Фиг. B



Фиг. C

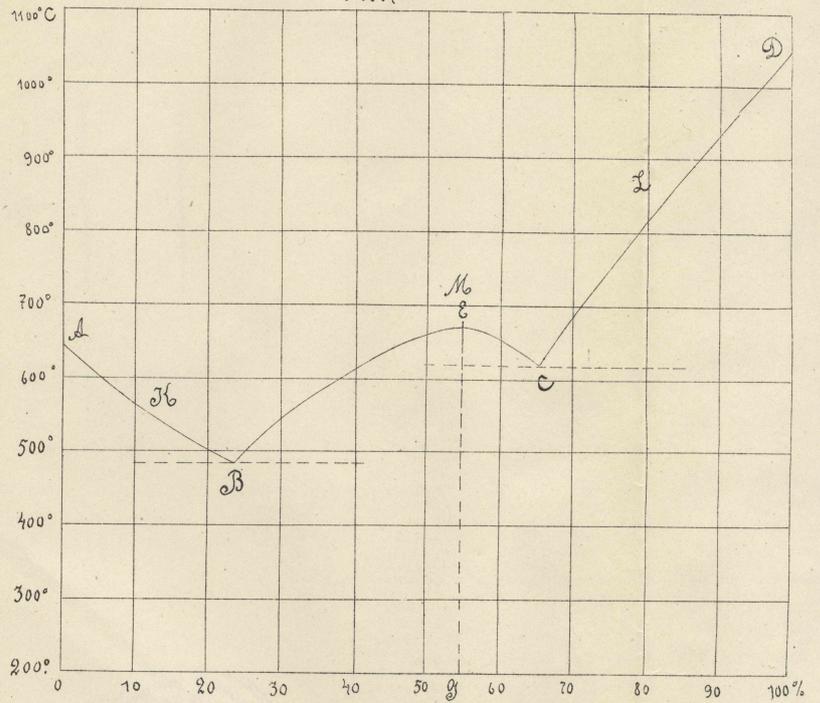


Фиг. D



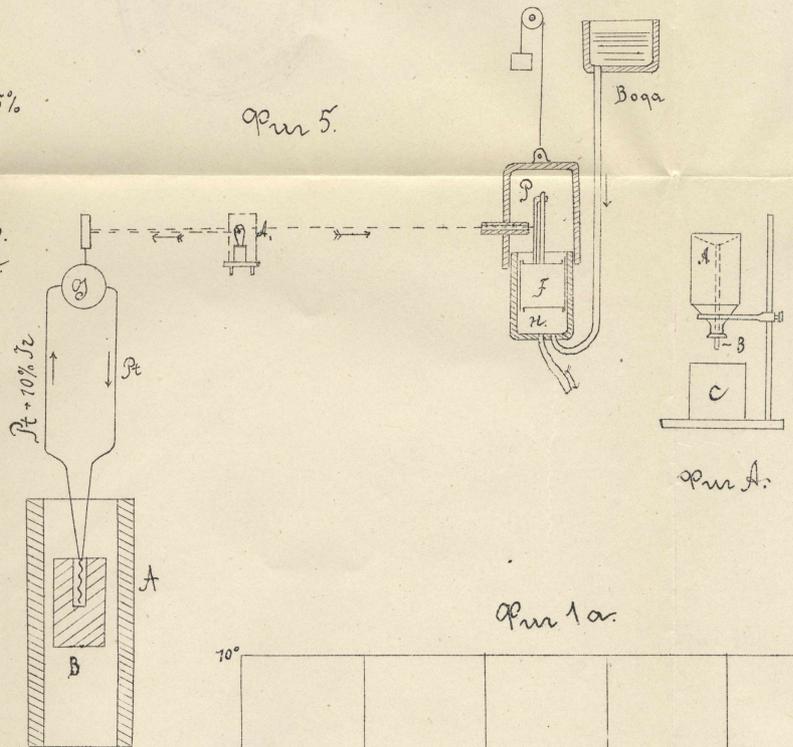
O - предмет, f - передняя линза объектива, p - плоское отражающее стекло, p₂ - призма, e - падающий луч и a - отраженный луч.

Фиг. 3.



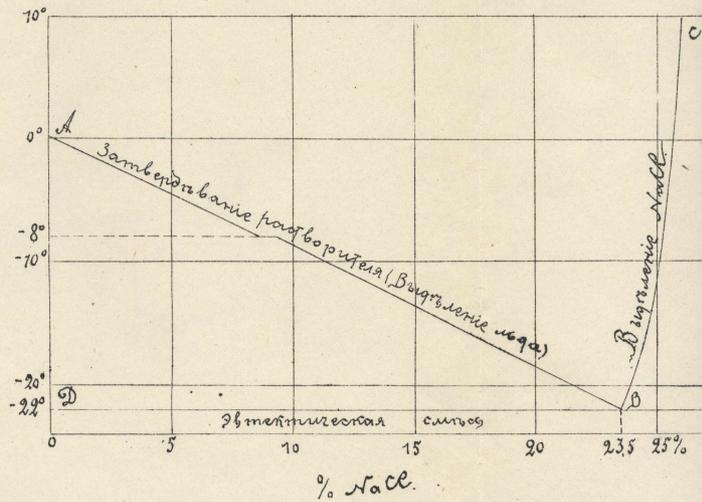
Время нагрева в часах

Фиг. 5.



Фиг. A.

Фиг. 1a.



% NaCl.