

Т. И. Тихоновъ.

ОГЛАВЛЕНІЕ.

О БАБИТАХЪ.



ТОМСКЪ.

Типо литографія Сибирскаго Т-ва Печатнаго Дѣла, уг. Дворян и Ямск. пер., с. л.

1915.

О Г Л А В Л Е Н І Е.

	Стр.
Составъ бабитовъ. Строенія и температура плавленія двойныхъ сплавовъ изъ свинца и сурьмы, изъ олова и сурьмы, изъ цинка и сурьмы, изъ мѣди и олова, изъ мѣди и сурьмы, изъ цинка и свинца и изъ олова и цинка	1—14.
Опытныя изслѣдованія бабитовъ, произведенныя инженеромъ И. Н. Валугевымъ	15—21.
Опытныя изслѣдованія бабитовъ изъ свинца, олова и сурьмы и провѣрка діаграммы тройныхъ сплавовъ указанного состава	21—39.
Опытное изслѣдованіе цинковыхъ и свинцово-оловянныхъ бабитовъ. Опытное изслѣдованіе бабитовъ Сибирской желѣзной дороги. Изготовленіе бабитовъ путемъ прессованія	39—76.

О БАБИТАХЪ.

Составъ бабитовъ, употребляемыхъ въ настоящее время въ машиностроительной technikѣ, весьма разнообразенъ, но въ наиболѣе часто примѣняемыхъ бабитахъ составными элементами являются Pb, Zn, Sb, Cu и Sn.

Расплавленный бабитъ въ жидкомъ состояніи въ большинствѣ случаевъ представляетъ тѣсную, однообразную массу изъ составляющихъ его металловъ. Въ виду того, что жидкій бабитъ въ обычномъ случаѣ представляетъ изъ себя довольно сложный растворъ, то при охлажденіи такого раствора вполне возможенъ случай распада его на составляющіе его компоненты въ зависимости отъ условій охлажденія. Каждый изъ составляющихъ компонентовъ, когда температура раствора будетъ ниже температуры плавленія его,—начнетъ выдѣляться въ видѣ отдѣльныхъ твердыхъ частицъ, нерѣдко имѣющихъ явно кристаллическую форму. По мѣрѣ паденія температуры число отдѣльныхъ затвердѣвшихъ компонентовъ растетъ и, наконецъ, въ послѣдній моментъ передъ полнымъ затвердѣваніемъ растворъ представляетъ изъ себя смѣсь различныхъ по составу выпавшихъ твердыхъ частицъ сплава, плавающихъ въ жидкой однообразной смѣси, которая затвердѣваетъ въ сплавѣ послѣдней и является цементирующимъ звеномъ между ранѣ выдѣлившимися твердыми частицами сплава. Въ бабитахъ эта послѣдняя застывающая часть, носящая названіе эвтектики, представляетъ наиболѣе мягкую и вязкую часть бабита; кристаллы и частицы ранѣ выдѣлившихся компонентовъ сплава всегда по сравненію съ эвтектикой бабитовъ обладаютъ большею твердостью; когда по составу самого сплава и по характеру охлажденія его количество выдѣлившихся кристалловъ возрастаетъ настолько, что эвтектической смѣси остается мало для надлежащей связи кристалловъ между собою,—бабитъ становится твердымъ, но и хрупкимъ. Въ хорошихъ бабитахъ число выдѣлившихся кристалловъ не велико, кристаллы мелки и имѣется достаточное количество мягкой, пластичной, связующей ихъ эвтектики. Механическія свойства всякаго сложнаго тѣла, очевидно, находятся въ сильной зависимости отъ механическихъ свойствъ составляющихъ его элементовъ, а отсюда слѣдуетъ, что изученіе

свойствъ сложныхъ по составу бабитовъ необходимо начать съ изученія свойствъ отдѣльныхъ составляющихъ его элементовъ. Структура затвердѣвшаго бабита находится въ прямой зависимости отъ состава самого бабита; чѣмъ сложнѣе составъ бабита и разнообразнѣе количество составляющихъ его элементовъ, тѣмъ сложнѣе структура затвердѣвшаго бабита, и отсюда непосредственно вытекаетъ, что прежде чѣмъ разсматривать сложныя структуры многосоставныхъ бабитовъ, необходимо познакомиться, хотя бы бѣгло, со структурой парныхъ элементовъ, входящихъ обычно въ составъ бабитовъ. Наиболее дешевымъ элементомъ, входящимъ въ составъ бабитовъ, является свинецъ. Свинецъ съ сурью, какъ было установлено Неускок'омъ и Neville въ 1890—90¹⁾ г.г. даютъ эвтектику при 13% сурьмы въ свинцѣ. Кривая затвердѣванія двойного сплава свинца и сурьмы по наблюденіямъ вышеупомянутыхъ лицъ и позднѣйшимъ изслѣдованіямъ имѣеть слѣдующій видъ (фиг 1). При построеніи этой кривой по оси абсцисъ



Фиг. 1.

отложено процентное содержаніе сурьмы въ свинцѣ, а по оси ординатъ—температуры затвердѣванія сплавовъ. Какъ видно изъ кривой по мѣрѣ увеличенія сурьмы въ свинцѣ отъ 0 до 13% температура

1) Dr. W. Guertler, Metallographie. S. 793.

плавления сплавовъ постепенно падаетъ отъ температуры плавления чистаго свинца $326,9^{\circ}$ до $248,5^{\circ}$, при чемъ при послѣдней температурѣ изъ жидкаго раствора выдѣляется въ твердомъ видѣ эвтектика изъ 87% свинца и 13% сурьмы. При дальнѣйшемъ увеличеніи содержанія сурьмы въ свинцѣ температура плавления сплавовъ постепенно возрастаетъ и приближается къ температурѣ плавления чистой сурьмы. Послѣ Нейсcock'a и Neville'я надъ опредѣленіемъ кривой затвердыванія сплавовъ изъ свинца и сурьмы были произведены опыты изслѣдованія Stead'омъ (1897 г.) и Charpy, при чемъ была и изучена структура полученныхъ сплавовъ. Изъ опытныхъ наблюдений Charpy²⁾ вытекаетъ, что эвтектика изъ свинца и сурьмы содержитъ $12,5\%$ сурьмы и соотвѣтствуетъ соединенію по формулѣ Sb Pb_4 , при чемъ температура плавления послѣдняго соединенія 247°C . Эвтектика указаннаго состава наблюдается у всѣхъ сплавовъ свинца и сурьмы начиная съ 0 до 95% сурьмы; но при послѣднемъ содержаніи сурьмы Stead наблюдалъ еще новую остановку температуры при охлажденіи въ 615°C и сдѣлалъ предположеніе о существованіи второго эвтектическаго вещества. Позднѣйшія наблюденія Cambell (1902) и Goutermann'a³⁾ (1907) внесли нѣкоторыя дополненія въ наблюденія вышепоименованныхъ авторовъ и дали возможность построить кривую затвердыванія сплавовъ свинца и сурьмы въ ранѣе приведенномъ видѣ. По изслѣдованіямъ Goutermann'a эвтектика наблюдается у всѣхъ сплавовъ свинца и сурьмы при $248,5^{\circ}\text{C}$ при условіи измѣненія содержанія сурьмы въ свинцѣ отъ 1 до 99% . Кромѣ общей остановки при $248,5^{\circ}\text{C}$ въ паденіи температуры термометра при охлажденіи сплавовъ свинца и сурьмы Goutermann наблюдалъ еще вторую точку остановки температуры при $244,8^{\circ}$, общую для всѣхъ сплавовъ свинца при измѣненіи содержанія сурьмы отъ 1 до 99% . Появленіе второй указанной общей точки Goutermann объясняетъ различною растворимостью кристалловъ въ зависимости отъ величины, а именно: большіе кристаллы менѣе растворимы по сравненію съ меньшими, а отсюда слѣдуетъ, что для большихъ кристалловъ эвтектики температура выдѣленія кристалловъ лежитъ нѣсколько выше по сравненію съ температурою выдѣленія мелкихъ кристалловъ той же эвтектики, но послѣднее объясненіе Goutermann'a о появленіи второй точки при $244,8^{\circ}$ при охлажденіи сплава не допускаетъ Guertler, предполагая, что разница термическаго эффекта вслѣдствіе различной растворимости кристалловъ въ зависимости отъ ихъ величины въ данномъ случаѣ не можетъ быть столь замѣтной. Далѣе по наблюденіямъ Goutermann'a продолжитель-

²⁾ и ³⁾ Guertler. Metallographie. S. 794.

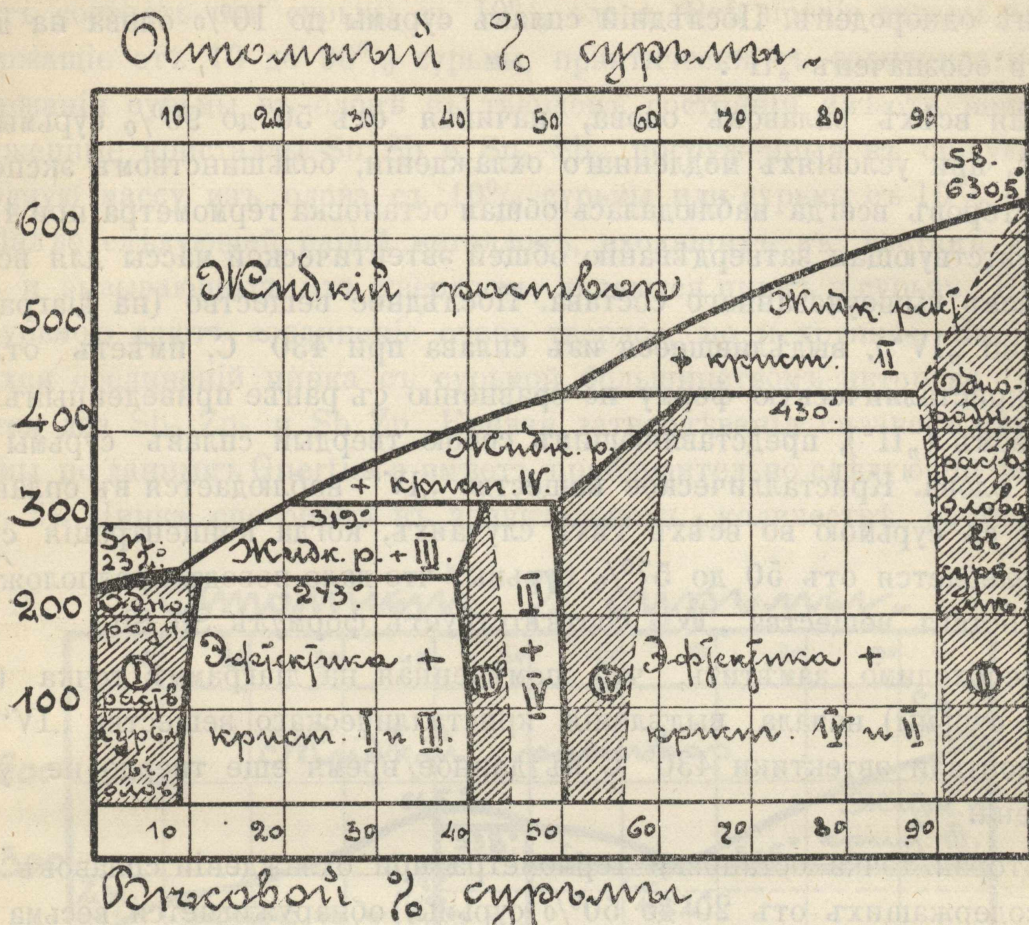
ность остановки термометра при $244,8^{\circ}\text{C}$ для различного содержанія сурьмы въ свинцѣ была весьма различна и наиболѣе продолжительной эта остановка была при 50% содержанія сурьмы въ свинцѣ, и это дало поводъ Guertler'у предположить, что при указанномъ соотношеніи составныхъ частей сплава происходитъ выдѣленіе новаго соединенія сурьмы съ свинцомъ, у котораго содержаніе сурьмы близко къ 50% (условно обозначеннаго на діаграммѣ „III“). Существованіе послѣдняго кристаллическаго вещества съ температурою плавленія при $244,8^{\circ}\text{C}$ (при 50% Sb) еще не доказано позднѣйшими наблюденіями надъ сплавами свинца и сурьмы.

Такимъ образомъ кривая затвердѣванія сплавовъ свинца и сурьмы, на основаніи общихъ наблюденій одѣланныхъ въ этой области, имѣетъ ранѣе указанный видъ. (Фиг. 1). Что же касается механическихъ свойствъ сплавовъ изъ свинца и сурьмы, то, по даннымъ Gontermann'a, сплавы при $13-40\%$ сурьмы обладаютъ крайне неравномѣрной структурой и плохими механическими свойствами.

Второй парой металловъ, входящихъ въ составъ бабитовъ, является олово и сурьма. Изученіе сплавовъ олова и сурьмы начинается работами Seebeck'a ⁴⁾ въ 1822 г. Кривая плавкости этихъ двухъ металловъ была дана Thomson'омъ въ 1841 г. Heyscock и Neville (1889—1890) первые сдѣлали точныя заключенія о состояніи различныхъ выдѣленій при различномъ содержаніи одного металла въ другомъ; ими впервые былъ замѣченъ неожиданный для нихъ фактъ повышенія кривой плавкости олова вслѣдствіе незначительной прибавки сурьмы. Наблюденія надъ изученіемъ природы сплавовъ олова и сурьмы продолжались и до послѣднихъ дней, при чемъ наблюденія позднѣйшаго періода сопровождались металлографическими изслѣдованіями. На основаніи наблюденій Жемчужнаго (1901), Gallagher (1906), Williams'a, (1907), Константинова и Смирнова (1910) и на основаніи доклада Portevin'a (1909), Le Gris'a (1911) и Loebe (1911) Dr. Guertler въ своемъ трудѣ „Metallographie“ (S. 803) приводитъ слѣдующую кривую затвердѣванія сплавовъ олова и сурьмы (см. фиг. 2). Особенно-сти приведенной діаграммы заключаются въ томъ, что сплавы олова и сурьмы, при увеличеніи содержанія послѣдней въ оловѣ, не имѣютъ общей эвтектики, а въ зависимости отъ содержанія олова и сурьмы выдѣляютъ три самостоятельныхъ эвтектики. Сначала Williams замѣтилъ при охлажденіи сплавовъ слабую остановку термометра при 430°C . Далѣе Reinders при 60% сурьмы наблюдалъ три разнородныхъ формы: длинныя иглы вещества „1“ (см. на діаграммѣ условно обез-

⁴⁾ Guertler. Metallographie. S. 802.

печено „I“), кристаллы III и IV вещества (при чемъ два послѣднихъ вещества Reinders не различалъ) и все это окружено основной массой первого вещества. Williams нашолъ три самостоятельныхъ формы



Фиг. 2.

выдѣленій при 50% сурьмы въ оловѣ. Наконецъ Reinders на кривой охлажденія одного сплава при 55% сурьмы нашелъ четыре послѣдовательныхъ термическихъ остановки. Въ данное время, какъ нѣчто твердо установленное, необходимо признать существованіе четырехъ кристаллообразныхъ формъ выдѣленій въ сплавахъ олова и сурьмы.

Цѣлымъ рядомъ наблюденій было доказано, что олово въ предѣлахъ до 10% сурьмы не измѣняетъ своей структуры и весьма слабо измѣняетъ точку плавленія. Только Williams при своихъ опытахъ наблюдалъ, что олово до 8% сурьмы было однородно, безъ кристалловъ, но при 9% сурьмы въ полѣ олова отчетливо были замѣтны выдѣлившіеся ромбы другого вещества, названнаго на діаграммѣ „III“. Въ свою очередь и сурьма, по наблюденіямъ многихъ авторовъ, растворяетъ до 9—10% олова безъ замѣтнаго распада своихъ кристалловъ. Такъ, по наблюденіямъ Williams'a ⁵⁾, олово при 91% сурьмы послѣ нагрѣванія въ теченіе 36 часовъ при температурѣ 400° С явно обна-

⁵⁾ Guertler. Metallographie. S. 810.

ружило выпаденіе кристаллическаго вещества (названнаго на діаграммѣ „IV“), но тотъ же сплавъ при 90⁰/₀ сурьмы въ оловѣ послѣ нагрѣва въ теченіе того же времени и при той же температурѣ былъ вполне однороденъ. Послѣдній сплавъ сурьмы до 10⁰/₀ олова на діаграммѣ обозначенъ „II“.

Для всѣхъ сплавовъ олова, начиная отъ 50 до 90⁰/₀ сурьмы въ оловѣ, при условіяхъ медленнаго охлажденія, большинствомъ экспериментаторовъ всегда наблюдалась общая остановка термометра при 430°, соотвѣтствующая затвердѣванію общей эвтектической массы для всѣхъ сплавовъ вышеуказаннаго состава. Послѣднее вещество (на діаграммѣ названо „IV“), выдѣлившееся изъ сплава при 430° С, имѣетъ отличную кристаллическую форму по сравненію съ ранѣ приведеннымъ веществомъ („II“), представляющимъ собою твердый сплавъ сурьмы съ 10⁰/₀ олова. Кристаллическое вещество „IV“ наблюдается въ сплавахъ олова съ сурьмою во всѣхъ тѣхъ случаяхъ, когда концентрація сплава колеблется отъ 50 до 57⁰/₀ сурьмы, что дало поводъ предположить, что составъ вещества „IV“ соотвѣтствуетъ формулѣ Sn Sb.

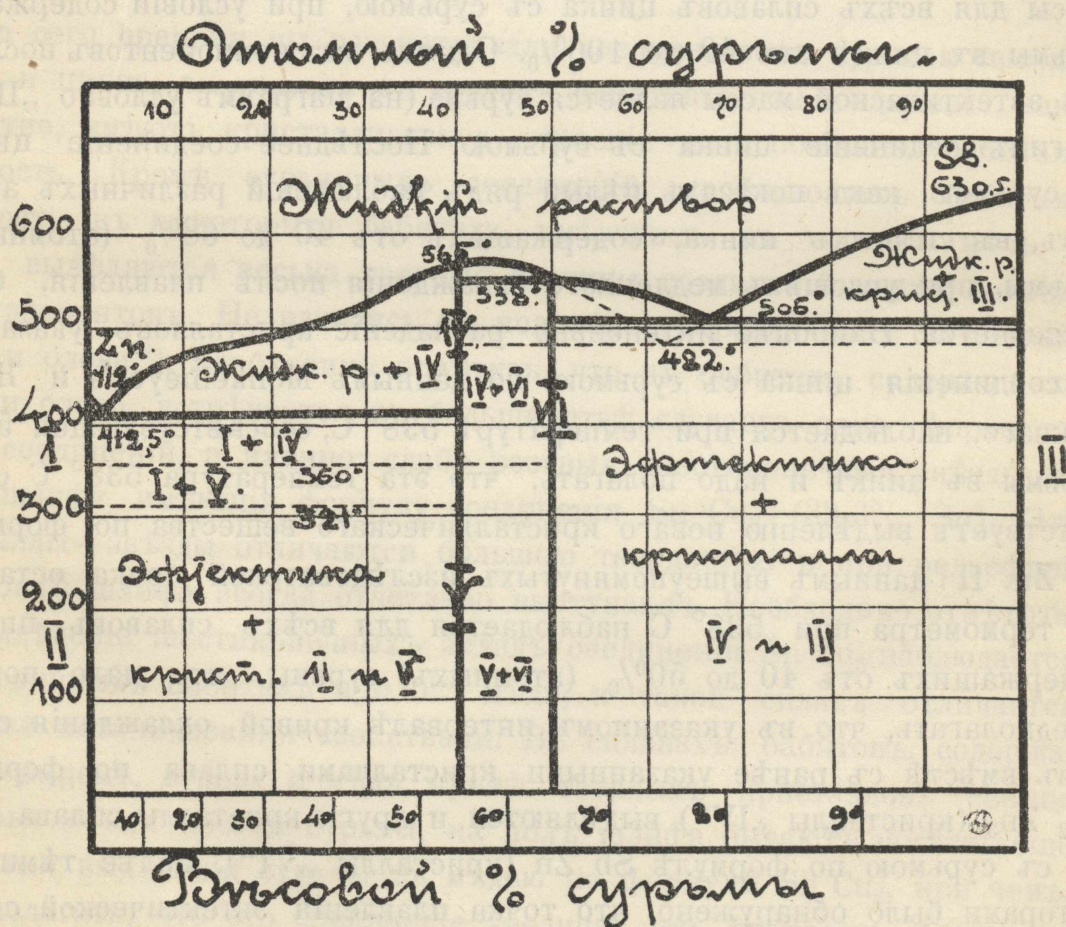
Необходимо замѣтить, что помѣченная на діаграммѣ точка (при 63⁰/₀ сурьмы) начала выдѣленія кристаллическаго вещества „IV“ на горизонтали эвтектики 430° С въ данное время еще твердо не установлена.

Вторая точка остановки термометра при охлажденіи сплавовъ олова, содержащихъ отъ 20 до 50⁰/₀ сурьмы, обнаруживается весьма слабо при 319° С. Слабый термическій эффектъ послѣдней точки остановки термометра Reinders объясняетъ тѣмъ, что выдѣляющееся при этой температурѣ вещество по сравненію съ предыдущимъ выдѣленіемъ „IV“ весьма мало отличается другъ отъ друга. Послѣднее вещество, условно обозначенное на діаграммѣ „III“, по даннымъ Stead'a замѣтнѣе обнаруживается при содержаніи 40⁰/₀ сурьмы и это дало поводъ предположить, что это соединеніе есть новая кристаллическая форма, соотвѣтствующая соединенію $Sb_2 Sn_3$. Металлографическое соединеніе $Sb_2 Sn_3$ отличается отъ Sn Sb только слабой разницей по цвѣту при травленіи, при чемъ основу красталловъ составляетъ Sn Sb, а обложку $Sn_3 Sb_2$. Нѣкоторыми авторами соединеніе $Sn_3 Sb_2$ совсѣмъ не разсматривается ⁶⁾ Такимъ образомъ, резюмируя ранѣ приведенные результаты разсмотрѣнія кривой затвердѣванія сплавовъ олова съ сурьмой, мы имѣемъ слѣдующее: всѣ сплавы олова, содержащіе отъ 0 до 10⁰/₀ сурьмы, послѣ медленнаго охлажденія послѣ плавленія представляютъ изъ себя однообразную массу изъ затвердѣваго олова съ 10⁰/₀

⁶⁾ Евангуловъ. Сплавы. Стр. 311.

сурьмы. Подобная же однородная масса будет у затвердѣвшаго сплава олова съ сурьмою въ томъ случаѣ, если содержаніе сурьмы въ оловѣ будетъ выше 90⁰/₀, но однородная масса въ послѣднемъ случаѣ будетъ состоять изъ сурьмы съ 10⁰/₀ олова. Всѣ прочіе сплавы олова, содержащіе отъ 10 до 90⁰/₀ сурьмы, практически въ зависимости отъ содержанія сурьмы въ оловѣ въ твердомъ состояніи имѣютъ явно обнаруженные кристаллы Sn Sb и Sn₃ Sb₂, погруженные въ общую однородную массу изъ олова съ 10⁰/₀ сурьмы или сурьмы съ 10⁰/₀ олова.

Далѣе слѣдующей парой металловъ, входящихъ въ составъ бабитовъ и вызывающихъ ихъ твердость, являются цинкъ и сурьма. Цинкъ съ сурьмою даютъ соединеніе очень твердое, но и хрупкое. Изъ имѣющихся соединеній цинка съ сурьмой большинствомъ авторовъ признаются два Sb₂ Zn₃ и Sb Zn. Кривая затвердѣванія сплавовъ цинка и сурьмы по даннымъ Guertler'a имѣетъ приблизительно слѣдующій видъ⁸⁾ (фиг. 3). Цинкъ способенъ въ значительномъ количествѣ растворять



Фиг. 3.

въ себѣ сурьму и при этомъ выделяются сплавы, температура плавления которыхъ выше таковой для цинка и отъ прибавленія сурьмы

⁸⁾ Многія неясности въ кривой, вытекающія изъ различныхъ данныхъ разныхъ авторовъ, при описаніи кривой опущены; подробности о кривой можно найти въ книгѣ Guertler'a „Metallographie“. S. 777—785.

растетъ. Сплавъ, содержащій 40% сурьмы ($\text{Sb}_2 \text{Zn}_3$), обладаетъ наивысшею температурою плавленія 565°C и имѣетъ на шлифахъ сплавовъ явно кристаллическое строеніе (условно обозначено на кривой затвердѣванія „IV“). Между частицами цинка и сплава цинка съ 40% сурьмы при постепенномъ охлажденіи по даннымъ Mönkemeyer'a и Arneemann'a при температурѣ весьма близкой къ $412,5^\circ \text{C}$ выдѣляется общая эвтектическая масса, въ которой содержаніе сурьмы, по даннымъ Arneemann'a, около 2,5% по вѣсу. При увеличеніи содержанія сурьмы въ цинкѣ отъ 40 до 100% температура плавленія сплава начнетъ постепенно убывать и когда содержаніе сурьмы въ цинкѣ достигнетъ 62% (атомныхъ) температура плавленія сплава будетъ 482°C . Для всѣхъ сплавовъ цинка съ сурьмою, начиная отъ 40 до 100% сурьмы въ цинкѣ, при условіи медленнаго охлажденія, наблюдается постоянная остановка въ паденіи температуръ термометра при 482°C , что, очевидно, соотвѣтствуетъ затвердѣванію общей эвтектической массы для всѣхъ сплавовъ цинка съ сурьмою, при условіи содержанія сурьмы въ цинкѣ отъ 40 до 100%. Однимъ изъ компонентовъ послѣдней эвтектической массы является сурьма (на діаграммѣ условно „Ш“), другимъ—соединеніе цинка съ сурьмою. Послѣднее соединеніе цинка съ сурьмою, какъ показалъ цѣлый рядъ наблюденій различныхъ авторовъ, въ сплавахъ цинка, содержащихъ отъ 40 до 68% (атомныхъ) сурьмы, при условіяхъ медленнаго охлажденія послѣ плавленія, само распадается. Наиболѣе интенсивно распаденіе кристалловъ указаннаго соединенія цинка съ сурьмою, по даннымъ Mönkemeyer'a и Жемчужнаго, наблюдается при температурѣ 538°C , соотвѣтствующей 50% сурьмы въ цинкѣ и надо полагать, что эта температура 538°C соотвѣтствуетъ выдѣленію новаго кристаллическаго вещества по формулѣ Sb Zn . По даннымъ вышеупомянутыхъ изслѣдователей точка остановки термометра при 538°C наблюдается для всѣхъ сплавовъ цинка, содержащихъ отъ 40 до 50% (атомныхъ) сурьмы, что дало поводъ предполагать, что въ указанномъ интервалѣ кривой охлажденія сплавовъ вмѣстѣ съ ранѣе указанными кристаллами сплава по формулѣ $\text{Sb}_2 \text{Zn}_3$ (кристаллы „IV“) выдѣляются и другіе кристаллы сплава цинка съ сурьмою по формулѣ Sb Zn (кристаллы „VI“). Далѣе тѣми же авторами было обнаружено, что точка плавленія эвтектической смѣси изъ сурьмы и Sb Zn для всѣхъ сплавовъ цинка, имѣющихъ свыше 50% сурьмы, лежитъ на горизонталѣ въ 506°C , а затѣмъ и процентное содержаніе сурьмы въ послѣдней эвтектикѣ сплава цинка и сурьмы весьма близко къ 68% (атомнымъ). Наконецъ многими изслѣдователями были найдены остановки въ паденіи термометра

по охлажденіи сплавовъ цинка и сурьмы во всѣхъ случаяхъ ниже 400°C , когда сплавы цинка имѣли отъ 0 до 40% (атомныхъ) сурьмы; при чемъ точка остановки термометра для всѣхъ сплавовъ цинка бѣдныхъ сурью была около 321°C , а для сплавовъ, содержащихъ 40% сурьмы, — около 360°C . Существованіе послѣднихъ точекъ остановки термометра въ указанномъ интервалѣ кривой затвердѣванія сплавовъ цинка и сурьмы дало поводъ многимъ авторамъ допустить образованіе новой кристаллической формы (кристаллы „V“), которая, по всей вѣроятности, соотвѣтствуетъ кристаллическому превращенію самого цинка, температура кристаллическаго превращенія котораго нѣсколько измѣняется въ зависимости отъ содержанія сурьмы въ цинкѣ. Различныя фазы строенія сплавовъ цинка и сурьмы въ зависимости отъ процентнаго содержанія сурьмы въ цинкѣ и въ зависимости отъ условій охлажденія наглядно приведены обозначеніями на кривой затвердѣванія означенныхъ сплавовъ (фиг. 3).

До сего времени мы рассматривали соединенія съ сурью свинца, олова и цинка, входящихъ въ составъ бабитовъ; эти соединенія, какъ извѣстно, имѣютъ кристаллическое строеніе и сообщаютъ бабитамъ твердость. Кромѣ сурьмяныхъ соединеній, сообщающихъ бабитамъ твердость, въ нѣкоторыхъ бабитахъ, имѣющихъ въ составѣ мѣдь и олово, выдѣляются весьма твердыя частицы соединеній двухъ послѣднихъ элементовъ. Не вдаваясь въ подробности различныхъ соединеній мѣди и олова⁹⁾, необходимо отмѣтить, что въ бабитахъ, содержащихъ мѣдь и олово, встрѣчается въ большинствѣ случаевъ одна форма такихъ соединеній, а именно: слабо розовыя, шестиконечныя звѣзды на полѣ шлифа, имѣющія формулу соединенія Sn Cu_3 ($33,3\%$ Sn). Эти кристаллы — звѣзды отличаются большою твердостью и при рельефной полировкѣ шлифа всегда отчетливо выступаютъ. Необходимо отмѣтить, что выдѣленіе шестиконечныхъ звѣздъ соединенія Sn Cu_3 наблюдается въ оловянныхъ бабитахъ при 5% мѣди, и такой сплавъ отличается лучшими механическими свойствами. Въ сплавахъ бабитовъ, содержащихъ свинецъ, сурьму и мѣдь, кромѣ твердыхъ кристалловъ свинца съ сурью или чистой сурьмы, на полѣ шлифа бываютъ замѣтны еще розоватыя выдѣленія сурьмы съ мѣдью по формулѣ Sb Cu_2 , при чемъ, надо полагать, что это соединеніе увеличиваетъ твердость бабитовъ. Подобная же картина выдѣленія кристалловъ соединенія Sb Cu_2 наблюдается и въ оловянныхъ бабитахъ съ большимъ содержаніемъ олова. Имѣя въ виду, что хрупкость кристалловъ Sb Cu_2 больше нежели — кристалловъ соединенія Sn Cu_3 , — необходимо заключить, что оловя-

⁹⁾ Guetler. Metallographie. S. 340.

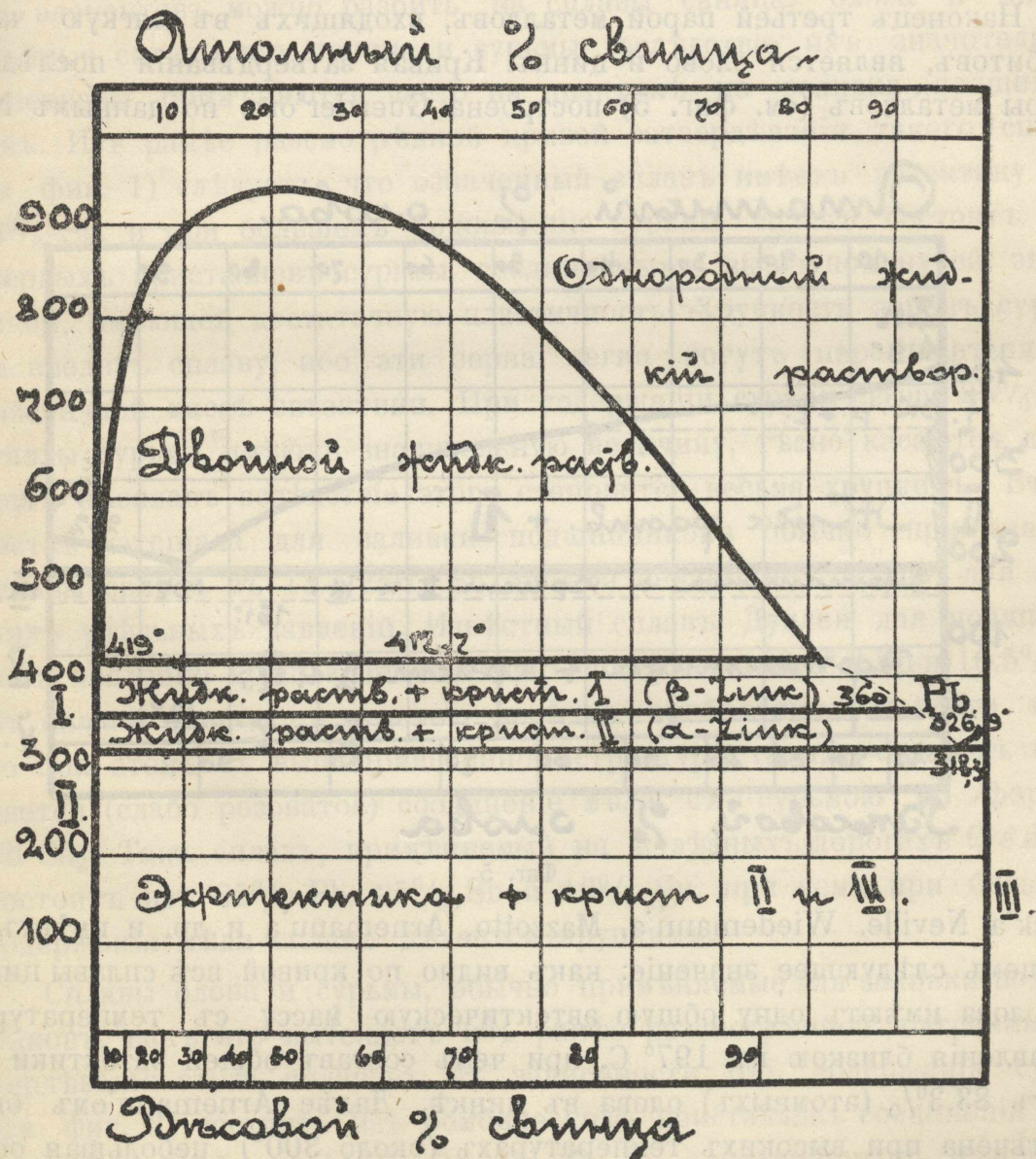
ный сплавъ съ меньшимъ содержаніемъ мѣди будетъ лучше, ибо большая хрупкость бабита способствуетъ быстрому износу его. Въ антифрикціонныхъ сплавахъ, въ бабитахъ изъ цинка, содержащихъ иногда значительное количество мѣди, на поляхъ шлифа обнаруживаются выдѣленія изъ мѣди и цинка въ формѣ латуни, и эти выдѣленія латуни, по всей вѣроятности, увеличиваютъ вязкость бабитовъ изъ цинка.

Бабиты по своему назначенію не могутъ быть особенно твердыми, ибо твердые вкладыши изъ бабита могутъ хорошо работать только при условіи очень точной пригонки работающихъ поверхностей и равномерной нагрузки ихъ. Въ новыхъ машинахъ послѣднія условія никогда не могутъ быть соблюдены, и работающимъ поверхностямъ вкладышей приходится долго прирабатываться. Но и въ старыхъ вкладышахъ изъ бабитовъ сосредоточеніе нагрузки на небольшомъ участкѣ можетъ быть вызвано случайнымъ засореніемъ, вслѣдствіе чего на этомъ участкѣ можетъ появиться мѣстное заѣданіе работающихъ поверхностей. Вслѣдствіе указанныхъ выше причинъ весьма желательно, чтобы матеріалъ вкладышей обладалъ бы нѣкоторою пластичностью, при которой онъ можетъ легко деформироваться и тѣмъ способствовать равномерному распредѣленію нагрузки на трущихся поверхностяхъ. Для удовлетворенія общимъ вышеуказаннымъ требованіямъ, предъявляемымъ къ бабитамъ, необходимо брать бабиты такого состава, чтобы по структурѣ они состояли изъ твердыхъ зеренъ, связанныхъ между собою пластичнымъ цементомъ. При работѣ мягкая масса бабита на трущейся поверхности скоро вытирается и въ соприкосновеніи съ работающей шейкой остаются лишь твердые частицы бабита, при чемъ эти твердые частицы бабита должны быть хорошо между собою соединены пластичною массой. Въ общемъ вся масса бабита должна быть достаточно пластична для равномернаго распредѣленія нагрузки. При такомъ строеніи заливки для вкладышей легко удаляется вмѣстѣ съ смазкою мѣстное засореніе изъ пыли и грязи, а случайно попавшія твердые соринки остаются вдавленными въ мягкую массу заливки вкладыша.

Мягкая масса существующихъ бабитовъ состоитъ изъ олова, свинца и цинка въ различныхъ соотношеніяхъ между собою въ зависимости отъ состава бабита. Для полноты разсматриваемаго вопроса о строеніи бабитовъ вообще необходимо, хотя кратко, разсмотрѣть возможные соединенія различныхъ металловъ между собою въ мягкой массѣ бабитовъ. Олово и свинецъ при сплавленіи другъ съ другомъ не даютъ химическихъ соединеній. Оба металла мягки, по мѣрѣ увеличенія содержанія одного въ другомъ твердость такого сплава воз-

растаетъ и достигаетъ максимума при эвтектическомъ сплавѣ, состоящемъ изъ 62% олова и 38% свинца. Твердость такой эвтектической смѣси будетъ меньше твердости сплава изъ 17% сурьмы и 83% свинца ¹⁰⁾.

Далѣе слѣдующей парой металловъ, входящихъ въ составъ мягкой части бабитовъ, являются цинкъ и свинецъ. Кривая затвердѣванія сплавовъ цинка и свинца по даннымъ Guertler'a изображена на фиг. 4. Цинкъ, на основаніи цѣлаго ряда наблюденій Neusock'a, Neville'я Армеманн'a и др., можетъ безъ замѣтнаго измѣненія своей кристаллизаціи растворять свинецъ до 4%, при чемъ точка плавленія такой однородной массы будетъ около 417°, т. е. ниже точки плавленія чистаго цинка. (419, 22° C). На кривой плавкости конецъ выдѣленія однородной массы (фиг. 4) изъ цинка и свинца взять при 3% Pb

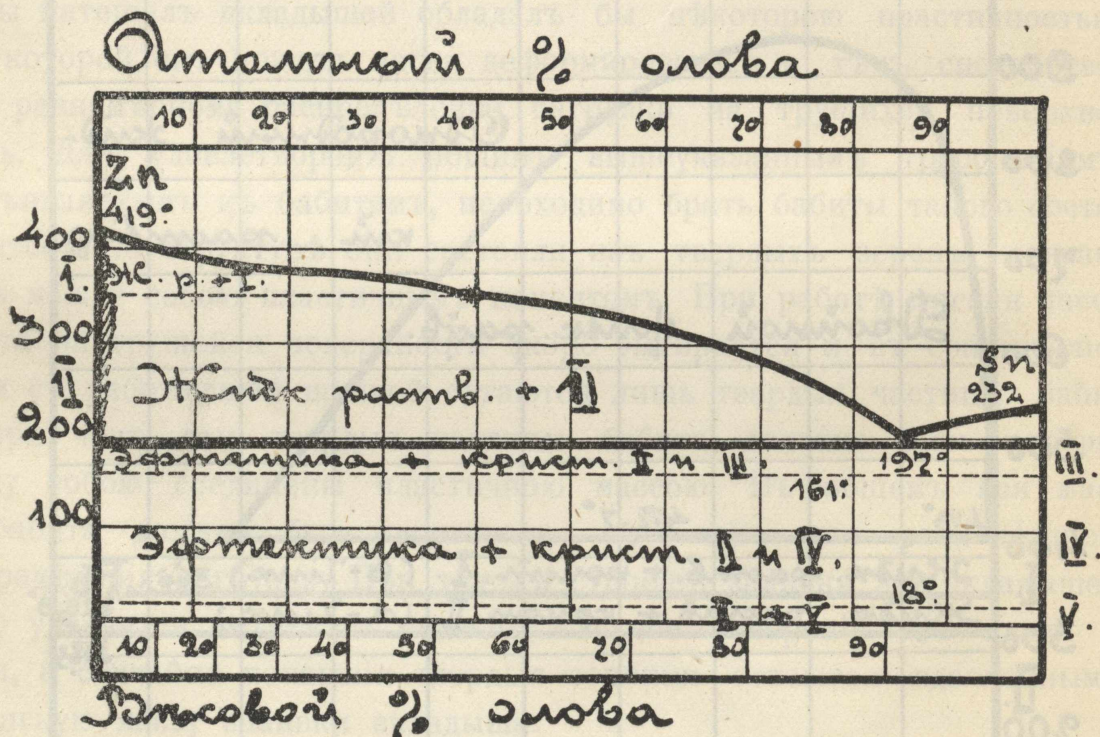


Фиг. 4.

¹⁰⁾ Болѣе подробно кривую затвердѣванія сплавовъ олова и свинца можно найти у Guertler'a. Metallographie. S. 722.

при 418° С температуры плавления. Изображенная кривая затвердѣванія сплава изъ цинка и свинца въ предѣлахъ отъ 0,5 до $96,6\%$ свинца въ цинкѣ была опытнымъ путемъ получена Арнеманн'омъ (1910 г), и полученная имъ общая картина строенія сплава изображена на кривой. При дальнѣйшемъ увеличеніи содержанія свинца свыше $96,6\%$ въ сплавахъ цинка слѣдуетъ предполагать дальнѣйшее паденіе температуры плавленія сплавовъ до тѣхъ поръ, пока изъ сплава не начнетъ выдѣляться плотная однородная масса свинца съ незначительнымъ содержаніемъ раствореннаго въ немъ цинка, при чемъ температура затвердѣванія послѣдняго сплава свинца съ незначительнымъ количествомъ цинка будетъ ниже температуры плавленія чистаго свинца. По даннымъ Matthiessen'a и Rose ¹¹⁾ растворимость цинка въ свинцѣ безъ замѣтнаго измѣненія кристаллизаци достигаетъ $1,6\%$.

Наконецъ третьей парой металловъ, входящихъ въ мягкую часть бабитовъ, является олово и цинкъ. Кривая затвердѣванія послѣдней пары металловъ (см. фиг. 5) построена Guertler'омъ по даннымъ Neu-



Фиг. 5.

cock'a, Neville, Wiedemann'a, Mazzotto, Arnemanu'a и др. и имѣетъ въ общемъ слѣдующее значеніе: какъ видно по кривой всѣ сплавы цинка и олова имѣютъ одну общую эвтектическую массу съ температурою плавленія близкою къ 197° С, при чемъ составъ общей эвтектики будетъ $83,3\%$ (атомныхъ) олова въ цинкѣ. Далѣе Arnemann'омъ была замѣчена при высокихъ температурахъ (около 300°) небольшая оста-

¹¹⁾ Guertler. Metallographie. S. 557.

новка термометра при охлажденіи сплава, что онъ объяснилъ превращеніемъ частицъ цинка β , содержащихъ въ себѣ немного олова, въ частицы чистаго цинка (α). Наконецъ Mazzotto при своихъ наблюденіяхъ получалъ незначительныя остановки въ паденіи температуры сплава при охлажденіи уже послѣ выдѣленія общей эвтектики, и такое явленіе было приписано Mazzotto превращенію частицъ олова. Но дальнѣйшія наблюденія показали, что послѣднія остановки термометра наблюдаются даже и въ тѣхъ случаяхъ, когда сплавъ цинка содержитъ весьма мало олова. Такимъ образомъ послѣднее отмѣченное явленіе въ кривой затвердѣванія сплавовъ цинка и олова остается до сего времени не выясненнымъ.

Всѣ существующіе бабиты по преобладающему количеству одного изъ элементовъ можно разбить на сплавы свинца, олова и цинка. Двойные сплавы изъ свинца и сурьмы, вслѣдствіе ихъ значительной дешевизны, примѣняются часто на практикѣ на заливку подшипниковъ. Изъ ранѣе разсмотрѣнной кривой затвердѣванія такого сплава (см. фиг. 1) слѣдуетъ, что означенный сплавъ имѣетъ эвтектику при 13⁰/₀ Sb, и при большемъ содержаніи сурьмы сплавъ состоитъ изъ твердыхъ кристалловъ сурьмы, соединенныхъ вышеупомянутой эвтектикой, имѣющей достаточную пластичность. Хрупкость зеренъ сурьмы не вредитъ сплаву, ибо эти зерна легко могутъ перемѣщаться въ пластичной массѣ эвтектики. При содержаніи сурьмы свыше 25⁰/₀ кристаллы сурьмы имѣютъ значительную величину, тѣсно касаются другъ друга и сплавъ вслѣдствіе этого становится весьма хрупкимъ. Въ качествѣ матеріала для заливки подшипниковъ обычно примѣняются сплавы свинца съ 13—25⁰/₀ Sb, но эти сплавы не годятся для большихъ удѣльных давленій. Извѣстный сплавъ Дудлея для подшипниковъ медленно вращающихся валовъ содержитъ 83,5⁰/₀ Pb и 16,5⁰/₀ Sb. Въ сплавы свинца съ сурью нерѣдко прибавляютъ немного мѣди, но при этомъ въ вышеприведенной структурѣ такихъ сплавовъ появляется (слабо розоватое) соединеніе мѣди съ сурью по формулѣ Sb Cu_2 . Такъ сплавъ, примѣняемый на желѣзныхъ дорогахъ C-e d' Est, состоитъ изъ 65⁰/₀ Pb, 25⁰/₀ Sb и 10⁰/₀ Cu, при чемъ при большемъ содержаніи мѣди сплавъ дѣлается хрупкимъ.

Сплавы олова и сурьмы, обычно примѣняемые для заливки подшипниковъ, какъ это вытекаетъ изъ ранѣе разсмотрѣнной диаграммы затвердѣванія этихъ сплавовъ, въ зависимости отъ содержанія сурьмы (см. фиг. 2) состоятъ изъ ромбическихъ кристалловъ соединенія олова и сурьмы по формулѣ $\text{Sb}_2 \text{ Sn}_3$ и Sb Sn , соединенныхъ пластичной массой изъ олова, при чемъ выдѣлившіеся кристаллы мягче чистой

сурьмы. На практикѣ сплавы олова и сурьмы, вслѣдствіе ихъ значительной дороговизны, примѣняются очень рѣдко, а затѣмъ и содержаніе сурьмы въ такихъ сплавахъ рѣдко превышаетъ 25⁰/₀. Къ сплавамъ олова и сурьмы для увеличенія твердости нерѣдко прибавляется немного мѣди, при чемъ на структурѣ плифа въ послѣднемъ случаѣ рядомъ съ кристаллами соединеній олова съ сурьюмою ($\text{Sb}_2 \text{ Sn}_3$ или Sb Sn) выдѣляются желтые елочные кристаллы соединенія мѣди съ оловомъ по формулѣ Sn Cu_3 , которые сами по себѣ обладаютъ большою твердостью. По изслѣдованіямъ Charpy наилучшими свойствами обладаетъ сплавъ имѣющій 83,33⁰/₀ Sn, 11,11⁰/₀ Sb и 5,56⁰/₀ Cu, ибо при большемъ содержаніи мѣди твердые елочные кристаллы изъ Sn Cu_3 пропадаютъ.

Въ качествѣ бабитовъ на практикѣ нерѣдко примѣняютъ сплавъ изъ свинца, олова и сурьмы, при чемъ содержаніе сурьмы въ такихъ сплавахъ колеблется отъ 10 до 18⁰/₀ и олова отъ 10 до 20⁰/₀. Структура такихъ сплавовъ состоитъ изъ ромбическихъ кристалловъ соединеній свинца съ сурьюмою или олова съ сурьюмою, но связующая ихъ пластичная эвтектика подѣ влияніемъ примѣси олова въ свинцѣ будетъ тверже, чѣмъ чистая свинцовая эвтектика простого свинцово-сурьмяного сплава, вслѣдствіе чего послѣдніе тройные сплавы изъ свинца, олова и сурьмы нерѣдко употребляются для заливки вкладышей съ большою нагрузкою. Наконецъ къ бабитамъ необходимо отнести сплавъ цинка съ сурьюмою съ незначительною примѣсью олова; обычно содержаніе олова и сурьмы въ такихъ сплавахъ колеблется между 10 и 15⁰/₀. Цинкъ съ сурьюмою, какъ этой вытекаетъ изъ ранѣ приведенной кривой затвердѣванія (см. фиг. 3), даетъ соединеніе въ кристаллической формѣ весьма твердое и хрупкое и кромѣ этого и цементирующая ихъ масса отличается достаточною хрупкостью, поэтому чистые сплавы цинка и сурьмы для заливки подшипниковъ не употребляются. Незначительная примѣсь олова уменьшаетъ хрупкость эвтектики сплава, но съ другой стороны содержаніе олова не должно быть больше указаннаго предѣла, ибо при большемъ содержаніи олова въ сплавѣ наряду съ соединеніемъ цинка съ сурьюмою начнутъ выдѣляться кристаллы соединенія олова съ сурьюмою, которыя будутъ мягче кристаллическихъ соединеній цинка съ сурьюмою. Чтобы удержать олово въ эвтектикѣ сплава и вмѣстѣ съ тѣмъ заставить выдѣлиться только кристаллы изъ цинка и сурьмы, необходимо имѣть въ тройномъ сплавѣ изъ цинка, олова и сурьмы содержаніе послѣдней въ вышеуказанныхъ предѣлахъ. Для увеличенія вязкости цинковыхъ сплавовъ съ сурьюмою,

нерѣдко къ сплаву прибавляютъ незначительное количество мѣди, которая въ послѣднемъ случаѣ на полѣ шлифа выдѣляется въ видѣ отдѣльныхъ палочекъ латуни.

Составъ бабитовъ, примѣняемыхъ на практикѣ, весьма разнообразенъ и въ большинствѣ случаевъ взятое содержаніе употребляемаго бабита не имѣетъ подѣ собой критической оцѣнки. Только за послѣднее время сдѣлано нѣсколько попытокъ къ нормировкѣ состава бабитовъ, употребляемыхъ на русскихъ желѣзныхъ дорогахъ, гдѣ, какъ извѣстно, расходъ на бабитѣ является весьма значительнымъ. Такъ на XXV совѣщательномъ сѣздѣ инженеровъ службы тяги былъ поднятъ вопросъ о составѣ употребляемыхъ на русскихъ желѣзныхъ дорогахъ бронзахъ и бабитахъ, и по порученію этого сѣзда инженеръ И. Н. Валуевъ обратился къ управленію службы тяги русскихъ желѣзныхъ дорогъ съ просьбою сообщить о сортахъ, составахъ и количествахъ расходуемыхъ матеріаловъ (бронзахъ и бабитахъ), о способахъ приобрѣтенія и изготовленія ихъ, о результатахъ службы ихъ, о техническихъ условіяхъ приема ихъ отъ заводовъ и фирмъ и проч. Въмѣстѣ съ отвѣтами на вышеизложенные вопросы въ распоряженіи г. Валуева были доставлены и образцы употребляемыхъ матеріаловъ, которые были въ свою очередь изслѣдованы г. Валуевымъ химически и механически. Результаты послѣднихъ изслѣдованій и общія заключенія изъ нихъ были доложены г. Валуевымъ на XXVIII совѣщательномъ сѣздѣ инженеровъ службы тяги ¹²⁾ Не останавливаясь на различныхъ подробностяхъ въ изслѣдованіяхъ и результатахъ образцовъ бронзъ, имѣвшихъ въ распоряженіи г. Валуева, перейдемъ непосредственно къ произведеннымъ изслѣдованіямъ бабитовъ. Химическія изслѣдованія бабитовъ были произведены лабораторіей Московскаго Электролитическаго завода И. К. Николаева и ею же были опредѣлены удѣльные вѣса образцовъ. Опредѣленіе твердости, вязкости и прочности образцовъ бабитовъ были произведены г. Валуевымъ при любезномъ содѣйствіи администраціи Русско-Французскаго Судостроительнаго завода въ лабораторіи послѣдняго завода. Общая картина предпринятыхъ г. Валуевымъ изслѣдованій бабитовъ заключалась въ нижеслѣдующемъ:

Твердость была опредѣлена при помощи вдавливанія шарика, по способу Бринеля, машиной Фремона. Вязкость и прочность были опредѣлены изъ графическихъ записей на той же машинѣ Фремона при помощи раздавливанія специально приготовленныхъ брусковъ прямоугольнаго сѣченія $8^m/m \times 10^m/m$ поперекъ ихъ длины стальнымъ цилин-

¹²⁾ Труды XXVIII совѣщательнаго сѣзда инженеровъ подвижнаго состава и тяги въ 1911 г. стр. 265.

дрикомъ, имѣющимъ $10^m/m$ въ діаметрѣ. Цилиндрикъ (длиною болѣе $10^m/m$) укладывался поперекъ бруска и постепенно вдавливался въ него до тѣхъ поръ, пока брусокъ не раздѣлялся пополамъ или давалъ поперечную трещину. На діаграммѣ въ это время карандашъ чертилъ кривую, ординаты которой указываютъ въ каждый моментъ глубину проникновенія цилиндрика въ брусокъ и соотвѣтствующую этому моменту силу давленія на цилиндрикъ. Понятно, что чѣмъ большею вязкостью обладаетъ брусокъ, тѣмъ глубже, не разрушая его, можно вдавить въ него цилиндрикъ и можно считать брусокъ тѣмъ прочнѣе, чѣмъ будетъ больше то давленіе на цилиндрикъ, при которомъ брусокъ разрушается. Если предположимъ, что мы имѣемъ брусокъ съ абсолютной вязкостью, т. е. такой, въ которой можно вдавить цилиндрикъ, не разрывая его, во всю его толщину и назовемъ вязкость такого бруска числомъ 100, то вязкость всѣхъ другихъ брусковъ будетъ выражена въ процентномъ отношеніи отъ абсолютной вязкости: она будетъ представлена числами, начиная отъ 0 до 100. Такія числа и показаны въ соотвѣтственной рубрикѣ нижеприведенныхъ таблицъ. Прочность въ этихъ же таблицахъ показана числами пропорціональными раздавливающей силѣ (для наглядности), а именно, въ 27 разъ меньшими.¹³⁾ Были произведены еще микроскопическія изслѣдованія шлифовъ, приготовленныхъ также заводомъ И. К. Николаева.

Опредѣленіе коэффиціента тренія и разной степени стираемости испытуемыхъ бабитовъ не производилось. Извѣстно, что коэффиціенты тренія разныхъ составовъ бабитовъ отличаются между собою сравнительно незначительно и что гораздо большее вліяніе на силу тренія оказываетъ качество примѣняемаго смазочнаго масла. Опыта на истираемость требуютъ затраты большаго времени и, все-таки, не могутъ быть поставлены въ условія, имѣющія мѣсто въ дѣйствительной службѣ.

Производились еще наблюденія температуръ точекъ плавленія и остыванія сплавовъ. Въ таблицахъ эти данныя не приводятся, такъ какъ не имѣлось въ распоряженіи соотвѣтственныхъ хорошо обставленныхъ физическихъ приборовъ; непосредственное же наблюденія термометромъ показываетъ, что для всѣхъ рассматриваемыхъ составовъ бабитовъ эти данныя разнятся незначительно, а именно: начало плавленія около $230-235^\circ$ и конецъ плавленія около $240-260^\circ$.

На практикѣ въ нѣкоторыхъ случаяхъ имѣетъ значеніе продолжительность періода времени, заключеннаго между моментомъ, когда при остываніи начинается сгущеніе бабита (конецъ плавленія $240-260^\circ$),

¹³⁾ На діаграммахъ машины Фремона $1^m/m$ абсциссы были эквивалентны 27 klг.

и моментомъ полного затвердѣванія. Это время нужно иногда для производства, такъ называемаго, „намазыванія“ бабита. Эта продолжительность періода намазыванія тѣмъ больше, чѣмъ больше теплостойкость состава, что, въ свою очередь, находится въ прямомъ отношеніи отъ теплостойкостей и количества входящихъ въ составъ металловъ. Если теплостойкость свинца принять за единицу, то теплостойкость остальныхъ составляющихъ металловъ будетъ слѣдующая: олова 1,75, мѣди 3 и сурьмы 1,7. Слѣдовательно намазываться тѣмъ лучше будутъ тѣ составы, въ которыхъ больше содержанія олова и меньше свинца; иначе говоря эта способность „намазыванія“ даннаго бабита находится въ прямой зависимости отъ его химическаго состава.

Результаты своихъ наблюденій г. Валуевъ даетъ сначала въ общей большой таблицѣ, а затѣмъ, для болѣе нагляднаго выясненія состава бабитовъ въ зависимости отъ ихъ назначенія, г. Валуевъ изъ общей таблицы дѣлаетъ выборку, распредѣляя составъ бабитовъ по ихъ назначенію. Результатомъ подобнаго распредѣленія бабитовъ являются четыре нижеслѣдующихъ таблицы (I—IV), при чемъ необходимо замѣтить, что графа „цѣна по объему“ опредѣлена г. Валуевымъ по теоретической стоимости бабитовъ съ поправкою на удѣльный вѣсъ. Объемъ бабита, имѣющаго удѣльный вѣсъ равнымъ 10, принять за единицу.

Тогда стоимость прочихъ составовъ бабитовъ, необходимыхъ для заполнения того же объема, который занимаетъ одинъ кубъ бабита удѣльнаго вѣса равнаго 10, будетъ меньше стоимости одного куба этихъ составовъ въ прямомъ отношеніи ихъ удѣльныхъ вѣсовъ.

Таблица 1.

Составы бабитовъ, примѣняемыхъ только для быстроходныхъ паровозовъ.

Д о р о г и.	Фирма или заводъ.	Составъ по анализу.					Твердость.	Вязкость.	Прочность.	Цѣна по объ- ему.	
		Cu	Sn	Sb	Pb	Zn					
4	Юго-Западн.	Кіевск. маст. . . .	3,96	83,50	11,96	0,50	Сл.	27,1	27	47,5	15,09
9	В.-Вѣнск.	Главн. мастерск. .	4,26	80,00	13,00	2,60	Сл.	28,4	30	47	15,00
20	Ряз.-Уральск.	Зав. Лейкина . .	4,40	70,00	13,04	12,00	0,13	27	7,5	22	13,45
24	Сибирская	Свои мастерск. . .	2,32	63,00	14,60	19,70	0,12	26,2	17	34	12,69
34	„	Зав. Николаева . .	4,16	50,00	14,96	30,00	0,12	26,8	7,5	28	11,31
49	„	Р. А. М. О. . . .	3,00	42,70	14,25	39,00	0,40	20,2	10	25	10,34
58	Кит.-Вост.	Зав. Николаева . .	3,20	40,00	16,20	40,00	0,12	22,5	4,5	20	9,96
76	„	Р. Фр. (Берда) . .	1	26,30	9,20	63,26	Сл.	18,3	23	32	8,16
102	„	Т-бо А. С. Л. . .	3,40	20,00	19,00	57,50	0,22	35,5	1,5	23	7,20

Таблица II.

Составы бабитовъ, примѣняемыхъ для паровозовъ всѣхъ серій безразлично.

Д о р о г и.	Фирма или заводъ.	Составъ по анализу.					Твердость.	Вязкость.	Прочность.	Цена по объ- ему.
		Cu	Sn	Sb	Pb	Zn				
1 Сѣверныя	Свои мастерск. . .	3,48	89,20	7,20	Сл.	—	23,1	38	47	15,84
2 Сызр.-Вязем.	Заводъ Лейкина . .	5,32	84,50	9,40	0,60	0,09	27,6	35,6	53	15,44
8 Моск.-Брест.	Свои мастерск. . .	6,34	80,30	13,20	Сл.	—	30,3	17,3	42,5	14,79
10 „	Брянскій заводъ . .	6,00	80,00	12,00	2,00	—	30	25	45	15,32
11 Самаро-Злат.	Свои мастерскія . .	9,84	79,50	10,60	Сл.	—	33	18,1	43	17,23
18 Полѣскія	Свои мастерск. . .	7,40	72,00	18,28	2,02	—	36,1	5,3	38	13,78
19 Полѣскія	Дюрангъ-колесо . .	9,20	72,00	17,40	1,36	—	39,4	5,6	28,5	14,31
24 Сибирская	Свои мастерск. . .	2,32	63,00	14,60	19,70	0,12	26,2	17	34	12,69
25 „	Р. А. М. О. . . .	2,00	62,60	15,00	20,00	0,12	25,5	17,5	33,5	12,49
30 Моск.-Курск.	Свои мастерск. . .	4,84	54,60	7,16	33,32	Сл.	18,7	26	34	12,27
42 М. В. Р. (м.с.)	№ 1 свои мастерск.	3,04	45,00	13,72	38,00	Сл.	21,9	24	27	10,19
44 Екатерининск.	Зав.-Николаева . .	3,40	44,82	11,24	40,00	0,21	26,4	12	27	10,67
50 Юго-Вост.	Зав. Лисовск. . . .	3,36	42,50	13,60	40,00	0,16	20,8	11	24	10,31
54 Либ.-Ромен.	Свои мастерск. . .	1,40	36,00	16,96	45,00	—	20	7	21	9,23
69 „	Р. А. М. О. . . .	2,40	30,50	17,30	49,30	0,18	27,6	20,5	47	8,90
82 Сѣв.-Западн.	Маст. С.П.Б. . . .	4,3	25,36	8,20	62,14	—	(ре	цеп	тъ)	—
124 Либ.-Ромен.	Свои мастерск. . .	0,20	0,60	18,50	80,50	Сл.	20	17,5	31	3,69

Таблица III.

Составы бабитовъ, примѣняемыхъ для пассажирскихъ вагоновъ.

Д о р о г и.	Фирма или заводъ.	Составъ по анализу.					Твердость.	Вязкость.	Прочность.	Цена по объ- ему.
		Cu	Sn	Sb	Pb	Zn				
5 Юго-Запад.	Кіевск. маст. . . .	5,34	83,00	11,28	0,29	Сл.	29,4	13,4	40,5	15,10
18 Полѣскія	Свои мастерск. . .	7,40	72,00	18,28	2,02	—	36,1	5,3	38	13,78
31 Либ.-Ромен.	„	4,60	54,64	10,20	30,00	0,13	23	20	28	11,85
35 Сѣверныя	Моск. маст. . . .	3,92	49,20	12,80	34,00	Сл.	16,3	11,25	24,5	14,43
39 „	Шенцлеръ № 1 . .	4,20	46,00	12,28	37,31	0,12	22,4	12	27	11,40
40 Моск.-Брест.	Свои маст. № 2 . .	1,80	46,00	9,60	42,00	0,18	17	20	26,5	10,80
46 Моск.-Курск.	„ „ № 1	3,64	44,00	6,36	45,80	Сл.	19,8	15	25	10,99
54 Либ.-Ромен.	Свои мастерск. . .	1,40	36,00	16,96	45,00	—	20	7	21	6,23
55 „ „	Дюрансъ цапфа . .	0,70	40,80	12,00	46,00	0,22	15,8	24	28	10,74

Д о р о г и.	Фирма или заводъ.	Составъ по анализу.					Твердость.	Вязкость.	Прочность.	Цѣна по объ- сму.	
		Cu	Sn	Sb	Pb	Zn					
65	Юго-Запад.	Ю. Р. Заводъ . .	1,80	34	8,88	55	0,22	20,2	6	21	9,35
77	Кит.-Вост.	Зав. Лейкина . . .	2,80	26,12	14,80	56,00	0,22	26,8	5,6	24	8,14
84	Сызр.-Вязем.	„ „ . . .	3,00	24,90	13,40	58,50	0,12	25	6	23	7,99
96	М. В. Р. (м.с.)	Свой мастерск. . .	4,00	22,00	10,00	63,5	0,24	23,1	9,4	31	7,81
101	Ряз. Урал.	Зав. Лисовск. . .	2,24	21,00	16,60	59,80	0,12	22	16,25	34	7,25
109	Юго-Вост.	„ „ . .	1,00	15,00	13,90	69,70	0,20	23,5	5,6	29	6,28
116	„ „	Р. Фр. (Берда) . .	1,40	6,00	16,94	75,00	0,27	22,7	5,17	25,38	4,82

Таблица IV.

Составы бабитовъ, примѣняемыхъ для товарныхъ вагоновъ.

Д о р о г и.	Фирма или заводъ.	Составъ по анализу.					Твердость.	Вязкость.	Прочность.	Цѣна по объ- ему.	
		Cu	Sn	Sb	Pb	Zn					
41	Ташкентск.	Гл. Мастерскія . .	1,70	48,00	7,20	42,80	0,17	17,1	33	30	10,89
54	Либ.-Ромен.	Свои мастерск. . .	1,40	36,00	16,96	45,00	—	20	7	21	9,23
62	Сѣверныя	Моск. Мастерск. . .	3,20	37,50	21,00	38,20	0,12	30,5	2,35	20,5	9,63
68	Екатерининск.	Зав. Николаева . .	2	31,94	15,00	50,60	0,18	22,5	7,5	25	8,82
71	„	„ Лейкина . .	2,20	23,80	18,20	50,00	0,24	27,2	3,75	29	8,41
79	Сибарская	„ Николаева . .	2,36	26,00	13,36	57,50	0,25	24	6	23	8,16
81	Моск.-Брест.	Свои маст. № 3 . .	—	25,70	25,30	48,70	0,20	33,2	1,9	22	7,64
86	Полѣсскія	Пинскія маст. . .	3,92	24,00	7,60	64,20	0,12	20,5	14	32	8,05
94	—	Дюранск. Подш. . .	0,60	22,50	7,40	69,00	0,20	13,3	20	26	6,57
95	—	Шенцлеръ	4,20	22,50	23,64	49,44	0,17	33,6	1,6	23,5	7,57
99	Юго-Западн.	Южн.-Р. Т-во . .	2,60	21,50	18,40	57,30	0,24	29,7	2	25	7,31
101	Ряз.-Уральск.	Зав. Лисовскаго . .	2,24	21,00	16,60	59,80	0,12	22	16,25	34	7,25
112	—	Бр. Куровскіе „Магнолія“ . .	0,40	10,00	12,00	77,50	0,24	22,9	8,4	31	5,40
117	Ср.-Азіатская	Зав. Николаева . .	2	5,76	17,50	74,50	0,14	25,2	10	28	4,95
118	Юго-Восточн.	„ Лисовскаго . .	Сл.	5,00	15,50	79,40	Сл.	18,3	12	24	4,67
120	—	Henry Ratzel . .	0,10	3,05	16,20	80,40	0,20	20,3	15,6	30	4,01
121	Сѣв.-Западн.	Маст. Балт. . . .	—	1,00	17,00	81,40	0,20	20,7	11,27	25,31	3,68
122	Ср.-Азіатская	Зав. Сормово . . .	0,35	0,49	16,20	82,50	Сл.	19	17	30	3,61

Какъ видно изъ приведенныхъ таблицъ составъ бабитовъ, употреб-
ляемыхъ на русскихъ желѣзныхъ дорогахъ для одинаковаго назначенія-

весьма различенъ и при этомъ необходимо замѣтить, что громадное большинство управленій службы тяги означенныхъ дорогъ, посылая образцы г. Валуеву, высказало полное удовлетвореніе ихъ работой.

Далѣе для рѣшенія вопроса о лучшемъ составѣ бабита въ зависимости отъ его назначенія г. Валуевъ на основаніи общихъ теоретическихъ разсужденій разбиваетъ всѣ бабиты на оловянные и свинцовые и при этомъ считаетъ лучшими всѣ тѣ бабиты, которые при испытаніяхъ обнаружили хорошія механическія свойства; за низкія предѣлы хорошихъ механическихъ свойствъ выбраны для твердости — мѣтка 20, для вязкости 10 и для прочности 25. Наконецъ, въ заключеніе своего доклада г. Валуевъ даетъ общую нижеслѣдующую таблицу V, въ которую онъ вноситъ наилучшіе бабиты по его испытаніямъ.

Таблица V.
Н а и л у ч ш і е б а б и т ы .

Д О Р О Г И .	Фирма или заводъ.	Составъ по анализу.					Твердость.	Вязкость.	Прочность.	Цена по объ- ему.
		Cu	Sn	Sb	Pb	Zn				
	Изъ чисто оловян.:									
2 Сызр.-Вязем.	Зав. Лейкина . . .	5,32	84,50	9,40	0,60	0,09	27,6	35,6	53	15,14
9 В.-Вѣнская	Гл. мастерскія . . .	4,26	80,00	13,00	2,60	Сл.	28,4	30	47	15,00
14 —	Брянскій зав. . . .	4,92	78,90	12,40	3,80	—	28,3	28,75	55	14,70
4 Юго-Западн.	Кіевск. мастерск. . .	3,96	83,50	11,96	0,50	Сл.	27,1	27	47,5	15,09
	Изъ оловянныхъ:									
24 Сибирская	Свои мастерск. . . .	2,32	63,00	14,60	19,70	0,12	26,2	17	34	12,69
25 —	Р. А. М. О. № 1 . . .	2,00	62,60	15,00	20,00	0,12	25,5	17,5	33,5	12,47
26 Юго-Западн.	Кіевск. мастерск. . .	3,20	59,62	11,68	25,00	0,12	23	18,1	34	12,52
36 Сѣв.-Западн.	Маст. Балт.	2,00	48,80	14,00	35,00	0,14	21,4	36,5	31	11,20
	Изъ свинцовыхъ:									
69 —	Р. А. М. О. А. . . .	2,40	30,50	17,30	49,30	0,18	27,6	20,5	47	8,90
116 —	Р. Фр. (Берда) . . .	1,40	6,00	16,94	75,00	0,27	22,7	5,17	25,38	4,82
101 Ряз.-Уральск.	Зав. Лисовскаго . . .	2,24	21,00	16,60	59,80	0,12	22	16,25	34	7,25
86 Полѣскія	Пивск. маст.	3,92	24,00	7,60	64,20	0,12	20,5	14	32	8,05
	Изъ чисто свинцов.:									
121 Сѣв.-Западн.	Маст. Балт.	—	1,00	17,00	81,40	0,20	20,7	11,27	25,31	3,68
124 Либ.-Роменск.	Свои мастерск. . . .	0,20	0,60	18,50	80,50	Сл.	20	17,5	31	3,69
120 —	Henry Ratzel	0,10	3,05	16,20	80,40	—	20,3	15,6	30	4,01
122 Ср.-Азіатская	Зав. Сорново	0,35	0,49	16,20	82,50	Сл.	19	17	30	3,61

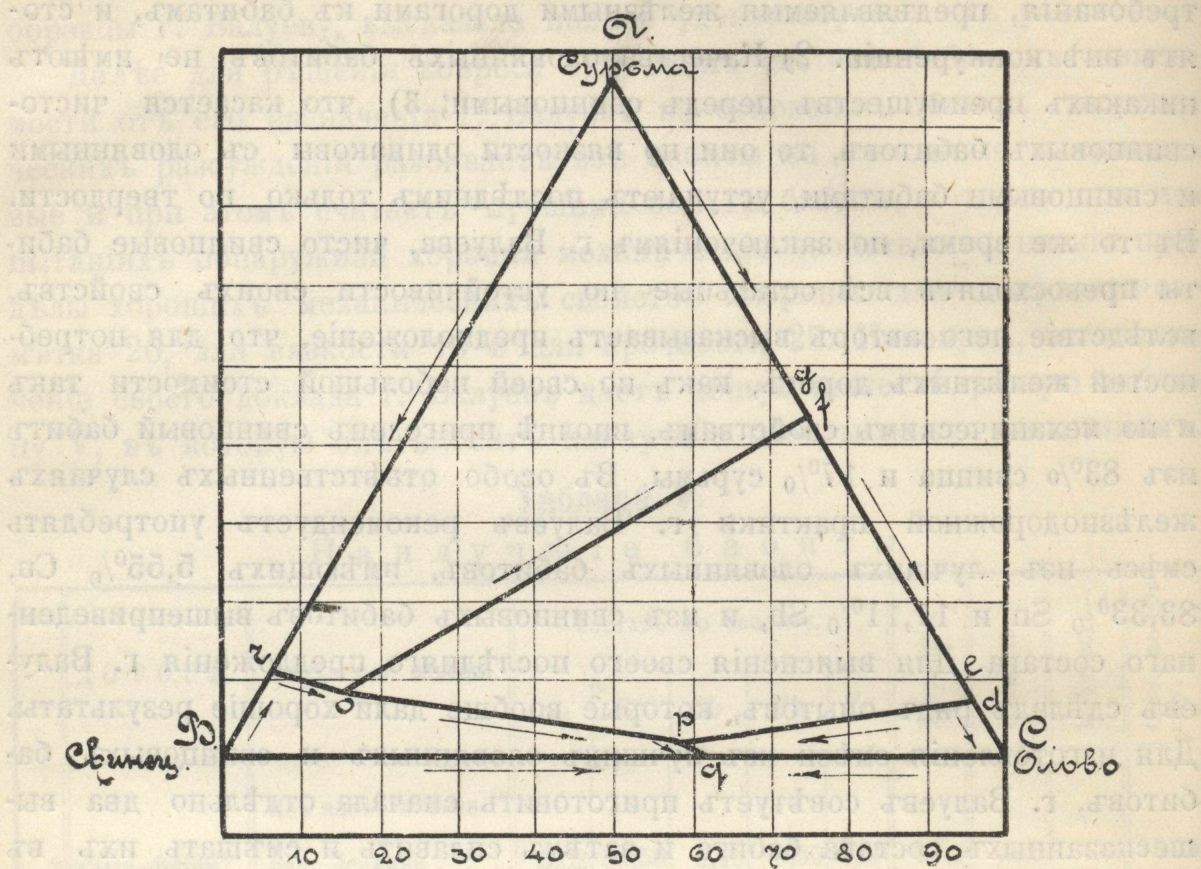
Изъ разсмотрѣнія послѣдней таблицы г. Валуевъ высказываетъ заключенія, что: 1) чисто оловянные бабиты, правильно составленные, обладаютъ высокими качествами, могутъ удовлетворять самыя строгія требованія, предъявляемыя желѣзными дорогами къ бабитамъ, и стоятъ внѣ конкуренціи. 2) Качества оловянныхъ бабитовъ не имѣютъ никакихъ преимуществъ передъ свинцовыми; 3) что касается чисто-свинцовыхъ бабитовъ, то они по вязкости одинаковы съ оловянными и свинцовыми бабитами, уступаютъ послѣднимъ только по твердости. Въ то же время, по заключеніямъ г. Валуева, чисто свинцовые бабиты превосходятъ всѣ остальные по устойчивости своихъ свойствъ, вслѣдствіе чего авторъ высказываетъ предположеніе, что для потребностей желѣзныхъ дорогъ, какъ по своей небольшой стоимости такъ и по механическимъ свойствамъ, вполне пригоденъ свинцовый бабитъ изъ 83% свинца и 17% сурьмы. Въ особо отвѣтственныхъ случаяхъ желѣзнодорожной практики г. Валуевъ рекомендуетъ употреблять смѣсь изъ лучшихъ оловянныхъ бабитовъ, имѣющихъ 5,55% Cu, 83,33% Sn и 11,11% Sb, и изъ свинцовыхъ бабитовъ вышеприведеннаго состава. Для выясненія своего послѣдняго предложенія г. Валуевъ сдѣлалъ рядъ опытовъ, которые вообще дали хорошіе результаты. Для изготовленія смѣси изъ лучшихъ оловянныхъ и свинцовыхъ бабитовъ, г. Валуевъ совѣтуетъ приготовить сначала отдѣльно два вышеказанныхъ состава бабита и затѣмъ сплавить и смѣшать ихъ въ желаемой пропорціи. Дѣло въ томъ, что въ оловянномъ бабитѣ во время охлажденія послѣ плавленія должны произойти (указанныя выше) какъ бы химическія соединенія, которыя, очевидно, въ концентрированномъ растворѣ произойдутъ полнѣе, нежели въ растворѣ разбавленномъ свинцомъ.

На ряду съ изученіемъ механическихъ свойствъ различныхъ по составу бабитовъ производились и металлографическія изслѣдованія послѣднихъ. Такъ К. Loebe въ 1911 г.¹⁴⁾ опубликовалъ свои изслѣдованія надъ бабитами изъ свинца, олова и сурьмы. Campbell и Elder на основаніи своихъ наблюденій надъ вышеуказаннымъ составомъ бабитовъ дали приблизительную діаграмму¹⁵⁾ тройного сплава изъ олова, свинца и сурьмы. Означенная діаграмма построена на общемъ положеніи, что сумма перпендикуляровъ, опущенныхъ изъ какой либо точки внутри равносторонняго треугольника, равняется его высотѣ. Результаты опытныхъ изслѣдованій, изобразенные на діаграммѣ (фиг. 6), таковы: 1) наивысшая точка плавленія тройного сплава (на діаграммѣ

¹⁴⁾ Metallurgie, 1911, 8, 7 и 33.

¹⁵⁾ Metallurgie, 1912, S. 422.

точка 0) изъ 80% Pb, 10% Sn и 10% Sb обнаруживается при температурѣ 245° С, т. е. приблизительно на 2 градуса ниже точки затвердѣванія эвтектики изъ свинца и сурьмы. 2) Нижняя точка пла-



Фиг. 6.

ленія (на диаграммѣ точка P) была обнаружена у сплава, имѣющаго 40% Pb, 57,5% Sn и 2,5% Sb, при температурѣ 189° С, слѣдовательно на 7° выше температуры плавленія эвтектической массы двойного сплава изъ свинца и олова. Необходимо замѣтить, что положеніе линій Of, OP и dP нанесено W. Campbell'емъ приблизительно. Общее значеніе изображенной диаграммы таково: при вершинѣ треугольника A—имѣется сурьма, при B—свинецъ и при C—олово. Эвтектическая масса изъ свинца и сурьмы имѣетъ 13% Sb и на диаграммѣ соотвѣтствуетъ точкѣ g. Эвтектическая масса изъ свинца и олова при 62% Sn съ температурой плавленія 182° С лежитъ въ точкѣ q. На линіи AC равенство выдѣленій изъ олова и сурьмы (Sn Sb) обозначено точкою g; f—точка остановки термометра при 422° С, d—точка остановки термометра при 240° и e—подобная же точка термометра для выдѣленій олова въ формѣ α (Sn α) при 10% Sb.

Сущность представленной диаграммы въ общихъ чертахъ будетъ такова: въ пространствѣ Ag of—при затвердѣваній сплава сначала начинается выдѣляться сурьма въ тѣсномъ соединеніи съ незначитель-

нымъ количествомъ олова. По площади діаграммы Br OPq сначала при затвердѣваніи указаннаго тройнаго сплава выдѣляется свинецъ; по площади fo Pd—сначала изъ раствора при его затвердѣваніи выдѣляется Sn Pb и, наконецъ, по площади Cd Pq—выдѣляется сначала олово въ плотномъ соединеніи съ сурью (условно обозначено олово „ α “— $\text{Sn}\alpha$). Наконецъ, если ради упрощенія, предположить, что при затвердѣваніи вышеуказаннаго тройнаго сплава выдѣляется чистая сурьма, то по площади діаграммы Aor при затвердѣваніи сплава будутъ выдѣляться кристаллы сурьмы до тѣхъ поръ, пока оставшійся составъ сплава не достигнетъ границы, обозначенной на діаграммѣ линіей ro. Послѣ этого свинецъ и сурьма будутъ выдѣляться одновременно, пока составъ жидкаго остатка сплава идетъ по линіи ro и до тѣхъ поръ, пока онъ не достигнетъ точки O. При концентраціи сплава, соотвѣтствующаго точкѣ O,—изъ сплава при его затвердѣваніи выдѣляются частицы Sn Sb+Pb. Если концентрація раствора будетъ больше, чѣмъ это соотвѣтствуетъ точкѣ O, то частицы Sn Sb и Pb будутъ продолжать выдѣляться изъ раствора по линіи Or до полного затвердѣванія сплава.

Въ полѣ Bro при затвердѣваніи сплава сначала будетъ выдѣляться чистый свинецъ пока концентрація жидкаго остатка не достигнетъ точекъ линіи ro. Дальнѣйшая картина затвердѣванія сплава будетъ одинакова съ предыдущей.

По площади діаграммы Aof при затвердѣваніи сплава сначала выдѣляются кристаллы сурьмы до тѣхъ поръ, пока жидкій остатокъ сплава не достигнетъ концентраціи точекъ линіи fo; послѣ этого начнутъ выдѣляться частицы Sn Sb и концентрація остающагося жидкаго остатка сплава приближается къ точкѣ O. Картина затвердѣванія частицъ сплава при концентраціи его, соотвѣтствующей точкѣ O, остается безъ измѣненія по сравненію съ предыдущими случаями. Въ полѣ f PO первымъ продуктомъ затвердѣванія въ сплавѣ является Sb Sn до тѣхъ поръ, пока составъ жидкаго остатка сплава не достигнетъ указанной черезъ OP границы. Въ послѣднемъ случаѣ изъ жидкаго остатка сплава начнутъ выдѣляться одновременно частицы Sn Sb и Pb, но при этомъ составъ остатка сплава будетъ приближаться по линіи OP къ точкѣ p, при которой въ послѣдній моментъ затвердѣванія сплава выдѣляется плотная масса изъ $\text{Sn}\alpha + \text{Pb}$.

По площади BPq при затвердѣваніи сплава сначала выдѣляются частицы свинца, которыя, условно предполагаемъ, не содержатъ раствореннаго въ нихъ олова, и такое выдѣленіе частицъ чистаго свинца изъ жидкаго остатка сплава будетъ продолжаться до тѣхъ поръ, пока

концентрація жидкаго остатка не достигнетъ границы Pq , при которой одновременно изъ жидкаго остатка сплава будутъ выдѣляться частицы свинца и олова ($Sn\alpha$), а жидкій остатокъ сплава не приблизится къ эвтектикѣ (точка q) двойного сплава изъ олова и свинца, которая и затвердѣетъ послѣдней. По площади $Cd Pq$ при затвердѣваніи сплава сначала будутъ выдѣляться частицы олова ($Sn\alpha$) пока жидкій остатокъ не приблизится къ границѣ pq .

Линія go есть граница сурьмяныхъ и свинцовыхъ частицъ полей сплава, выдѣляющихся при затвердѣваніи послѣдняго при однихъ и тѣхъ же температурахъ. Линія OP есть граница между полями свинца и полями $Sb Sn$ и указываетъ намъ, гдѣ происходитъ одновременное затвердѣваніе частицъ свинца и $Sb Sn$. Далѣе линія pq есть граница и въ то же время линія единовременнаго затвердѣванія Pb и Sn . Наконецъ, линія fo указываетъ намъ предѣлъ превращенія, при которомъ выдѣляются частицы $Sb Sn$ за счетъ Sb , а линія dp есть предѣлъ превращенія частицъ $Sb Sn$ съ образованіемъ $Sn\alpha$.

Въ заключеніе нельзя не отмѣтить, что вышеразобранная діаграмма тройнаго сплава изъ сурьмы, свинца и олова вообще довольно сложна, но W. Campbell удалось главные существенныя точки ея подтвердить рядомъ металлографическихъ снимковъ, для чего имъ было металлографически анализировано 49 различныхъ по составу сплавовъ изъ свинца, олова и сурьмы.

Исслѣдованіе бабитовъ различнаго химическаго состава неоднократно производилось мною въ Металлографической Лабораторіи Томскаго Технологическаго Института, при чемъ необходимо замѣтить, что въ означенныхъ работахъ принимали и принимаютъ участіе студенты Института, которымъ въ видѣ дипломныхъ работъ выдаются небольшія изслѣдованія въ упомянутой области. Къ сожалѣнію оборудованіе лабораторій Института не дастъ возможность произвести изслѣдованіе бабитовъ на изнашивание и нагрѣваніе при механическихъ установкахъ, ибо Институтъ не располагаетъ электрической энергіей круглыя сутки, а вышеуказанная лабораторія не имѣетъ средствъ на устройство необходимыхъ приборовъ.

Описанія небольшихъ опытныхъ изслѣдованій бабитовъ, произведенныхъ въ металлографической лабораторіи института, начнемъ съ опытовъ по провѣркѣ заключеній Loebe и Campbell'я (см. діаграмму, фиг. 6). Первые работы имѣютъ цѣлью выяснитъ механизмъ застыванія цѣлаго ряда тройныхъ сплавовъ изъ свинца, олова и сурьмы. Что бы внести въ указанную задачу нѣкоторую систему и тѣмъ самымъ облегчить работу, всѣ опыты были разбиты на нѣсколько серій,

измѣняя для этого вѣсовыя количества Pb, Sb и Sn тройныхъ сплавовъ такимъ образомъ, чтобы отношеніе вѣсовъ $\frac{\text{Sn}}{\text{Pb}}$ въ каждой серіи было постоянно.

Всего, такимъ образомъ, было выполнено 7 серій опытовъ:

I-я серія.

$\frac{\text{Sn}}{\text{Pb}} = 1/1$	1)	Sb = 5 ⁰ / ₀ ;	Pb = 47,5 ⁰ / ₀ ;	Sn = 47,5
	2)	Sb = 10 ⁰ / ₀ ;	Pb = 45 ⁰ / ₀ ;	Sn = 45 ⁰ / ₀
	3)	Sb = 20 ⁰ / ₀ ;	Pb = 40 ⁰ / ₀ ;	Sn = 40 ⁰ / ₀
	4)	Sb = 25 ⁰ / ₀ ;	Pb = 37,5 ⁰ / ₀ ;	Sn = 37,5 ⁰ / ₀
	5)	Sb = 30 ⁰ / ₀ ;	Pb = 35 ⁰ / ₀ ;	Sn = 35 ⁰ / ₀

II-я серія.

$\frac{\text{Sn}}{\text{Pb}} = 1/3$	1)	Sb = 10 ⁰ / ₀ ;	Pb = 67,5 ⁰ / ₀ ;	Sn = 22,5 ⁰ / ₀
	2)	Sb = 15 ⁰ / ₀ ;	Pb = 63,75 ⁰ / ₀ ;	Sn = 21,25 ⁰ / ₀
	3)	Sb = 20 ⁰ / ₀ ;	Pb = 60 ⁰ / ₀ ;	Sn = 20 ⁰ / ₀
	4)	Sb = 25 ⁰ / ₀ ;	Pb = 56,25 ⁰ / ₀ ;	Sn = 18,75 ⁰ / ₀

III-я серія.

$\frac{\text{Sn}}{\text{Pb}} = 1/4$	1)	Sb = 10 ⁰ / ₀ ;	Pb = 72 ⁰ / ₀ ;	Sn = 18 ⁰ / ₀
	2)	Sb = 20 ⁰ / ₀ ;	Pb = 64 ⁰ / ₀ ;	Sn = 16 ⁰ / ₀
	3)	Sb = 30 ⁰ / ₀ ;	Pb = 56 ⁰ / ₀ ;	Sn = 14 ⁰ / ₀

IV-я серія.

$\frac{\text{Sn}}{\text{Pb}} = 1/5$	1)	Sb = 10 ⁰ / ₀ ;	Pb = 75 ⁰ / ₀ ;	Sn = 15 ⁰ / ₀
	2)	Sb = 20 ⁰ / ₀ ;	Pb = 66,6 ⁰ / ₀ ;	Sn = 13,4 ⁰ / ₀
	3)	Sb = 30 ⁰ / ₀ ;	Pb = 58,3 ⁰ / ₀ ;	Sn = 11,7 ⁰ / ₀

V-я серія.

$\frac{\text{Sn}}{\text{Pb}} = 1/6$	1)	Sb = 10 ⁰ / ₀ ;	Pb = 77,1 ⁰ / ₀ ;	Sn = 12,9 ⁰ / ₀
	2)	Sb = 20 ⁰ / ₀ ;	Pb = 68,6 ⁰ / ₀ ;	Sn = 11,4 ⁰ / ₀
	3)	Sb = 30 ⁰ / ₀ ;	Pb = 60 ⁰ / ₀ ;	Sn = 10 ⁰ / ₀

VI-я серія.

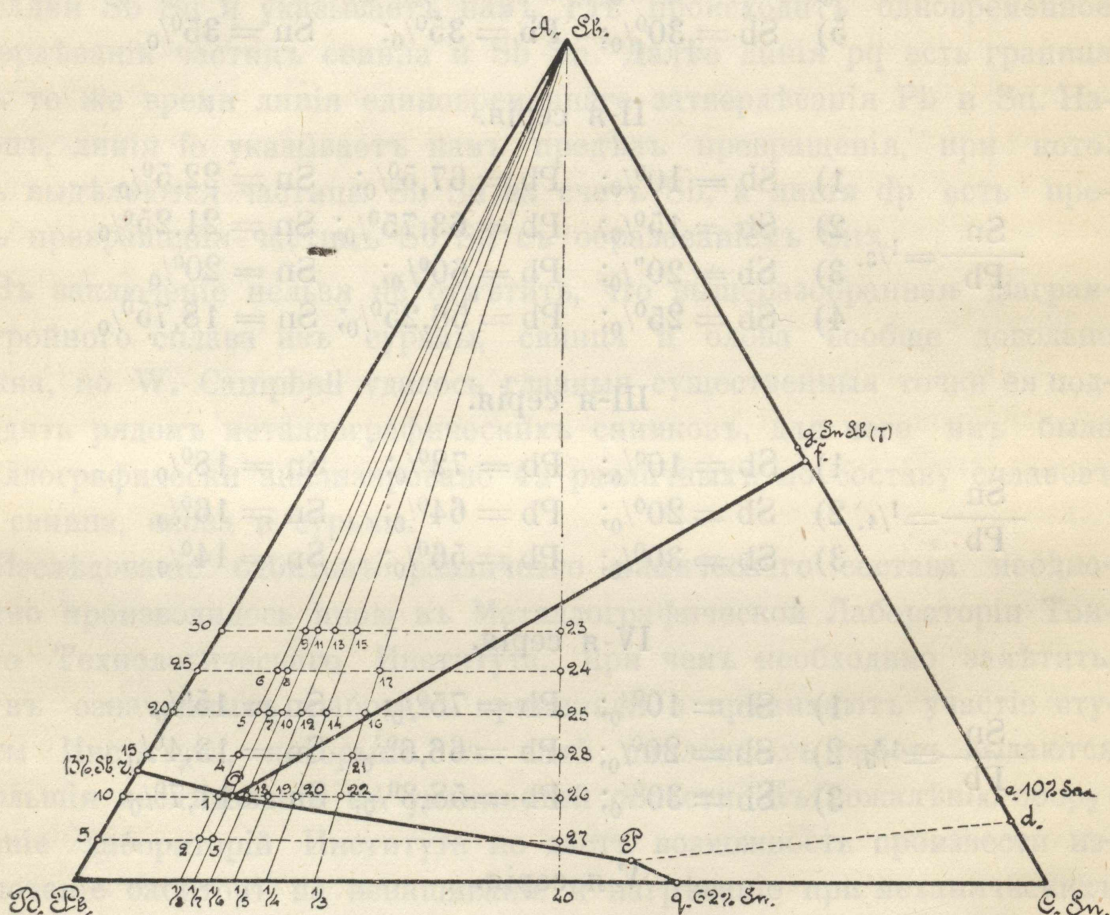
$\frac{\text{Sn}}{\text{Pb}} = 1/7$	1)	Sb = 5 ⁰ / ₀ ;	Pb = 83,1 ⁰ / ₀ ;	Sn = 11,9 ⁰ / ₀
	2)	Sb = 10 ⁰ / ₀ ;	Pb = 78,75 ⁰ / ₀ ;	Sn = 11,25 ⁰ / ₀
	3)	Sb = 20 ⁰ / ₀ ;	Pb = 70 ⁰ / ₀ ;	Sn = 10 ⁰ / ₀
	4)	Sb = 25 ⁰ / ₀ ;	Pb = 65,6 ⁰ / ₀ ;	Sn = 9,4 ⁰ / ₀
	5)	Sb = 30 ⁰ / ₀ ;	Pb = 61,25 ⁰ / ₀ ;	Sn = 8,75 ⁰ / ₀

VП-я серия.

- | | | | | |
|-------------------------------------|----|---------------------------------------|--|--|
| | 1) | Sb = 5 ⁰ / ₀ ; | Pb = 84,45 ⁰ / ₀ ; | Sn = 10,55 ⁰ / ₀ |
| | 2) | Sb = 10 ⁰ / ₀ ; | Pb = 80 ⁰ / ₀ ; | Sn = 10 ⁰ / ₀ |
| $\frac{\text{Sn}}{\text{Pb}} = 1/8$ | 3) | Sb = 15 ⁰ / ₀ ; | Pb = 75,5 ⁰ / ₀ ; | Sn = 9,5 ⁰ / ₀ |
| | 4) | Sb = 20 ⁰ / ₀ ; | Pb = 71,1 ⁰ / ₀ ; | Sn = 8,9 ⁰ / ₀ |
| | 5) | Sb = 25 ⁰ / ₀ ; | Pb = 66,6 ⁰ / ₀ ; | Sn = 8,4 ⁰ / ₀ |

Вѣсовое количество элементовъ, входящихъ въ каждый изъ сплавовъ, въ суммѣ составляетъ 100 грм.

Положенія, взятыхъ для испытаній вышеуказанныхъ сплавовъ, по диаграммѣ Campbell,я и Flder,а изображены на фиг. 6-а.



Фиг. 6-а.

Для получения сплавовъ пользовались электрической печью фирмы „Kryptol Gesellschaft“.

Для опредѣленія въ каждый моментъ температуры расплавленного металла, пользовались пирометромъ Le Chatelier, причемъ пирометръ опускался черезъ отверстіе въ крышкѣ печи внутрь тигля, а проводники, идущіе отъ пирометра, соединялись съ мѣдными зажимами, помещенными въ резервуарѣ со льдомъ; отъ мѣдныхъ зажимовъ имѣлись толстые мѣдные проводники къ гальванометру, который и показывалъ температуру расплавленного металла.

Очевидно, имѣя въ каждый моментъ температуру даннаго сплава, можно выстроить обычнымъ способомъ кривую затвердѣванія.

Видъ кривой застыванія даетъ возможность опредѣлить критическія точки, устанавливающія моментъ начала измѣненія въ структурѣ сплава и характеризующіяся тѣмъ, что въ этотъ моментъ наблюдается внезапное замедленіе въ паденіи температуры, вслѣдствіе выдѣленія тепла. Кромѣ того, кривую затвердѣванія сплава въ зависимости отъ времени получали помощью регистрирующаго пирометра Н. С. Курнакова, на подробномъ описаніи котораго останавливаться не будемъ.

Производство опыта состояло въ слѣдующемъ: предварительно нагрѣвали примѣрно до 400°C тигель, помѣщенный въ стаканѣ выше-названной электрической печи, затѣмъ опускали въ него опредѣленное количество свинца (темпер. плавл. 325°C); когда температура расплавленного свинца достигала, примѣрно, 500°C , опускали соответствующее количество сурьмы, перемѣшивая массу деревянной палочкой и посыпая мелочью древеснаго угля, дабы предохранить сурьму отъ выгоранія.

Далѣе, когда температура жидкаго двойного сплава достигала около 600°C ., присаживали олово.

Наблюденія и отсчеты надъ затвердѣваніемъ cadaго сплава производились съ момента, когда температура охлаждающагося сплава опускалась до 650° , для чего предварительно доводили температуру до 700°C .

Отмѣчая по гальванометру черезъ каждую минуту температуру охлаждающагося сплава, строили по точкамъ кривую остыванія.

Одновременно и регистрирующій пирометръ каждый разъ воспроизводилъ на фотографической бумагѣ кривую затвердѣванія и чтобы на послѣдней получить постоянныя точки, соответствующія, на прим., 600°C , 500°C и т. д., выключали штепселемъ лампочку аппарата, получая такимъ образомъ на кривой температурныя отмѣтки въ видѣ бѣлыхъ промежутковъ.

Охлажденіе cadaго сплава доводили до 150°C .

Прежде чѣмъ вступить въ область изслѣдованія добытаго матеріала остановимся нѣсколько на способѣ построенія діаграммы плавкости тройныхъ сплавовъ. Кривыя плавкости двойныхъ сплавовъ могутъ быть изображены на плоскости, — дѣйствительно: откладывая по оси абсциссъ различное процентное содержаніе элемента X двойного сплава $x+y$, а по оси ординатъ соответствующія температуры, при которыхъ наблюдались остановки въ паденіи температуры, — получилъ кривую плавкости, расположенную въ плоскости.

свою очередь сходятся въ одной точкѣ А, опредѣляющей температуру и составъ тройной эвтектической смѣси, т. е. точкой А опредѣляется эвтектическій сплавъ.

Основываясь на только что приведенномъ, возможно объяснить механизмъ застыванія тройныхъ сплавъ въ вообще такимъ образомъ.

Сначала выдѣляется компонентъ (1-ая характеристическая точка), имѣющійся въ избыткѣ, а остающаяся смѣсь все болѣе и болѣе приближается по составу къ двойной эвтектикѣ и выдѣленіе, такъ сказать, избыточнаго компонента будетъ продолжаться до тѣхъ поръ, пока не будетъ достигнута одна изъ линій двойной эвтектики; далѣе начинается выдѣляться одновременно съ первымъ и второй компонентъ (подъ „компонентомъ“ сплава надо разумѣть свободные элементы и тѣ соединенія, которыя неразложимы при разсматриваемыхъ условіяхъ), имѣющійся въ избыткѣ, т. е. произойдетъ выдѣленіе двойной эвтектики; такое выдѣленіе двойной эвтектики будетъ продолжаться до тѣхъ поръ, пока оставшаяся часть не будетъ отвѣчать составу тройной эвтектики. Моментъ этотъ будетъ характеризоваться появленіемъ 3-ей характеристической точки на кривой застыванія. Теперь начнетъ застывать и эвтектическая смѣсь и это застываніе закончится при температурѣ, отвѣчающей точкѣ плавленія тройной эвтектической смѣси.

Очевидно, что построеніе поверхностей затвердѣванія представляетъ собою довольно кропотливую задачу.

Чтобы значительно упростить вопросъ, достаточно только спроектировать кривыя пересѣченія поверхностей на плоскость треугольника М N Р и весь механизмъ затвердѣванія изобразится на плоскости въ видѣ линій того и другого характера, эти линіи могутъ дать въ своемъ пересѣченіи одну или нѣсколько точекъ, также какъ это бываетъ и при двойныхъ сплавахъ; находятся эти линіи на основаніи кривыхъ остыванія и микроскопическаго строенія сплавовъ.

Результатомъ послѣдняго построенія является ранѣе разсмотрѣнная діаграмма Campbell'я и Elder'a (см. фиг. 6), но для провѣрки правильности заключенія ея и былъ взятъ тройной сплавъ свинца, олова и сурьмы, при чемъ въ большинствѣ сплавовъ свинецъ является преобладающимъ элементомъ; для изслѣдованія была взята область по діаграммѣ (см. фиг. 6-а), близкая къ точкѣ О.

Точка О—можетъ быть установлена на основаніи кривыхъ застыванія и микроскопическаго строенія. Изъ серіи сплавовъ при отношеніи $\frac{\text{Sn}}{\text{Pb}} = \frac{1}{7}$, сплавъ, состоящій приблизительно изъ 10% сурь-

мы, 79⁰/₀ свинца и 11⁰/₀ олова, далъ характерную кривую застыванія. Остановка въ паденіи температуры наблюдалась только одна около 250° С.

Очевидно,— при этой температурѣ изъ составныхъ частей сплава образовалось соединеніе, которое и начало затвердѣвать безъ всякихъ послѣдующихъ превращеній, въ противномъ случаѣ должна появиться еще точка, опредѣляющая моментъ измѣненія въ структурѣ сплава.

Шлифъ такого сплава имѣетъ однообразное строеніе темно-сѣраго цвѣта и мѣстами попадаются небольшіе кристалы Sn Sb въ формѣ ромбовъ.

Слѣдовательно, рассматриваемый сплавъ немного отличается отъ эвтектическаго сплава, вслѣдствіе чего была возможность, не отмѣченная даже на кривой застыванія, появиться небольшому количеству кристалловъ Sn Sb. Наблюдаемый сплавъ былъ гдѣ-то около точки О, но во всякомъ случаѣ въ области f О Р (ромбы Sn Sb). Какъ видно точка О—нѣсколько отличается отъ О Campbell'я, а именно, она какъ бы уклонилась вправо отъ точки О—последней діаграммы. Разсмотримъ дальше сплавы изъ области Br о Рq, т. е. изъ области избытка свинца, помѣченные на діаграммѣ цифрами 1, 2 и 3.

Сплавъ 1-ый (Sb=10⁰/₀, Sn=10⁰/₀, Pb=80⁰/₀) находится вблизи линіи г о. Кривая застыванія даетъ двѣ точки, одну при 252° С, а другую при 250° С. Эти двѣ точки даютъ возможность указать, что сплавъ долженъ находиться на линіи г о (въ дѣйствительности чуть-чуть ниже).

Такимъ образомъ микроскопическое строеніе должно показать: небольшое количество выдѣлившейся двойной эвтектики изъ свинца и сурьмы (темп. 252° С), окруженной продуктами превращенія при О (высшая эвтектика Sb Sn+Pb (см. фиг. 7, таб. I).

Кривая застыванія для сплавовъ 2 и 3, расположенныхъ въ этой же области и содержащихъ сурьмы 5⁰/₀ при $\frac{\text{Sn}}{\text{Pb}} = \frac{1}{8}$ и $\frac{\text{Sn}}{\text{Pb}} = \frac{1}{7}$, даютъ три характеристическія точки. Для сплава 2-го первая характеристическая точка при 273° С; вторая при 240° С и третья при 190° С. На основаніи этихъ данныхъ мы можемъ нарисовать себѣ картину измѣненія структуры; температура последней характеристической точки (190° С) указываетъ на то, что полное затвердѣваніе произошло при точкѣ Р и слѣдовательно измѣненіе сплава шло по линіи О Р, но самъ сплавъ не дошелъ до точки О (температура 240° С, а не 250°), а гдѣ-то дальше—по о Р (ниже О). Сплавъ 3-й, судя по кривой застыванія, прошелъ тѣ-же фазы какъ и 2-ой, т. е. во первыхъ,—вы-

дѣленіе свинца, затѣмъ выдѣленіе двойной эвтектики Sn Sb и Pb и наконецъ полное затвердѣваніе при точкѣ P при 190°C .

Микроскопическое строеніе подтверждаетъ сказанное: на полѣ шлифа ясно видны кристаллы Sn Sb , темныя мѣста, вѣрнѣе, отдѣльныя темныя вкрапленія (свинецъ) и все это окружено эвтектикой при P .

Для сплавовъ 4, 5, и 6 имѣемъ 3 характеристическія точки и слѣдовательно, въ сплавѣ мы имѣемъ выдѣлившуюся сурьму, двойную эвтектику (Sb и Pb) по $г—о$ и эвтектическую смѣсь при O . Микроструктура сплавовъ 4 и 5 подтверждаетъ сказанное: бѣлые кристаллы —сурьма; свѣтлая масса—двойная эвтектика изъ сурьмы и свинца; все это окружено высшей эвтектикой при O . Слѣдуетъ замѣтить, что 2 и 3 характеристическія точки для сплавовъ 4-го и 5-го почти совпадаютъ; изъ этого можно заключить, что выдѣленіе двойной эвтектики началось почти у точки O и потому продолжалось очень недолго (см. фиг. 7-а, таб. I, сплавъ № 5).

Не будемъ детально останавливаться на разсмотрѣніи микроструктуры всѣхъ сплавовъ, остановимся лишь на болѣе характерныхъ изъ нихъ, именно 15, 14 и 20—соотвѣтственно 30%, 20% и 10% сурьмы при $\frac{\text{Sn}}{\text{Pb}} = \frac{1}{4}$.

Кривая плавкости сплава 15-го имѣетъ три характеристическія точки и въ микроскопическомъ строеніи этого сплава мы видимъ пласты сурьмы, кое-гдѣ ромбы Sn Sb и все это окружено продуктами превращенія при O . Сплавъ 14 содержитъ небольшое количество сурьмы и большее количество Sn Sb въ видѣ ромбовъ и все это окружено эвтектикой при O (см. фиг. 7-в, таб. I). Сплавъ 20—находится въ области $F O P$ и въ своемъ строеніи содержитъ немного кристалловъ Sn Sb , и свѣтлую массу-эвтектическую смѣсь изъ Sn Sb и Pb ; все это окружено эвтектической смѣсью при точкѣ P , такъ какъ 3-я характеристическая точка имѣетъ температуру 190°C (см. фиг. 7 с, таб. I).

Сплавы 23, 24, 25, 26, 27, находящіеся въ области $F O P$, въ своемъ строеніи совершенно не содержатъ выдѣленій сурьмы (см. фиг. 7 d, табл. I, сплавъ 25).

Сплавъ 27-ой имѣетъ однообразное строеніе и очевидно соотвѣтствуетъ сплаву по линіи $O P$, т. е. съ самаго же начала пошло выдѣленіе Sn Sb и Pb (см. фиг. 7 е, табл. I). Кривая остыванія ясно подтверждаетъ это, т. к. мы имѣемъ всего лишь 2 характеристическія точки; одну при 200°C ,—моментъ начала выдѣленія Sn Sb и Pb изъ сплава и другую при 189°C ,—застываніе эвтектической смѣси при точкѣ P .

Такимъ образомъ на основаніи только что описанныхъ опытныхъ изслѣдованій сплавовъ изъ свинца, олова и сурьмы можно прийти къ заключенію, что правильность основныхъ положеній Loebe и Campbell'я по отношенію характера застыванія и структуръ вышеуказанныхъ сплавовъ подтверждается наблюденіемъ указанныхъ сплавовъ.

Для дальнѣйшихъ наблюденій по проверкѣ заключеній по діаграммѣ Loebe и Campbell'я были взяты тройные сплавы, расположенные по своему составу ближе къ другимъ двумъ вершинамъ треугольника Campbell'я, для чего было взято 24 сплава, при чемъ процентное содержаніе составныхъ частей въ послѣднихъ сплавахъ бралось не произвольно, а въ извѣстной системѣ, приведенной въ нижеслѣдующей таблицѣ V-а.

Таблица V-а.

		Содержаніе въ %		
		Pb	Sb	Sn
Группа I.				
Отношеніе $\frac{Sb}{Sn} = 1/17$	Сплавъ № 1	10	5	85
	„ № 7	20	4,44	75,56
	„ № 13	30	3,89	66,11
	„ № 19	40	3,34	56,66
Группа II.				
Отношеніе $\frac{Sb}{Sn} = 1/5$	Сплавъ № 2	10	15	75
	„ № 8	20	13,33	66,67
	„ № 14	30	11,67	58,33
	„ № 20	40	10	50
Группа III.				
Отношеніе $\frac{Sb}{Sn} = 1/2$	Сплавъ № 3	10	30	60
	„ № 9	20	26,67	53,33
	„ № 15	30	23,33	46,67
	„ № 21	40	20	40

			Pb	Sb	Sn
Группа IV.					
Отношение $\frac{Sb}{Sn} = 1$	Сплавъ № 4		10	45	45
	„ № 10		20	40	40
	„ № 16		30	35	35
	„ № 22		40	30	30
Группа V.					
Отношение $\frac{Sb}{Sn} = 2$	Сплавъ № 5		10	60	30
	„ № 11		20	53,33	26,67
	„ № 17		30	46,67	26,33
	„ № 23		40	40	20
Группа VI.					
Отношение $\frac{Sb}{Sn} = 14$	Сплавъ № 6		10	84	6
	„ № 12		20	74,66	5,34
	„ № 18		30	65,33	4,67
	„ № 24		40	56	4

Вѣсовое количество элементовъ, входящихъ въ каждый изъ сплавовъ, въ суммѣ бралось 200 gr. Сплавы расплавлялись въ электрической печи фирмы „Kryptol—Gesellschaft“. Для измѣренія температуры пользовались пирометромъ „Le Chatelier“.

Для полученія кривыхъ затвердѣванія пользовались приборомъ Н. С. Курнакова.

Для полученія сплава предварительно нагрѣвали шамотовый стаканъ въ вышеуказанной электрической печи до 400° С, затѣмъ спускали навѣску свинца, нагрѣвали свинецъ до 500° С, добавляли навѣску олова и при температурѣ сплава 600° С погружали сурьму. Смѣсь перемѣшивали деревянной палочкой. Когда сурьма расплавилась и температура ванны поднялась до 720—740°, выключали токъ и при температурѣ 700° включали аппаратъ Н. С. Курнакова, причемъ показанія пирометра записывались черезъ каждую минуту. При температурахъ 600°, 500°, 400°, 300° и 200° выключали лампочку въ приборѣ Курнакова, чтобы зафиксировать постоянныя точки на фотографической бумагѣ. Остываніе довели до 150°, а у нѣкоторыхъ спла-

вовъ до 130° С, послѣ чего аппаратъ Курнакова выключался. Затѣмъ, чтобы освободить термометръ изъ сплава, сплавъ нагревали вторично.

Въ виду того, что для опытовъ необходимо было имѣть шлифы изъ сплава медленно охлажденного, а образцы для испытанія на твердость изъ сплава быстроохлажденного, то сообразно этому одну половину сплава охлаждали медленно, а другую быстро.

Для этого поступали такъ: на газовой горѣлкѣ нагревали огнеупорный тигелекъ до 450° — 500° , послѣ чего въ него выливали половину полученнаго сплава при температурѣ 620 — 750° , тигелекъ закрывали асбестовой пластинкой, тушили газъ и такимъ образомъ оставляли охлаждаться. Другую половину сплава выливали въ чугунную толстостѣнную формочку, благодаря чему получали закаленную отливку.

Раньше было указано, что въ основу предварительныхъ изслѣдованій была положена діаграмма Campbell'я, при чемъ для большей наглядности на фиг. 8 изображено положеніе взятыхъ для послѣднихъ опытовъ сплавовъ по площади треугольника и кромѣ этого указаны наблюдаемыя критическія точки изслѣдованныхъ сплавовъ съ условнымъ обозначеніемъ наблюдаемой структуры послѣднихъ.

Обращаясь къ этой діаграммѣ, мы видимъ, что сплавы 1 и 7 лежатъ въ области $cdpq$, сплавъ 13 лежитъ очень близко къ линіи pd , а сплавъ 19 близко къ линіи or .

Для сплава № 1 получили двѣ критическихъ точки: 227° и 189° С. Шлифъ представляетъ изъ себя равное поле двухъ цвѣтовъ (см. фиг. 8-а, табл. II).

Принимая основныя положенія діаграммы Campbell'я, изъ данныхъ полученныхъ нами должны прійти къ заключенію, что сначала выдѣлилось $Sn \alpha$ (227°), затѣмъ процессъ шелъ по линіи pd и все застыло въ точкѣ p .

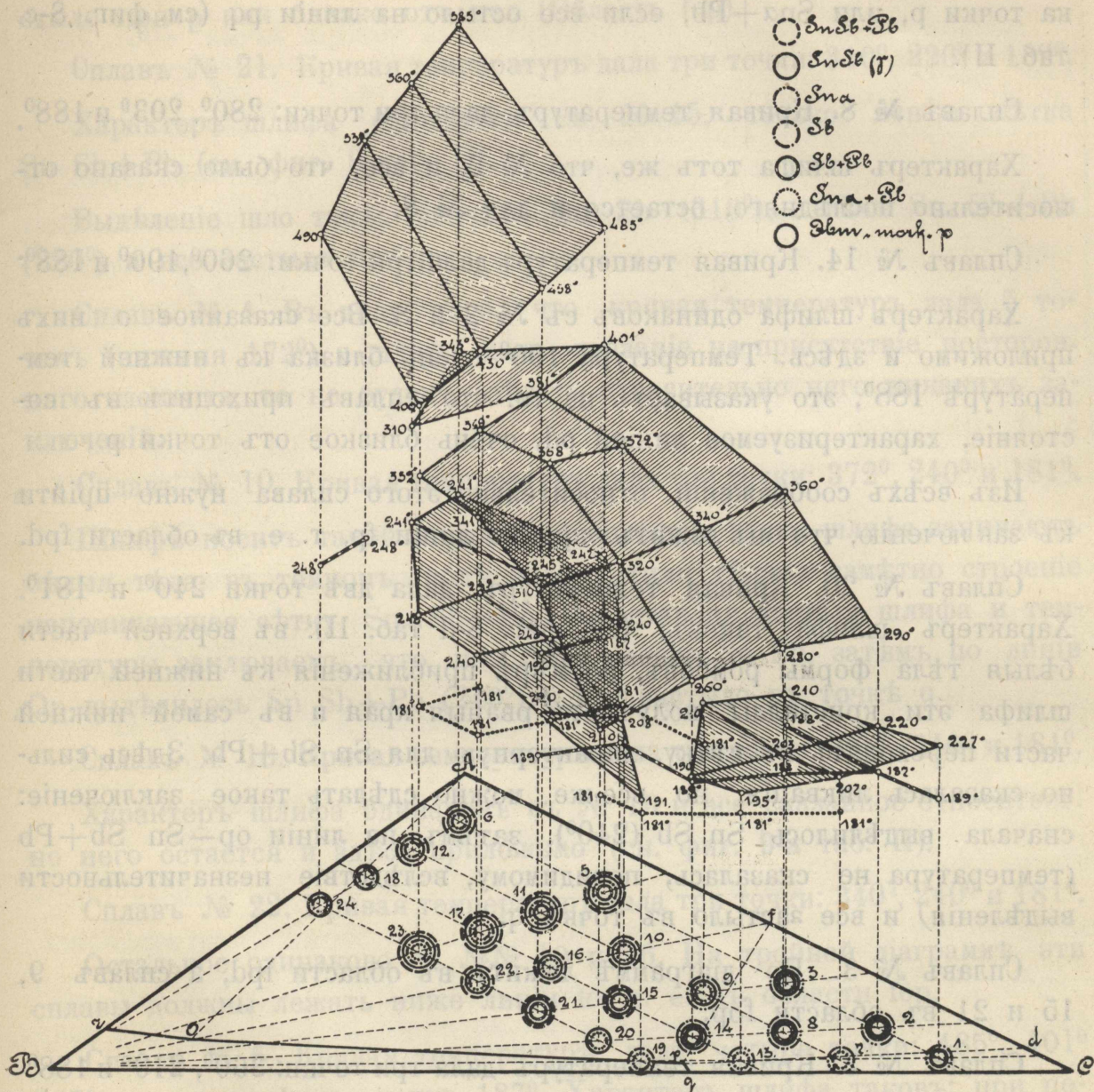
Сплавъ № 7. Кривая паденія температуръ дала двѣ точки: 207° и 181° . Шлифъ представляетъ поле двухъ цвѣтовъ съ отдѣльными бѣлыми тѣлами, въ которыхъ замѣтно стремленіе къ образованію ромбовъ. Такой характеръ шлифа указываетъ на то, что сперва выпало $Sn Sb$, далѣе процессъ долженъ былъ идти по линіи pd — $Sn \alpha$ (207°), затѣмъ по pq и все застыло при q .

При такомъ порядкѣ остыванія сплавъ долженъ лежать выше линіи pd . Температура выдѣленія $Sn Sb$ не обнаружилась вслѣдствіе незначительнаго количества $Sn Sb$.

Сплавъ № 13. Кривая температуръ дала двѣ точки: 195° и 181° .

Характеръ шлифа тотъ же, что и для сплава № 7, но здѣсь появились бѣлыя продолговатыя тѣла; эти тѣла можно принять за образо-

вание Sn Sb, такъ какъ по шлифу замѣтно ихъ стремленіе образовать одно цѣлое. Порядокъ остыванія тотъ же, что и № 7 (см. фиг. 8-b таб. II).



Фиг. 8.

Сплавъ № 19. Кривая температуръ дада двѣ точки: 191° и 181° . Шлифъ представляетъ поле двухъ оттѣнковъ съ небольшимъ числомъ ромбовъ. Это указываетъ на то, что сначала выдѣлилось Sn Sb; но какъ шло дальнѣйшее остываніе—сказать трудно; застыло все въ точкѣ q.

Сплавы 2 и 8 по діаграммѣ лежатъ въ области fpd, а 14 и 20 въ области for.

Сплавъ № 2. Кривая температуръ дала три точки: 290° , 220° и 187° . Шлифъ представляетъ основное поле двухъ оттѣнковъ, въ которомъ

размѣщены бѣлыя тѣла формы ромбовъ. Сопоставляя эти даныя съ диаграммой Compbell'я заключаемъ, что бѣлыя тѣла-Sn Sb (290°), въ основномъ же полѣ должно быть Sn α (220°) и или тройная эвтектика точки p, или $\text{Sn}\alpha + \text{Pb}$, если все остыло на линіи pq (см. фиг. 8-с. таб. II).

Сплавъ № 8. Кривая температуръ дала три точки: 280° , 203° и 188° .

Характеръ шлифа тотъ же, что № 2, и все, что было сказано относительно послѣдняго, остается и для № 8.

Сплавъ № 14. Кривая температуръ дала три точки: 260° , 190° и 188° .

Характеръ шлифа одинаковъ съ № 2 и 8. Все сказанное о нихъ приложимо и здѣсь. Температура 190° очень близка къ нижней температурѣ 188° , это указываетъ на то, что сплавъ приходитъ въ состояніе, характеризуемое линіей rd, очень близкое отъ точки p.

Изъ всѣхъ соображеній относительно этого сплава нужно прийти къ заключенію, что онъ лежитъ правѣ линіи fp, т. е. въ области fpd.

Сплавъ № 20. Кривая температуръ дала двѣ точки 240° и 181° . Характеръ шлифа таковъ: (см. фиг. 8-d таб. II): въ верхней части бѣлыя тѣла формы ромбовъ, по мѣрѣ приближенія къ нижней части шлифа эти кристаллы получаютъ рваныя края и въ самой нижней части переходятъ въ сѣтку, характерную для Sn Sb + Pb. Здѣсь сильно сказалась ликвиція, но все-же можно сдѣлать такое заключеніе: сначала выдѣлилось Sn Sb (240°), затѣмъ на линіи op—Sn Sb + Pb (температура не сказалась, повидимому, вслѣдствіе незначительности выдѣленія) и все застыло въ точкѣ q.

Сплавъ № 3. По диаграммѣ лежитъ въ области fpd, а сплавъ 9, 15 и 21 въ области for.

Сплавъ № 3. Кривая температуръ дала три точки: 360° , 210° и 188° .

Шлифъ представляетъ бѣлыя тѣла (см. фиг. 8-e таб. II) съ углами, указывающими на форму ромбовъ, съ вкрапленіями изъ основного поля, при чемъ основное поле двухъ цвѣтовъ. Бѣлыя тѣла Sn Sb (360°). Основное поле согласно диаграммы Compbell'я должно заключать Sn α (210°) и эвтектику точки p (188°).

Сплавъ № 9. Кривая температуръ дала трп точки: 340° , 210° и 181° .

Характеръ шлифа одинаковъ съ предыдущимъ. Процессъ тотъ же, только застыло все въ точкѣ q.

Сплавъ № 15. Кривая температуръ дала три точки: 320° , 208° и 190° .

Характеръ шлифа таковъ: въ верхней части шлифа ромбы Sn Sb, въ нижней части эти кристаллы имѣютъ строеніе сѣтки Sn Sb+Pb въ основномъ полѣ. Порядокъ остыванія слѣдующій: сперва выдѣлилось Sn Sb (320°), затѣмъ по линіи op—Sn Sb+Pb (208°) и все застыло при p или близко отъ нея (Область for).

Сплавъ № 21. Кривая температуръ дала три точки: 310° , 220° и 189° .

Характеръ шлифа одинаковъ съ № 15, только яснѣе сѣтка Sn Sb+Pb (см. фиг. 9 таб. II).

Выдѣленіе шло такъ: сначала Sn Sb (310°), затѣмъ Sn Sb+Pb (220°) и все застыло при p.

Сплавъ № 4. Въ виду того, что кривая температуръ дала 5 точекъ (нижняя 172°) и шлифъ далъ указаніе на присутствіе посторонняго элемента, то не будемъ дѣлать относительно него никакихъ заключеній.

Сплавъ № 10. Кривая температуръ дала три точки: 372° , 240° и 181° .

Шлифъ носитъ такой характеръ: большую часть шлифа занимаютъ бѣлыя тѣла, въ темномъ полѣ между этими тѣлами замѣтно строеніе напоминающее сѣтку Sn Sb+Pb. Сопоставляя данныя шлифа и температуры заключаемъ, что при 372° выпало Sn Sb, затѣмъ по линіи Op выдѣлилось Sn Sb+Pb (240°) и все застыло въ точкѣ q.

Сплавъ № 16. Кривая температуръ дала три точки: 368° , 240° и 181° .

Характеръ шлифа одинаковъ съ № 10 и все сказанное относительно него остается и здѣсь приложимо (см. фиг. 9-а таб. II).

Сплавъ № 22. Кривая температуръ дала три точки: 340° , 240° и 181° .

Остальное одинаково съ №№ 10 и 16. На тройной діаграммѣ эти сплавы должны лежать ниже линіи fo, т. е. въ области for.

Сплавъ № 5. Кривая температуръ дала четыре точки: 485° , 401° , 247° и едва замѣтная точка 187° . Характеръ шлифа таковъ: при потравѣ HNO_3 бѣлыя тѣла едва различаются по окраскѣ, между бѣлыми тѣлами очень мало основного поля, въ которомъ замѣтна сѣтка Sn Sb+Pb (см. фиг. 9 b таб. III); при потравѣ $\text{HCl} + \text{Fe}_2 \text{Cl}_6$ бѣлыя тѣла раздѣлились рѣзко.

Судя по температурѣ и характеру шлифа, приходимъ къ заключенію, что до 485° выпадаетъ Sb, затѣмъ по линіи fo выпадаетъ Sn Sb (401°), далѣе по линіи op выпадаетъ Sn Sb+Pb (247° —здѣсь, повидимому, температура опредѣлена не точно, такъ какъ она должна быть меньше 245°) и застыло все при p или ниже.

Сплавъ № 11. Кривая температуръ дала четыре точки: 458° , 381° , 245° и 190° .

Сплавъ № 17. Кривая температуръ дала четыре точки: 430° , 369° , 249° и 181° .

Сплавъ № 23. Кривая температуръ дала четыре точки: 400° , 352° , 248° и 181° .

Характеръ шлифовъ и порядокъ застыванія тотъ же, что и № 5.

Сплавъ № 6. Кривая температуръ дала три точки: 585° , 343° и 241° . Характеръ шлифа слѣдующій: при потравѣ HNO_3 бѣлыя тѣла слабо раздѣлены, поля мало, есть сѣтка $\text{Sn Sb} + \text{Pb}$. Порядокъ остыванія таковъ: сначала Sb (585°), затѣмъ Sn Sb (343°) на линіи fo и $\text{Sn Sb} + \text{Pb}$ на линіи op (343°) (см. фиг. 9-с таб. III).

Сплавъ № 12. Кривая температуръ дала три точки: 560° , 310° и 241° . Порядокъ остыванія тотъ же, что и № 6. Оба лежатъ въ области Aof.

Сплавъ № 18. Кривая температуръ дала двѣ точки: 539° и 248° . Шлифъ представляетъ бѣлыя продолговатыя тѣла и поле покрытое сѣткой. Сопоставляя данныя шлифа съ кривой температуръ, приходимъ къ заключенію, что сначала выдѣлилось Sb (539°), затѣмъ на линіи of выдѣлилось $\text{Sb} + \text{Pb}$ и все застыло, повидимому, при O.

Сплавъ № 24. Кривая температуръ дала двѣ точки: 490° и 248° . Относительно этого сплава можно сказать то-же, что было сказано о предыдущемъ. Лежатъ оба въ области Aof.

Въ заключеніе мы можемъ сказать, что въ общемъ данныя Loebe и Campell'я относительно тройного сплава Sn , Sb и Pb подтвердились. Если считать, что точки f и d на діаграммѣ нанесены точно, то послѣднія изслѣдованія дали отступленія на линіи fp и pd, но такъ какъ не имѣется точныхъ цифровыхъ данныхъ относительно положенія этихъ линій, то и говорить объ отступленіяхъ не приходится.

Испытанія на твердость полученныхъ сплавовъ производились въ механической лабораторіи и—та по способу Бринелля (шарикомъ), для чего необходимо было придать образцамъ двѣ параллельныхъ плоскости. Когда стали придавать образцамъ необходимую форму, то замѣтили непрактичность выбранной нами формы (въ видѣ конуса). Для того, чтобы получить двѣ параллельныя плоскости пришлось обрабатывать образцы на токарномъ и строгальномъ (шенингъ) станкахъ. Благодаря большому содержанію сурьмы нѣкоторые образцы на строгальномъ

станки крошились, а образец № 5 не могли совсем обстрогать. Давление на шарик брали равным 500 кил. Результаты испытанія слѣдующіе:

Таблица V-в.

	$\frac{\text{Sb}}{\text{Sn}} = \frac{1}{17}$	$\frac{\text{Sb}}{\text{Sn}} = \frac{1}{5}$	$\frac{\text{Sb}}{\text{Sn}} = \frac{1}{2}$	$\frac{\text{Sb}}{\text{Sn}} = 1$	$\frac{\text{Sb}}{\text{Sn}} = 2$	$\frac{\text{Sb}}{\text{Sn}} = 14$
Pb 100%	№ 1. q = 18,2	№ 2. q = 21	№ 3. q = 35	№ 4. q = 38	№ 5. q =	№ 6. q = 60
Pb 200%	№ 7. q = 15,9	№ 8. q = 20,1	№ 9. q = 29,5	№ 10. q = 44	№ 11. q = 74	№ 12. q = 54,5
Pb 300%	№ 13. q = 15,19	№ 14. q = 17,5	№ 15. q = 27,8	№ 16. q = 53	№ 17. q = 66	№ 18. q = 46
Pb 400%	№ 19. q = 14,6	№ 20. q = 12,6	№ 21. q = 22,8	№ 22. q = 42	№ 23. q = 53	№ 24. q = 34

Таблица расположена такъ, что во всѣхъ сплавахъ каждого горизонтальнаго ряда % содержанія свинца одинъ и тотъ-же, а отношеніе $\frac{\text{Sb}}{\text{Sn}}$ постепенно увеличивается, въ вертикальныхъ же рядахъ при одномъ и томъ же отношеніи $\frac{\text{Sb}}{\text{Sn}}$ % содержаніе свинца увеличивается.

Уже при бѣгломъ взглядѣ на таблицу V-в можно вывести заключеніе, что при одномъ и томъ же процентномъ содержаніи свинца твердость увеличивается съ увеличеніемъ отношенія $\frac{\text{Sb}}{\text{Sn}}$, т. е. съ увеличеніемъ содержанія сурьмы. Однако эта зависимость имѣетъ извѣстный предѣлъ, такъ въ VI группѣ, несмотря на то, что содержаніе сурьмы больше, чѣмъ въ V группѣ, твердость получилась меньше.

Если теперь обратимся къ вертикальнымъ столбцамъ, то увидимъ, что при одномъ и томъ-же отношеніи $\frac{\text{Sb}}{\text{Sn}}$ съ увеличеніемъ процентнаго содержанія свинца твердость постепенно падаетъ. Исключеніе составляетъ IV группа, гдѣ эта зависимость нарушается.

Продолженіе описанія произведенныхъ работъ въ металлографической лабораторіи института по изслѣдованію бабитовъ начнемъ описаніемъ изслѣдованія цинковыхъ бабитовъ, имѣющихъ вообще весьма слабое распространеніе на практикѣ, а затѣмъ перейдемъ къ описа-

нію изслѣдованій оловянныхъ, свинцовыхъ и свинцово-оловянныхъ бабитовъ, имѣющихъ вообще весьма значительное распространеніе на практикѣ.

Большинство цинковыхъ бабитовъ, носящихъ названіе антифрикціонныхъ, вслѣдствіе незначительнаго ихъ коэффициента тренія, имѣетъ такой химическій составъ:

Zn	Sn	Cu	Sb	Pb
85	—	5	10	—
80	14,5	5,5	—	—
69	19	4	3	5

Обращая вниманіе на то, что въ рекомендуемыхъ составахъ сплавовъ цинка отношеніе $\frac{\text{Sn}}{\text{Zn}} = \frac{14,5}{80}$ и $\frac{19}{69}$, для изслѣдованія бы-

ли взяты сначала два чистыхъ сплава изъ цинка и олова, у которыхъ было сохранено указанное выше отношеніе олова къ цинку и кромѣ этого были взяты еще два сплава цинка съ 5 и 10% Sn. Далѣе изслѣдованія велись съ цѣлью опредѣлить вліяніе сурьмы и мѣди на сплавъ цинка и олова, при чемъ при изготовленіи пробныхъ сплавовъ

Zn Sn и Zn Sn Cu вѣсовое отношеніе $\frac{\text{Sn}}{\text{Zn}}$ было удержано постояннымъ. Такъ какъ максимумъ содержанія сурьмы въ приведенныхъ выше сплавахъ цинка былъ 10%, то первый сплавъ для изслѣдованія былъ составленъ такимъ образомъ, что 10% у него было Sb, а 90% было раздѣлено между оловомъ и цинкомъ, соответственно ихъ вѣсовому соотношенію $\frac{14,5}{80}$, и такимъ образомъ былъ полученъ сплавъ

слѣдующаго процентнаго содержанія: Zn = 76,2%, Sn = 13,8% и Sb = 10%. При дальнѣйшемъ составленіи бабитовъ изъ цинка и олова въ послѣднемъ сохранялось отношеніе $\frac{\text{Sn}}{\text{Zn}}$, но содержаніе сурьмы было послѣдовательно 8%, 5,5% и 3%. Слѣдовательно пробные сплавы изъ цинка, олова и сурьмы, взятые для испытаній, были таковы:

Zn	Sn	Sb
76,2	13,8	10
77,9	14,1	8
80	14,5	5,5
82,1	14,9	3

Сплавъ Zn Sn Cu былъ изготовленъ замѣщеніемъ въ послѣдней группѣ сплавовъ сурьмы мѣдью, но наибольшій процентъ содержанія

мѣди былъ взятъ 5,5. Такимъ образомъ послѣдняя группа взятыхъ сплавовъ изъ Zn, Sn и Cu имѣла такой составъ:

Zn	Sn	Cu
80	14,5	5,5
82,1	14,9	3

Исслѣдованіе взятыхъ бабитовъ свелось къ опредѣленію измѣненія положенія критическихъ точекъ, твердости по способу Бринеля, при чемъ для вдавливанія брались шарики діаметромъ $10^m/m$ при нагрузкѣ въ 500 klgr. и, наконецъ, всѣ взятые бабиты были изслѣдованы металлографически.

Результаты полученныхъ наблюденій представлены въ нижеслѣдующей таблицѣ VI.

Таблица VI.

Составъ бабита.				Твердость по Бринелю.	Фотографія шлифъ при увеличеніи 140 и травкѣ 1% растворомъ HNO_3 въ спиртѣ.
Zn.	Sn.	Sb.	Cu.		
84,65	15,35	—	—	34,5	—
79,4	21,6	—	—	30	Фиг. 10, таб. III.
90	10	—	—	40	" 11, " III.
95	5	—	—	43	—
76,2	13,8	10	—	50	" 12, " III.
77,9	14,1	8	—	48	" 13, " IV.
80	14,5	5,5	—	43	" 14, "
82,1	14,9	3	—	38	" 15, "
80	14,5	—	5,5	52	—
82,1	14,9	—	3	51	" 16, " IV.

Такимъ образомъ изъ послѣдней таблицы видно, что твердость сплавовъ цинка и олова постепенно падаетъ съ увеличеніемъ содержанія олова; структура сплавовъ цинка съ указаннымъ содержаніемъ олова постепенно съ увеличеніемъ содержанія послѣдняго переходитъ отъ структуры цинка съ раствореннымъ въ немъ оловомъ черезъ эвтектику этихъ двухъ сплавовъ близкую въсовому отношенію 90 : 10 (фиг. 11), и дальше на поляхъ послѣдней эвтектики число отдѣльно выдѣлившихся частицъ олова возрастаетъ съ увеличеніемъ содержанія послѣдняго (фиг. 10).

Для слѣдующей группы тройныхъ сплавовъ Zn Sn Sb замѣтно увеличеніе твердости съ постепеннымъ возрастаніемъ сурьмы, а струк-

тура этихъ сплавовъ представляетъ изъ себя эвтектику изъ двухъ металловъ Zn и Sn, въ полѣ которой находятся зачатки кристалловъ, надо полагать, соединений олова и сурьмы¹⁶⁾, при чемъ число выдѣлившихся послѣднихъ кристалловъ растетъ съ увеличеніемъ содержанія сурьмы въ сплавахъ (фиг. 14, 13, 12 и 15).

Наконецъ въ сплавахъ послѣдней группы Zn Sn Cu замѣтно слабое увеличеніе твердости съ увеличеніемъ содержанія олова, что необходимо сбѣяснить вліяніемъ образующихся соединений олова съ мѣдью, которыя, какъ ранѣе было указано, обладаютъ значительною твердостью. Структура послѣднихъ сплавовъ представляетъ собою общую эвтектическую массу изъ олова и цинка, на полѣ которой находятся разбросанныя частицы олова и соединений олова съ мѣдью (см. фиг. 16).

Всѣ перечисленные выше цинковые сплавы для испытаній брались въ количествѣ 200 gr.; готовились въ криптолевой печи и отлитыя чушки готовились въ шамотовыхъ формахъ при комнатномъ охлажденіи. Выгораніе цинка при плавленіи уменьшалось поверхностнымъ слоемъ изъ золы и магnezіи. Опредѣленіе критическихъ точекъ для всѣхъ вышеуказанныхъ сплавовъ производилось при помощи автоматически регистрирующаго аппарата Н. С. Курнакова, при чемъ было обнаружено, что температура плавленія указанныхъ сплавовъ Zn Sn Sb и Zn Sn Cu возрастаетъ съ увеличеніемъ содержанія сурьмы и мѣди при постоянномъ соотношеніи олова къ цинку; особенно замѣтно увеличивается температура плавленія сплавовъ Zn Sn Cu съ увеличеніемъ содержанія мѣди. Примѣсъ свинца въ тройныхъ сплавахъ Zn Sn Cu и Zn Sn Sb замѣтно уменьшаетъ твердость сплавовъ, но опытовъ въ указанномъ направленіи было сдѣлано мало, ибо указанные сплавы на практикѣ встрѣчаются очень рѣдко; вообще надо замѣтить, что сплавы цинка въ качествѣ бабитовъ имѣютъ незначительное распространеніе на практикѣ, гдѣ большее распространеніе получили оловянные и за послѣднее время оловянно-свинцовые бабиты.

Изученіе послѣдней группы сплавовъ было начато съ группы соединений олова съ сурьмою, для чего изготовлялись сплавы съ послѣдовательнымъ увеличеніемъ содержанія сурьмы въ оловѣ, а именно съ 2,5%, 5%, 7,5%, 10, 15, 20 и дальше черезъ пять до 75% сурьмы въ оловѣ. Сплавы готовились въ количествѣ 40—50 gr. въ тиглѣ криптолевой печи и послѣ плавленія быстро охлаждались въ мегаллической изложницѣ. Полученные результаты надѣ опредѣленіемъ по-

¹⁶⁾ Выдѣленія соединений цинка съ сурьмою, по всей вѣроятности, отсутствуютъ вслѣдствіе того, что въ сплавахъ имѣется перевѣсъ содержанія олова надъ содержаніемъ сурьмы.

ложенія критическихъ точекъ и общая картина металлографическихъ наблюденій очень мало расходятся съ общей картиной затвердѣванія двухъ сплавовъ изъ олова и сурьмы, представленной ранѣе на фиг. 2. Далѣе при наблюденіяхъ было замѣчено, что съ увеличеніемъ содержанія сурьмы въ оловѣ и съ увеличеніемъ періода охлажденія растетъ величина кристалловъ соединеній изъ олова и сурьмы; кромѣ этого наблюдалось, что выдѣлившіеся кристаллы одного и того же сплава замѣтно растутъ при продолжительномъ нагрѣваніи при температурѣ отъ 248 до 316° С. Наиболѣе отчетливо выраженные кристаллы наблюдались въ сплавахъ олова при 50% сурьмы, вслѣдствіе чего слѣдуетъ предположить, что эти выдѣлившіеся соединенія олова съ сурьмой близко подходятъ къ соединенію по формулѣ Sn Sb . Кромѣ общихъ изслѣдованій по выясненію вопроса о строеніи сплавовъ олова и сурьмы были изслѣдованы послѣднія на твердость по способу Бринелля при помощи шарика съ діаметромъ 10^м/м при нагрузкѣ 500 klgr. Шарикъ вдавливался въ полированную поверхность сплава и затѣмъ по величинѣ деформации опредѣлялась твердость послѣдняго. Изъ опытовъ обнаружилось, что твердость сплавовъ олова и сурьмы до 10% послѣдней возростаетъ довольно слабо (отъ 17 до 30), затѣмъ при отъ 10 до 20% сурьмы твердость сплавовъ олова увеличивается весьма слабо (отъ 30 до 33) и, наконецъ, послѣ 20% сурьмы въ сплавахъ олова твердость послѣднихъ растетъ почти по прямой, прямо пропорціонально содержанію сурьмы въ оловѣ, достигая при 45% сурьмы 70. При 50% сурьмы въ оловѣ сплавъ становится совершенно хрупкимъ и не выдерживаетъ пробы шарикомъ. Строеніе сплавовъ олова съ содержаніемъ сурьмы до 10% мелко зернистое, но при дальнѣйшемъ увеличеніи сурьмы въ сплавахъ олова величина выдѣлившихся кристалловъ растетъ.

При дальнѣйшихъ изслѣдованіяхъ бабитовъ въ металлографической лабораторіи Томскаго Технологическаго Института преслѣдовалась цѣль по возможности связать эти изслѣдованія съ практическимъ примѣненіемъ бабитовъ. Для послѣдней цѣли въ качествѣ исходнаго матеріала были взяты бабиты, употребляемые на Сибирской желѣзной дорогѣ. Составъ этихъ бабитовъ былъ такъвъ:

- 1) Бабитъ № 1 для паровозовъ 60% Sn, 21% Pb, 16% Sb, и 3% Cu.
- 2) Бабитъ № 2 для паровозовъ и пассажирскихъ вагоновъ: 47% Sn, 38% Pb, 12% Sb и 3% Cu.
- 3) Бабитъ № 3 для товарныхъ вагоновъ: 23% Sn, 50% Pb, 24% Sb и 3% Cu.

Сумма всѣхъ указанныхъ металловъ, согласно техническихъ условій Сибирской желѣзной дороги, должна составлять не менѣе 99¹/₂ %.

Для изслѣдованій былъ изготовленъ рядъ сплавовъ, у которыхъ сохранялось отношеніе $\text{Sb} : \text{Sn}$ и $\text{Cu} : \text{Sb} : \text{Sn}$, имѣющее мѣсто въ ба. битахъ Сибирской желѣзной дороги, не измѣнялось содержаніе свинца отъ трехъ черезъ каждые три процента до 38%. Кромѣ этого были изготовлены оловянные сплавы, изъ которыхъ при постоянномъ соотношеніи примѣнялось содержаніе мѣди отъ 1 до 3%. Такимъ образомъ были составлены сплавы №№ 1—4 и 19—21 при постоянномъ отношеніи $\text{Sb} : \text{Sn}$, и въ которыхъ только измѣнялось % содержаніе мѣди отъ 1 до 3%, затѣмъ сплавы №№ 5—18, въ которыхъ при постоянномъ отношеніи $\text{Cu} : \text{Sb} : \text{Sn}$ прибавлялся свинецъ черезъ каждые 3%. Для большой наглядности ниже приведена таблица № VII составленныхъ сплавовъ отъ № 1 до № 21.

Таблица № VII.

№№ фотографій при увеличеніи 100:1 и протравѣ 1/2% растворомъ HNO_3 въ водѣ.	Cu	Sb	Sn	Pb	№ сплава.
Фиг. 17, таб. IV	1,0	20,8	78,2	—	1
" 18	2,0	20,6	76,6	—	2
" 19, таб. V	3,0	20,4	76,6	—	3
" 20 "	3,8	20,2	76,0	—	4
" 21 "	3,68	19,64	73,68	3,0	5
" 22 "	3,57	19,03	71,40	6,0	6
" 23 "	3,45	18,43	69,12	9,0	7
" 24 "	3,34	17,82	66,84	12,0	8
" 25, таб. VI	3,23	17,21	64,56	15,0	9
" 26 "	3,11	16,61	62,28	18,0	10
" 27 "	3,0	16,0	60,0	21,0	11
" 28 "	2,89	15,39	57,72	24,0	12
" 29 "	2,77	14,78	55,45	27,0	13
" 30 "	2,66	14,18	53,16	30,0	14
" 31, таб. VII	2,55	13,58	50,87	33,0	15
" 32 "	2,44	12,98	48,58	36,0	16
" 33 "	2,35	12,56	47,09	38,0	17
" 34 "	3,0	12,0	47,0	38,0	18
" 35 "	1,0	20,13	78,87	—	19
" 36 "	2,0	19,93	78,07	—	20
" 37, таб. VIII	3,0	19,73	77,27	—	21

Послѣ всѣхъ этихъ приготовленій были произведены наблюденія надъ температурами плавленія этихъ сплавовъ и ихъ микроструктурой, а затѣмъ была опредѣлена ихъ твердость съ помощью прибора Бринеля.

Опредѣленіе температуръ плавленія производилось наблюденіемъ охлажденія расплавленныхъ сплавовъ. Для этого пользовались самопишущимъ приборомъ проф. Курнакова, въ которомъ показанія пирометра автоматически вычерчиваются на фотографической бумагѣ, движущейся съ равномерной скоростью. Такимъ образомъ для каждого сплава получали кривую охлажденія. Самый опытъ производился слѣдующимъ образомъ: сплавъ въ количествѣ около 100 граммовъ помѣщался въ тигель изъ огнеупорной глины, вставленный въ криптолеву печь, и нагревался до полного расплавленія металла при помощи электрическаго тока. Когда весь металлъ превращался въ жидкость, въ нее погружался конецъ пирометра Лешателье. Такъ какъ термopара подвергается дѣйствию расплавленныхъ металловъ въ особенности сурьмы, которая по указаніямъ Байкова¹⁷⁾ образуетъ съ платиной опредѣленное химическое соединеніе $PtSb_2$, при чемъ послѣднее соединеніе получается при прямомъ соприкосновеніи платины съ расплавленной сурьмой, и реакція совершается съ громаднымъ выдѣленіемъ теплоты, то при работахъ съ сурьмой необходимо обратить особенное вниманіе на то, чтобы конецъ пирометра былъ совершенно предохраненъ отъ соприкосновенія съ металломъ и его парами. Обыкновенно для этого термopару помѣщаютъ въ кварцевую трубку и послѣднюю погружаютъ въ жидкій сплавъ. Этимъ достигается полная изоляція между пирометромъ и металломъ, при этомъ пирометръ сохраняетъ свою чувствительность и въ то же время предохраненъ отъ дѣйствія расплавленныхъ металловъ. Контакты концовъ термopары съ проводами помѣщались въ пробирки, погруженные въ смѣсь тающего льда. Отъ термopары шли провода къ пирометру и аппарату проф. Курнакова, записывающему кривыя охлажденія.

Послѣ того, какъ всѣ составные элементы испытываемаго сплава переходили въ жидкое состояніе, криптолевая печь выключалась и пускался въ ходъ приводимый во вращеніе отъ часового механизма барабанъ, на которомъ была надѣта свѣточувствительная бумага. Высшая температура, до которой нагревался расплавляемый металлъ, колебалась между $750-790^{\circ}C$. Показанія пирометра записывались черезъ каждые 100° выключеніемъ лампочки въ фонарикѣ („Зайчика“) на 10—15 сек. Охлажденіе расплавленного металла продолжалось въ среднемъ около $1\frac{1}{2}$ часовъ. Опытъ заканчивался тогда, когда пирометръ указывалъ, что температура упала до $180-150^{\circ}C$.

¹⁷⁾ Журналъ Русскаго Физ.-Химич. О-ва, Т. 32, № 4.

Сплавы приготовлялись передъ опытомъ такимъ образомъ, что сначала въ тиглѣ изъ огнеупорной глины расплавлялась мѣдь съ небольшимъ количествомъ олова, чтобы избѣжать окисленія, сверху насыпался въ небольшомъ количествѣ слой толченаго древеснаго угля послѣ этого присаживалось олово небольшими порціями, затѣмъ свинецъ и наконецъ сурьма, при чемъ опять расплавленный металлъ во избѣжаніе окисленія засыпался слоемъ древеснаго угля. Сплавы, составленные для опытовъ, были съ содержаніемъ не болѣе 3% мѣди. Результаты полученные при помощи кривыхъ охлажденія представлены въ таблицѣ VIII. Въ этой таблицѣ для каждого сплава даны всѣ остановки пирометра, — критическія точки.

Таблица VIII.

№ сплава.	О С Т А Н О В К И.				Примѣчанія.
	1	2	3	4	
1	—	310	236	—	
2	—	309	236	—	
3	355	311	240	—	
4	349	313	229	187	
5	352	314	233	190	
6	360	305	224	190	
7	364	307	220	193	
8	362	305	224	197	
9	361	295	—	183	
10	347	305	—	186	
11	340	294	—	190	
12	358	270	—	180	
13	371	295	—	185	
14	373	290	—	193	
15	365	305	—	183	
16	375	—	241	—	Остановки № 2 въ сплавѣ № 16 нѣтъ вслѣдствіе долгаго перерыва свѣтового луча.
17	370	298	—	193	
18	377	293	228	—	
19	—	317	241	—	
20	—	311	243	—	
21	326	315	235	—	

Если отъ положенія критическихъ точекъ сплавовъ непосредственно перейти къ разсмотрѣнiю той картины внутреннихъ измѣненiй, которая наблюдается въ послѣднихъ сплавахъ въ связи съ критическими точками, то необходимо замѣтить слѣдующее: для сплавовъ №№ 1—3 положенiе 2-й критической точки соотвѣтствуетъ моменту выдѣленiя соединенiя олова съ сурьюю, которое на поляхъ шлифовъ замѣтно въ видѣ отдѣльныхъ кристалловъ (см. фиг. 17, 18, таб. IV, и 19, таб. V), а третья критическая точка соотвѣтствуетъ затвердѣванiю связывающей оловянной массы, содержащей до 10⁰/₀ Sb. Далѣе появленiе высшей 1-й точки у сплава № 3 слѣдуетъ объяснить выдѣленiемъ изъ сплава соединенiй мѣди съ оловомъ. При маломъ содержанiи мѣди эта точка не была замѣтна, но при 3⁰/₀ мѣди она обнаружилась. На поляхъ шлифовъ указанныхъ сплавовъ выдѣленiя соединенiй мѣди съ оловомъ постепенно растутъ и на шлифахъ сплава № 3 (фиг. 19) эти выдѣленiя замѣтно прорѣзываютъ кристаллы соединенiй олова и сурьюи.

Для всѣхъ сплавовъ, начиная № 5 по № 18, имѣется четвертая остановка пирометра при температурѣ весьма близкой къ 190° С, что необходимо объяснить образованiемъ во всѣхъ указанныхъ сплавахъ эвтектической мягкой массы изъ 62⁰/₀ олова и 38⁰/₀ свинца, съ температурой плавленiя близкой къ 182° С.¹⁸⁾ Вторая половина мягкой цементирующей массы бабитовъ, судя по положенiю точки № 3 остановки пирометра, для всѣхъ бабитовъ содержащихъ олово и свинецъ, представляетъ изъ себя однородную массу изъ олова, содержащаго до 10⁰/₀ сурьюи. Температура плавленiя такой массы, какъ было указано ранѣе (см. фиг. 2), весьма близка къ 243° С.

Итакъ изъ предыдущаго необходимо заключить, что мягкая цементирующая часть разсматриваемыхъ бабитовъ состоитъ въ сплавахъ олова, не содержащихъ свинца, изъ оловянной массы, содержащей въ себѣ до 10⁰/₀ сурьюи въ растворѣ; въ бабитахъ, имѣющихъ въ составѣ олово и свинецъ, мягкая остывшая часть—состоитъ изъ двойной смѣси,—изъ частицъ олова съ сурьюю предыдущаго состава и изъ частицъ эвтектической массы олова и свинца.

Остановка въ паденiи температуры при охлажденiи сплавовъ послѣ плавленiя, условно обозначенная нами въ таблицѣ VIII „2“, надо предполагать, соотвѣтствуетъ выдѣленiю изъ расплавленнаго сплава кристаллическихъ соединенiй олова съ сурьюю или свинца съ сурьюю. Возможно предположенiе, что въ сплавахъ содержащихъ значительное количество олова и свинца обѣ кристаллическiя формы соединенiй послѣднихъ элементовъ съ сурьюю выдѣляются одновременно.

¹⁸⁾ Guertler. Metallographie. S. 727.

Ясно выраженные кристаллы соединений олова и свинца съ сурью въ видѣ неправильныхъ ромбовъ отчетливо замѣтны почти на всѣхъ шлифахъ сплавовъ (см. фиг. 17, таб. IV—по 37, таб. VIII).

Появленіе наивысшей точки остановки въ паденіи температуры термометра при охлажденіи имѣется во всѣхъ тѣхъ случаяхъ, когда содержаніе мѣди въ сплавахъ больше 20%, и отсюда слѣдуетъ, что условно обозначенная точка „I“ соотвѣтствуетъ въ указанныхъ сплавахъ выдѣленію соединений олова съ мѣдью, при чемъ эти соединения на поляхъ шлифовъ имѣютъ строеніе слабо развитыхъ елочекъ или длинныхъ палочекъ, прорѣзывающихъ кристаллы сурьмяныхъ соединений олова и свинца.

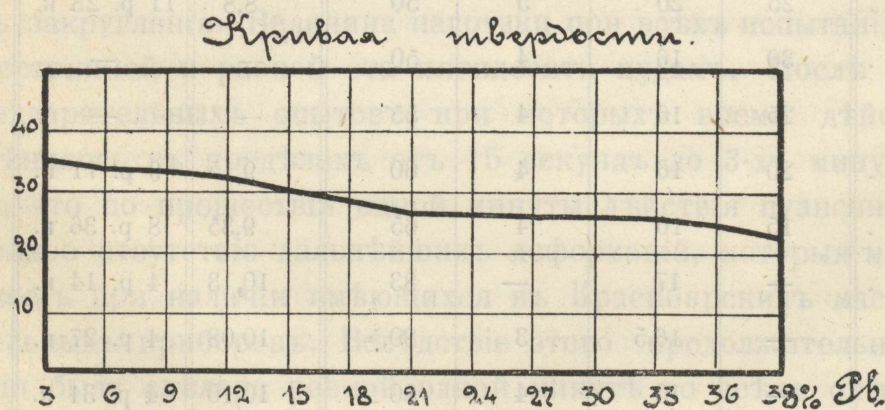
Далѣе всѣ вышеуказанные сплавы были испытаны на твердость по способу Бринеля, при чемъ діаметръ взятаго шарика былъ 10^{mm} и нагрузка измѣнялась въ двухъ предѣлахъ,—была 200 и 500 клгр. Полученные на шлифахъ діаметры углубленій измѣрялись съ помощью микроскопа и по таблицѣ (шкалѣ) опредѣлялась твердость сплавовъ. Ниже приведена таблица IX такихъ измѣреній, при чемъ изъ двухъ опытовъ въ 200 и 500 клгр. для твердости взято значеніе среднее, по которому и выстроена кривая.

Таблица IX.

№ № сплавовъ,	Нагрузка 200 клгр.		Нагрузка 500 клгр.		Среднее изъ двухъ опы- товъ.
	d	Твердость.	d	Твердость.	
1	3,3	23	4,4	31,2	27,1
2	2,6	37	4,2	34,5	35,75
3	2,7	34	4,1	36,0	35,0
4	2,6	37	4,1	36,0	36,5
5	2,65	36	4,2	34,5	35,25
6	2,7	34	4,3	32,6	33,3
7	2,75	33	4,25	33,6	33,3
8	2,8	32	4,3	32,6	32,3
9	2,9	30	4,45	30,4	30,2
10	3,0	28	4,5	29,7	28,85
11	3,15	25	4,65	27,8	26,4
12	3,1	26	4,8	25,9	26,0

№ № сплавовъ.	Нагрузка 200 клгр.		Нагрузка 500 клгр.		Среднее изъ двухъ опы- товъ.
	d	Твердость.	d	Твердость.	
13	3,1	26	4,8	25,9	25,9
14	3,2	24	4,75	26,5	25,25
15	3,0	28	5,1	22,8	25,4
16	3,3	23	4,9	24,3	24,0
17	3,15	25	5,3	21,0	23,0
18	3,2	24	5,2	21,8	22,9
19	3,0	28	4,75	26,5	27,25
20	3,0	28	4,2	34,5	31,25
21	2,8	32	4,3	32,6	32,3

Если эти данныя изобразить графически, откладывая по оси X-овъ составъ сплавовъ, т. е. въ нашемъ случаѣ процентное содержаніе свинца въ сплавѣ, а по оси Y-вѣ твердость, то получимъ кривую (см. фиг. 38). Какъ видно изъ этихъ данныхъ твердость до 21⁰/₀ Pb убываетъ, а съ 21 до 33⁰/₀ остается почти безъ измѣненія, послѣ этого наступаетъ опять медленное убываніе.



Фиг. 38.

Дальнѣйшія испытанія бабитовъ изъ класса свинцово-оловянныхъ были соединены съ практическими испытаніями этихъ бабитовъ въ различныхъ условіяхъ службы на Сибирской жел. дорогѣ. Лѣтомъ 1912 г. въ Красноярскихъ мастерскихъ Сибирской жел. дороги по распоряженію Начальника Тяги означенной дороги И. П. Арбузова были организованы опытные испытанія бабитовъ различнаго состава. Въ составъ комиссіи по испытанію бабитовъ, по моему предложенію, Сибирской жел. дорогой были приглашены два студента Томскаго Тех-

нологического Института, М. Михайловъ и А. Бѣляевъ. Два послѣднихъ лица въ концѣ указанныхъ опытныхъ занятій представили мнѣ подробный отчетъ о постановкѣ и результатахъ опытныхъ изслѣдованій бабитовъ въ Красноярскихъ мастерскихъ Сибирской жел. дор., а затѣмъ въ послѣдствіи подъ моимъ руководствомъ обработали полученные ими образцы бабитовъ въ металлографической лабораторіи Института, что и составило въ общемъ ихъ дипломную работу. Дальнѣйшее описаніе постановки опытовъ по изслѣдованію бабитовъ въ Красноярскихъ мастерскихъ Сибирской жел. дороги я буду продолжать согласно представленнаго мнѣ отчета двумя вышепоименованными студентами Института, при чемъ долженъ добавить, что означенный отчетъ почти дословно согласуется съ опубликованнымъ докладомъ Начальника Красноярскихъ мастерскихъ по тому-же вопросу ¹⁹⁾.

Для опытныхъ изслѣдованій были взяты бабиты такого химического состава (см. таблицу X).

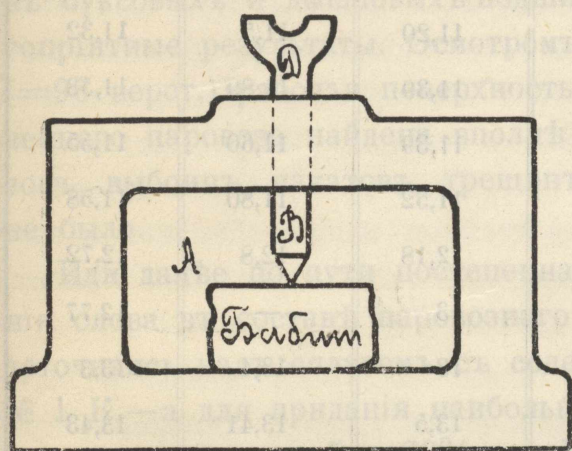
Таблица X.

Названіе бабита.	Составъ бабита.				Удѣль- ный вѣсъ.	Теоретиче- ская стой- мость 1 пуда.	Цѣна по объему.
	Sn	Sb	Cu	Pb			
№ 1 Д . .	25	20	5	50	8,8	11 р. 23 к.	9 р. 88 к.
№ 1 Н . .	30	16	4	50	—	—	—
№ 1 М . .	25	16	4	55	—	—	—
№ 1 К . .	20	16	4	60	9,15	9 р. 71 к.	8 р. 88 к.
№ 1 В . .	15	16	4	65	9,35	8 р. 36 к.	7 р. 82 к.
№ 3 К . .	—	17	—	83	10,13	4 р. 14 к.	4 р. 19 к.
№ 3 Д . .	—	16,5	3	80,5	10,08	4 р. 27 к.	4 р. 30 к.
№ 3 Е . .	—	16	4	80	10,10	4 р. 31 к.	4 р. 35 к.
№ 1 Т . .	60	16	3	21	7,75	20 р. 46 к.	15 р. 85 к.
№ 2 Т . .	47	12	3	38	8,32	16 р. 02 к.	13 р. 32 к.
№ 3 Т . .	23	24	3	50	8,66	10 р. 73 к.	9 р. 29 к.

Что же касается вагоннаго бабита, то во время опытовъ старались:
1) опредѣлить пригодность къ дѣйствительной службѣ № 3 К и 2)

¹⁹⁾ Докладъ Начальника Красноярскихъ мастерскихъ инженера М. С. Городецкого по изслѣдованію бабитовъ, произведенному Красноярскими мастерскими. Томскъ. 1912 г.

вліяніе введенія въ этотъ же составъ того или другого количества Си. Первымъ, такъ сказать, пробнымъ камнемъ для испытаній бабитовъ на Сибирской ж. дор. являлось испытаніе на твердость. Не имѣя возможности пользоваться въ Красноярскихъ мастерскихъ для опредѣленія твердости способомъ Бринеля или какимъ либо другимъ изъ общепринятыхъ и получать результаты по какой либо опредѣленной шкалѣ, примѣнили для опредѣленія сравнительной твердости вышеприведенныхъ бабитовъ слѣдующее приспособленіе (см. фиг. 39). Испытуемый кусокъ бабита, имѣющій двѣ гладко простроганныя поверхности, помѣщается въ вырѣзку А сконструированнаго для этого прибора.



Фиг. 39.

Твердость даннаго сорта бабита характеризуется діаметромъ углубленія, получающагося путемъ вдавливанія стального, коническаго (съ угломъ конусности при вершинѣ въ 60°), отшлифованнаго пуансона В. Самая нагрузка достигалась при помощи простого рычажного прессы для испытанія рессоръ, подъ нажимной валикъ котораго помѣщалась головка пуансона Д, имѣющая углубленіе съ соотвѣтственнымъ

радіусомъ закругленія. Величина нагрузки при всѣхъ испытаніяхъ оставалась постоянной и равной ста пятидесяти пудамъ. Послѣ нѣсколькихъ предварительныхъ опытовъ, при которыхъ время дѣйствія нагрузки мѣнялось въ предѣлахъ отъ 15 секундъ до 3-хъ минутъ, было замѣчено, что по прошествіи одной минуты дѣйствія пуансона наступаетъ полное отсутствіе дальнѣйшихъ деформаций, которыя можно было бы учесть при наличіи имѣющихся въ Красноярскихъ мастерскихъ измѣрительныхъ приборовъ. Вслѣдствіе этого продолжительность надавливанія была сдѣлана равной одной минутѣ во всѣхъ опытахъ при испытаніи твердости бабита. Результаты и среднія величины наблюдений приведены въ нижеслѣдующей таблицѣ XI*).

„Извѣстно, что для уменьшенія тренія и для избѣжанія заѣданій нужно, чтобы соприкасающіяся трущіеся поверхности приготавливались изъ возможно твердыхъ матеріаловъ. Казалось бы выборъ былъ очень простъ, но говоритъ далѣе Валуевъ, одной твердости мало, такъ какъ при малѣйшей неровности соприкасающихся трущихся поверхностей, отъ плохой ли пригонки или отъ случайныхъ причинъ, существующее между ними давленіе можетъ сосредоточиться въ нѣсколькихъ точкахъ, и тогда можетъ произойти заѣданіе поверхностей.

*) См. таблицу на 52 стр.

Таблица XI.

Наименованіе.	d ₁	d ₂	d ₃	d ₄	d среднее.
Лейкина № 3 . . .	9,8	9,8	9,8	10	9,85
№ 1 Д . . .	10,49	10,49	10,47	10,5	10,49
№ 3 Т. Ус. . .	10,6	10,4	10,5	11,6	10,77
№ 1 К . . .	11,09	10,92	11,12	11,22	11,09
Лейкина № 1 . . .	10,9	10,91	11,49	11,49	11,192
№ 1 В . . .	11,39	11,20	11,20	11,5	11,32
№ 1 Т. У. . .	11,42	11,42	11,39	11,89	11,53
№ 1 Н . . .	11,60	11,60	11,39	11,60	11,55
№ 1 М . . .	11,60	11,40	11,52	11,80	11,58
Лейкина № 2 . . .	12,40	13,01	12,18	12,8	12,72
№ 2 Т. У. . .	12,5	12,8	13	—	12,77
№ 3 Е . . .	13,3	13,2	13	13,4	13,3
№ 3 Д . . .	13,4	13,4	13,5	13,41	13,43
№ 3 К . . .	14,2	14	13,8	13,67	13,92

Чтобы предупредить это явление нужно, чтобы одна из трущихся поверхностей принадлежала пластичному вязкому материалу, способному воспринимать въ известныхъ предѣлахъ измѣненія своей формы безъ разрушенія. Замѣчено, что твердость тѣла, часто сопровождается хрупкостью, т. е. малой способностью сопротивляться ударамъ, толчкамъ, иначе говоря, оно какъ бы обладаетъ малой прочностью. Такимъ образомъ сплавы, пригодные для заливки подшипниковъ, должны обладать достаточной твердостью, соединенной съ вязкостью и прочностью. Поставленные опыты по опредѣленію прочности и вязкости рассматриваемыхъ сортовъ бабита, къ сожалѣнію, не дали заслуживающихъ довѣрія результатовъ въ виду несовершенства имѣвшихся въ Красноярскихъ мастерскихъ приборовъ и машинъ. Эти данныя, полученныя надъ раздавливаніемъ брусковъ поперечнаго сѣченія въ 1 см.² боковой поверхностью цилиндрика съ діаметромъ 10^м/_м, были слишкомъ разнообразны даже для одного и того же сорта бабита, завися прежде всего отъ слишкомъ примитивнаго приспособленія (рычажный прессъ), а затѣмъ и отъ чисто случайныхъ, трудно устранимыхъ причинъ: какъ-то малѣйшее неосторожное приложеніе груза, сотрясеніе пола кузницы подъ ударами парового молота и т. д.

Что касается постановки пробных бабитовъ на подшипники паровозовъ, тендеровъ и вагоновъ, то она должна была являться, собственно говоря, послѣднимъ и рѣшающимъ испытаніемъ пробнаго бабита для опредѣленія пригодности его примѣненія на Сибирской жел. дорогѣ.

Послѣднее испытаніе является почти единственнымъ хорошимъ испытаніемъ, если не считать испытанія твердости. Первымъ подвергся испытанію бабитъ № 1 Д.

По своимъ физическимъ свойствамъ (подробная характеристика помѣщена ниже) онъ оказался немного хрупковатымъ, хотя испытанія въ буксовыхъ и дышловыхъ подшипникахъ паровоза № 1308 дали благоприятные результаты. Осмотромъ послѣ двухъ пробныхъ поѣздокъ— (=96 верст.) рабочая поверхность дышловаго подшипника вышеозначеннаго паровоза найдена вполне исправной. Порчи смазочныхъ канавокъ, выбоинъ, накатовъ, трещинъ, царапинъ шейки и т. д. замѣчено не было.

Идя далѣе по пути постепеннаго пониженія процентнаго содержанія олова въ составѣ паровознаго бабита, испытанія бабитовъ сосредоточились надъ сплавомъ съ содержаніемъ олова въ 20⁰/₀,—бабитъ № 1 К,—а для приданія наибольшей вязкости содержаніе Cu и Sb было понижено съ 5 и 20⁰/₀ на 4 и 16⁰/₀. Необходимо отмѣтить, что эти величины процентнаго содержанія Cu и Sb для облегченія наблюденій въ дальнѣйшемъ во всѣхъ составахъ съ тѣмъ или инымъ количествомъ олова приняты постоянными. Въ виду того, что въ Красноярскихъ главныхъ мастерскихъ производился почти исключительно большой ремонтъ паровозовъ и вагоновъ, руководители опытовъ находились въ крайне затруднительномъ положеніи въ смыслѣ возможной продуктивности и увеличенія количества опытовъ по выработкѣ бабитажелаемаго состава. Вслѣдствіе чего общее количество опытовъ надъ паровозными бабитами, произведенныхъ въ Красноярскихъ главныхъ мастерскихъ въ теченіе лѣта 1912 г., слишкомъ недостаточно, чтобы вывести какое либо окончательное заключеніе о преимуществахъ того или иного сорта изъ вышеуказанныхъ бабитовъ. Необходимость скорѣйшаго рѣшенія даннаго вопроса и ознакомленія съ постановкой изслѣдованій свинцово сурьмяныхъ бабитовъ, производившихся ранѣе на всѣхъ участкахъ Сибирской жел. дор., побудили руководителей опытовъ обратиться съ просьбой о постановкѣ изслѣдованій надъ выработанными ими и предварительно опробованными въ Красноярскихъ гл. мастерскихъ сортами бабитовъ на участкѣ ст. Красноярскъ. Къ этому необходимо добавить, что паровозы, отремонтированные въ мастерскихъ, послѣ двухъ—трехъ пробныхъ поѣздокъ отправляются на

свой участокъ, а, слѣдовательно, ускользають отъ дальнѣйшаго непосредственнаго наблюденія, въ то время какъ паровозы Красноярскаго уч. сл. тяги находились все время подъ непосредственнымъ наблюдениемъ при весьма различномъ и все возрастающемъ пробѣгѣ на пробномъ бабитѣ. Въ серединѣ іюля 1912 г. разрѣшеніе было получено, что дало возможность произвести испытаніе бабита № 1 К болѣе интенсивно и при томъ въ условіяхъ обычной дѣйствительной работы его на паровозѣ. Общее количество предположенныхъ къ испытанію дышловыхъ и буксовыхъ подшипниковъ, залитыхъ бабитомъ № 1 К, равно 47. За все время работы его, какъ въ главныхъ мастерскихъ, такъ и на участкѣ никакихъ особенностей и недостатковъ замѣчено не было. Осмотромъ нѣкоторыхъ изъ подшипниковъ, произведеннымъ руководителями опытовъ въ присутствіи мастеровъ паровозосборнаго цеха, рабочія поверхности подшипниковъ найдены исправными, затеканія смазочныхъ канавокъ, накатовъ, трещинъ, царапинъ шейки и пр. не наблюдалось. Для опредѣленія степени изнашиваемости и долговѣчности желательнѣе было бы наблюденія надъ паровозами Красноярскаго уч. сл. тяги продолжить и далѣе.

Бабитъ № 1 В, съ содержаніемъ олова въ 15%, является слѣдующей ступенью въ программѣ работъ постепеннаго пониженія процентнаго содержанія олова. Къ сожалѣнію, недостатокъ времени не далъ возможности провести испытанія его полностью въ томъ объемѣ и разнообразіи, какъ это было сдѣлано по отношенію бабита № 1 К. Бабитъ № 1 В былъ поставленъ на 17 подшипникахъ.

Съ свинцово-сурьмяными бабитами дѣло обстояло нѣсколько иначе. Параллельныя испытанія свинцово-сурьмяныхъ бабитовъ 3 К, 3 Д и 3 Е дали вполне благопріятные результаты. Во всѣхъ довольно многочисленныхъ осмотрахъ подшипниковъ вагоновъ, тендеровъ и платформъ руководители опытовъ находили рабочую поверхность вполне исправной. Накатовъ, трещинъ, выкрашиванія, царапинъ шейки и затеканія смазочныхъ канавокъ не наблюдалось. Общее число испытаній свинцово-сурьмяныхъ бабитовъ равно 285. Замѣтить какую либо существенную разницу въ различныхъ сортахъ вагоннаго бабита, т. е. учесть вліяніе мѣди на износъ и долговѣчность бабита при столь незначительномъ пробѣгѣ на пробномъ бабитѣ было невозможно. Одно только испытаніе на постоянной машинѣ силовой станціи Красноярскихъ главныхъ мастерскихъ какъ бы говорило въ пользу введенія мѣди и нѣкотораго преимущества бабита № 3 Д надъ № 3 К. Со стороны физическихъ свойствъ различіе выступаетъ яснѣе въ то время, какъ чистый свинцово-сурьмяный бабитъ обладаетъ свѣтло-сѣрымъ

цвѣтомъ излома, свинцово-сурьмяный бабитъ съ примѣсью мѣди, при болѣе темномъ цвѣтѣ излома, приобретаетъ ясно выраженный фіолетовый оттѣнокъ; твердость отъ присадки мѣди растетъ (болѣе подробно см. ниже). Для полученія наиболѣе яснаго представленія о техническихъ свойствахъ свинцово-сурьмяныхъ бабитовъ еще въ началѣ іюля 1912 г. они были поставлены на буксовые подшипники паровозовъ №№ 1610 и 3163. Оба паровоза выдержали пробныя поѣздки вполне благополучно, въ пути подшипники не грѣлись, рабочая поверхность, къ сожалѣнію, осмотрѣна не была. Этотъ успѣхъ открывалъ новый путь въ намѣченныхъ изслѣдованіяхъ, однако малая твердость, крайняя осторожность въ постановкѣ опытовъ съ чисто-свинцово-сурьмяными бабитами на участкѣ и, наконецъ, недостатокъ времени помѣшали развить эти испытанія въ желательномъ объемѣ. Всего бабитъ былъ поставленъ на буксовыхъ и дышловыхъ подшипникахъ въ количествѣ 285 штукъ.

Однимъ изъ важныхъ недостатковъ свинцово сурьмяныхъ бабитовъ является ихъ небольшая твердость и теплоемкость. Здѣсь не лишнее будетъ повторить нѣсколько словъ о свойствахъ „намазыванія“ бабита того или иного состава. Дѣло въ томъ, что при заливкѣ подшипниковъ подъ скалку, а это имѣетъ мѣсто въ примѣненіи къ буксовымъ подшипникамъ паровозовъ вообще и къ дышловымъ въ частности—на участкѣ, имѣетъ большое значеніе тѣстообразное состояніе бабита. Въ этомъ состояніи бабитъ хорошо заполняетъ подшипникъ, хорошо „намазывается“ подъ скалку. Продолжительность тѣстообразнаго состоянія бабита тѣмъ больше, чѣмъ большею теплоемкостью обладаютъ его составныя части. Принимая по Валуеву теплоемкости ²⁰⁾ $Pb = 1$, $Sb = 1,7$, $Sn = 1,75$ и $Cu = 3$, мы можемъ сказать, что сплавы съ большимъ процентнымъ содержаніемъ Pb будутъ обладать малымъ періодомъ „намазыванія“. Ниже помѣщена таблица XII теплоемкостей всѣхъ бабитовъ, изъ которой видно, что теплоемкость свинцово-сурьмяныхъ бабитовъ довольно незначительна. Чистый свинцово-сурьмяный бабитъ при остываніи почти сразу переходитъ изъ жидкаго состоянія въ твердое: періодъ намазыванія тѣстообразнаго состоянія отсутствуетъ, что сильно усложняетъ заливку.

Таблица XII.

Сортъ бабита.	№ 1 Т. У.	№ 2 Т. У.	№ 3 Т. У.	№ 1 Д.	№ 1 Н.	№ 1 М.	№ 1 К.	№ 1 В.	№ 3 К.	№ 3 Д.	№ 3 Е.	№ 3 М.
Тепло-емкость.	1,62	1,496	1,4	1 4275	1,417	1,38	1,34	1,3025	1,139	1,1755	1,192	1,272

²⁰⁾ Условно по отн. $Pb = 1$.

Въ дополненіе къ вышеприведенному описанію опытныхъ изслѣдованій бабитовъ на Сибирской жел. дорогѣ необходимо добавить нѣсколько словъ о полученныхъ наблюденіяхъ надъ качествами бабитовъ, взятыхъ для испытаній.

Бабить № 1 К имѣетъ свѣтло серебристый изломъ и при незначительномъ содержаніи олова обладаетъ хорошими техническими качествами: по твердости, какъ видно изъ предыдущей таблицы XI, онъ не уступаетъ лучшимъ сортамъ оловянныхъ бабитовъ, сохраняя при работѣ достаточную вязкость. Обладая хорошою теплоемкостью, бабить № 1 К долго сохраняетъ тѣстообразное строеніе, т. е. имѣетъ періодъ „намазыванія“ продолжительный и очень хорошо заполняетъ подшипникъ подъ скалку. Послѣднее свойство особенно цѣнно при заливкѣ паровозныхъ буксовыхъ и дышловыхъ подшипниковъ, въ особенности если они не идутъ въ расточку. Залитая поверхность получается гладкой безъ усадочныхъ раковинъ, трещинъ и ноздрей.

Бабить № 1 В имѣетъ свѣтло-сѣрый изломъ и при незначительномъ содержаніи олова, меньшемъ чѣмъ въ бабитѣ № 1 К, обладаетъ хорошими свойствами. По твердости онъ мало отличается отъ оловянныхъ бабитовъ, но мягче бабита № 1 К. Теплоемкость его ниже теплоемкости послѣдняго бабита, но вполне достаточная для періода „намазыванія“. Вязкость его средняя, но скалываній при вырубкѣ смазочныхъ канавокъ не наблюдалось.

Бабить № 3 К имѣетъ сѣроватый изломъ, принадлежитъ къ чисто-свинцовымъ-сурьмянистымъ бабитамъ, обладаетъ небольшою твердостью, но отличается значительною вязкостью. Теплоемкость его мала, но повышается по мѣрѣ увеличенія въ немъ содержанія мѣди. Періодъ „намазыванія“ почти совершенно отсутствуетъ, вслѣдствіе чего заливка подшипниковъ подъ скалку весьма затруднительна и не можетъ быть произведена безъ паяльника. При заливкѣ подъ шаблонъ заполняетъ подшипникъ хорошо и безъ недостатковъ.

Бабить № 3 Д довольно близко подходитъ къ предыдущему бабиту № 3 К, но въ отличіе отъ послѣдняго обладаетъ нѣсколько большею теплоемкостью и твердостью. Изломъ бабита № 3 Д сѣрый съ характернымъ фіолетовымъ оттѣнкомъ.

Бабить № 3 Е, въ отличіе отъ двухъ предыдущихъ свинцово-сурьмянистыхъ бабитовъ, имѣетъ большее количество мѣди, вслѣдствіе чего и обладаетъ большею теплоемкостью.

Какъ видно изъ предыдущаго, главная цѣль произведенныхъ испытаній бабитовъ на Сибирской жел. дор. заключалась въ выясненіи вопроса, насколько возможно дорогіе оловянные бабиты замѣнить бо-

лѣе дешевыми бабитами изъ класса свинцово-оловянно-сурьмянистыхъ и изъ чисто свинцово-сурьмянистыхъ. Кромѣ этого во время описанныхъ опытовъ стремились выяснитъ вліяніе примѣси мѣди въ свинцово-сурьмянистыхъ бабитахъ.

Вторая половина изслѣдованій бабитовъ, опытнымъ путемъ изслѣдованныхъ на Сибирской жел. дорогѣ, была произведена въ металлографической лабораторіи Института подъ моимъ руководствомъ, но при дѣятельномъ участіи ранѣе указанныхъ студентовъ (М. Михайлова и А. Бѣляева) которые такимъ образомъ исполнили вторую половину своей дипломной работы. Для большей провѣрки полученныхъ практическихъ результатовъ всѣ бабиты, испытанные практически на Сибирской жел. дорогѣ, для изслѣдованій въ лабораторіи были отлиты вновь изъ чистыхъ металловъ и фигурируютъ дальше подъ, быть можетъ, не совсѣмъ удобнымъ названіемъ „химически чистыхъ“ въ отличіе отъ образцовъ бабитовъ, изготовленныхъ въ Красноярскихъ мастерскихъ Сибирской жел. дороги. Послѣднія опытные наблюденія, произведенныя въ металлографической лабораторіи Томскаго Технологическаго Института, надъ изслѣдованіемъ вышеуказанныхъ бабитовъ (см. таблицу X) могутъ быть раздѣлены на двѣ группы: а) на изученіе структуры сплавовъ и ихъ критическихъ точекъ и б) на изученіе физическихъ свойствъ бабитовъ—ихъ твердости и удѣльнаго вѣса.

Мы знаемъ, что всякій сплавъ въ жидкомъ состояніи представляетъ довольно однородную смѣсь изъ составляющихъ его металловъ. Эта смѣсь можетъ быть просто растворомъ одного металла въ другомъ или растворомъ какого нибудь химическаго соединенія въ общей массѣ сплава. Бабиты также подчиняются этому правилу. Когда жидкій сплавъ начинаетъ остывать, то при извѣстной, для каждаго состава определенной температурѣ, одни изъ составляющихъ чистыхъ металловъ или соотвѣтственное химическое соединеніе начинаетъ выдѣляться изъ общей массы жидкости и затвердѣваетъ въ видѣ отдѣльныхъ кристалловъ. Подобнаго рода образованіе кристалловъ, сопровождаясь выдѣленіемъ нѣкотораго количества тепла, замедляетъ паденіе температуры сплава и даетъ на кривой охлажденія остановку, извѣстную подъ названіемъ „критической точки“. Затѣмъ можетъ начаться выдѣленіе кристалловъ другого металла или другого химическаго соединенія, что опять таки вызоветъ новую остановку, новую критическую точку. Наконецъ, когда окончится выдѣленіе всѣхъ металловъ и химическихъ соединеній, бывшихъ какъ бы въ избыткѣ въ сплавѣ, остается еще жидкая масса, всегда одинаковая по своему составу для данной серіи сплавовъ. При затвердѣваніи она образуетъ какъ бы

совершенно однородное тѣло, такъ что даже подъ микроскопомъ нельзя различить отдѣльныхъ кристалловъ основныхъ ея частей. Эта жидкая однородная масса называется эвтектическою смѣсью, и большее или меньшее количество ея во всей массѣ сплава оказываетъ большое вліяніе на общія свойства послѣдняго. Кривыя охлажденія, давая зависимость между паденіемъ температуры и временемъ, указываютъ условія и моменты начала выдѣленія кристалловъ и образованія эвтектической смѣси, а тѣмъ самымъ даютъ возможность при помощи кривыхъ критическихъ точекъ опредѣлить даже процентный составъ даннаго сплава и наоборотъ.

Для сплавовъ двойныхъ, которые въ настоящее время изслѣдованы весьма основательно (Guertler, Borneman), это вполне вѣрно и не вызываетъ никакихъ затрудненій, для сплавовъ же тройныхъ, а тѣмъ болѣе четверныхъ вопросъ становится уже болѣе сложнымъ. Не малую пользу въ этомъ случаѣ могутъ оказать шлифы, давая подъ микроскопомъ наглядную картину распредѣленія формъ и величинъ кристалловъ и эвтектики. Полученные результаты по кривымъ охлажденія можно представить слѣдующей таблицей XIII.

Таблица XIII критическихъ точекъ ²¹⁾

№№ критическихъ точекъ.	I	II	III	IV	I.	II	III	IV
Сорта бабита.	Образцы изъ Мастерскихъ.				Образцы изъ Лаборатор. „химич. чист.“			
№ 1 Тех. Усл. и Лейкина . . .	367°	295°	204° 202°	196°	356°	288°	196°	188°
№ 1 Д	473°	306°	256°	194°	—	—	—	—
№ 1 К	482°	286°	256°	—	482°	276°	241°	—
№ 2 Тех. Усл.	432°	263°	213°	194°	432°	260°	216°	196°
№ 2 Лейкина	402°	270°	211°	194°	—	—	—	—
№ 1 В	526°	276°	254°	—	497°	276°	247°	—
№ 3 Тех. Усл.	402°	315°	254°	—	406°	310°	256°	—
№ 3 Лейкина	384°	315°	254°	—	—	—	—	—
№ 3 К	306°	256°	—	—	288°	256°	—	—
№ 3 Д	530°	269°	256°	—	550°	280°	256°	—
№ 3 Е	577°	270°	256°	—	—	—	—	—

²¹⁾ Бабиты завода Лейкина №№ 1—3 имѣютъ одинаковый составъ съ бабитами тѣхъ же номеровъ Сибирск. ж. дор., согласно техническихъ условій (№№ 1—3 Техн. Услов.)

Кривыя охлажденія сплавовъ были получены при помощи известнаго прибора проф. Курнакова, при чемъ изслѣдуемый бабитъ въ количествѣ 100 gr. расплавлялся въ криптоліевой электрической печи. Въ разогрѣтый тигель изъ огнеупорной глины съ шамотомъ загружалась или навѣска изъ образцовъ бабита, отлитаго въ Красноярскихъ гл. мастерскихъ, или въ послѣдовательномъ порядкѣ: мѣдь съ небольшимъ количествомъ олова и далѣе постепенно Sn, Pb и Sb въ томъ случаѣ, когда сплавъ составлялся изъ чистыхъ металловъ въ лабораторіи Института. Нагрѣваніе производилось въ среднемъ до 700° 750° C, охлажденіе записывалось приборомъ до 150° C, такъ какъ предполагалось, что ниже этой температуры критическихъ точекъ въ изслѣдуемомъ бабитѣ нѣтъ. Время остыванія колебалось отъ 1 ч. 15 м. до 1 ч. 25 м.

Возвращаясь къ вышеприведенной таблицѣ критическихъ точекъ, при ближайшемъ ея разсмотрѣніи можно сдѣлать слѣдующія заключенія:

А Результаты изслѣдованія образцовъ, отлитыхъ въ Красноярскихъ гл. мастерскихъ и „химически чистыхъ“, даютъ одну и ту-же картину. Совпаденіе критическихъ точекъ для нѣкоторыхъ бабитовъ отличаются большой точностью.

Напримѣръ для № 2 техн. услов.

Образецъ мастерскихъ	432°	263°	213°	194°
„ химически чистый	432°	262°	216°	196°
разность	0	—3	+3	+2

Наибольшая невязка для другихъ сортовъ можетъ быть объяснена различными условіями правки и вытекающимъ отсюда большимъ или меньшимъ выгораніемъ того или другого элемента даннаго сплава.

В. Бабиты №№ 1, 2 и 3 техн. услов. Сиб. ж. д. и соотвѣтственные №№ зав. Лейкина имѣютъ общій основной составъ.

Напр., для бабитовъ № 1 тех. усл. и № 1 зав. Лейкина.

	367°	295°	204°	196°
	367°	295°	202°	196°
Разность	0	0	—2°	0

С. Оловянные бабиты съ содержаніемъ олова больше 25% имѣютъ четыре критическихъ точки.

Д. 25%-ное содержаніе олова является предѣломъ существованія четвертой критической точки ($194—196^{\circ}$ C).

При 25% Sn она выражена очень слабо,—напр., для бабита № 1 D, а при 24% Sn,—для баб. № 2 тех. усл. и 2 Лейкина, ея вовсе не наблюдается.

Е. Бабиты съ содержаніемъ олова меньше 25% даютъ только три критическихъ точки.

Г. Верхняя критическая точка свинцовыхъ бабитовъ выше таковой же въ оловянныхъ бабитахъ и поднимается еще выше по мѣрѣ увеличенія процентнаго содержанія свинца.

Такъ для свинцовыхъ бабитовъ

при содержаніи свинца 50%	критич. точка	473° C.
” ” ” 60%	” ”	482° C.
” ” ” 65%	” ”	526° C.

Г. Нижняя критическая точка (254—256° C) для свинцовыхъ бабитовъ появляется тоже при болѣе высокой температурѣ, чѣмъ это соотвѣтствуетъ эвтектической смѣси 87% Pb+13% Sb.

Собственно говоря, эвтектической смѣси 87% Pb+13% Sb соотвѣтствуетъ температура 248,5—244,8° C и нѣкоторое повышение ея должно быть отнесено, по всей вѣроятности, за счетъ нечистоты составныхъ частей. Это предположеніе отчасти находитъ себѣ подтвержденіе въ томъ, что для „химически чистыхъ“ бабитовъ, приготовленныхъ въ лабораторіи Института, эта точка появляется иногда нѣсколько ниже.

Н. Свинцово-сурьманистый бабитъ № 3 К представляетъ собою двойной сплавъ; первая критическая точка соотвѣтствуетъ выдѣленію кристалловъ чистой сурьмы; вторая—эвтектической смѣси 87% Pb+13% Sb.

Для изученія структуры бабитовъ были изготовлены шлифы и сняты при увеличеніи въ 100 разъ. Въ качествѣ протравы для шлифовъ служили: 3% растворъ въ водѣ азотной кислоты, бромная вода и $\text{HCl} + \text{Fl}_2\text{Cl}_6$. Общая картина наблюдаемыхъ структурныхъ явленій въ разсмотрѣнныхъ бабитахъ состоитъ въ нижеслѣдующемъ:

Бабитъ № 1 К („химич. чист.“), охлажденіе медленное,—край отливки (фиг. 40, таб. VIII). Снимокъ представляетъ собою металлографическую картину края нижней части конусообразной отливки (въ 100 gr.), полученной въ лабораторіи при медленномъ остываніи. Крупные кристаллы, обычно характеризующіе медленное охлажденіе,—здѣсь совершенно отсутствуютъ,—они отчасти помѣстились въ срединѣ отливки, отчасти, подъ вліяніемъ меньшаго удѣльнаго вѣса, всплыли вверхъ. Главная основная, черная масса представляетъ собою смѣсь двухъ эвтектическихъ массъ: 87% Pb+13% Sb и 62% Sn+38% Pb.

Баб. № 1 К (хим. чист.) (фиг. 41, таб. VIII). Тотъ же шлифъ, но только мѣстомъ для снимка была выбрана середина отливки. Здѣсь мы видимъ характерные бѣлые кристаллы сурьмяныхъ соединений весьма большихъ размѣровъ ($0,25 \times 0,2^m/m$) и основную темную мягкую массу ранѣе указанного состава. Межъ кристалловъ и черезъ нихъ, какъ бы прорѣзывая, проходятъ узкія, длинныя палочки соединений мѣди. Весьма возможно, что эти палочки, разбросанныя по всѣмъ направлѣніямъ и соединяющія отдѣльныя, болѣе твердыя зерна сурьмяныхъ выдѣлений, служатъ какъ бы коркасомъ въ болѣе мягкой, основной массѣ и обуславливаютъ отчасти значительную твердость бабита даннаго состава. Въ слѣдующемъ шлифѣ эти палочки выражены гораздо слабѣе.

Бабитъ № 1 К. (Краснояр. мастерскія) (фиг. 42, таб. VIII). Главнѣйшее отличіе даннаго шлифа, по сравненію съ только что рассмотрѣннымъ, заключается въ значительномъ уменьшеніи величины каждаго зерна и мѣдныхъ палочекъ, что, конечно, вытекаетъ изъ условій болѣе быстрого охлажденія даннаго образца, приготовленнаго въ Красноярскихъ гл. мастерскихъ.

Баб. № 1 Д (Красн. мастерскія) (фиг. 43, таб. VIII). Данный образецъ имѣетъ много общаго съ № 1 К (Кр. маст.) и только значительное увеличеніе общаго числа бѣлыхъ кристалловъ сурьмы и ея соединений указываетъ на увеличеніе процентнаго содержанія послѣдней. Соотвѣтственное же уменьшеніе эвтектики говоритъ о большей твердости даннаго сплава и увеличеніи его хрупкости, что и наблюдалось на практикѣ.

Баб. № 1 Т. У. (Красн. мастерск.) (фиг. 44, таб. VIII). Среди общей, основной, темно-сѣрой массы разбросаны бѣлые ромбы сурьмы и ея соединений, при чемъ имѣются мелкіе, слегка сѣроватые кристаллы въ поляхъ большихъ кристалловъ сурьмяныхъ соединений²²⁾. Распредѣленіе кристалловъ по общей поверхности шлифа довольно равномерное. Соединенія мѣди наблюдаются въ видѣ отдѣльныхъ вкраплений какъ въ основной массѣ, такъ и среди самыхъ кристалловъ.

Баб. № 1 Т. У. (Хим. чист.) (фиг. 45, таб. IX). Онъ даетъ яркую картину вліянія медленнаго охлажденія. Кристаллы сурьмяныхъ соединений достигаютъ весьма большой величины. Соединенія мѣди съ оловомъ имѣютъ видъ узкихъ мазковъ, частью прорѣзывающихъ кристаллы сурьмяныхъ соединений, частью находящихся на фонѣ основной массы.

²²⁾ По всей вѣроятности, разность въ окраскѣ сложныхъ кристалловъ соединений сурьмы и олова вызывается различнымъ содержаніемъ послѣдняго въ сурьмяныхъ соединенияхъ.

Баб. № 1 В (Кр. Мастерск.) (фиг. 46, таб. IX). Среди основной темно-сѣрой массы свинцово-сурьмянистой эвтектики съ примѣсью эвтектики олова и свинца изрѣдка разбросаны бѣлые неправильные ромбы сурьмяныхъ выдѣленій и кромѣ этого въ большомъ количествѣ весьма малые кристаллы, очевидно той же сурьмы и, наконецъ, узкія палочки молочнаго цвѣта. При потравѣ шлифа $\text{HCl} + \text{Fe}_2\text{Cl}_6$ эти молочныя палочки окрасились въ красивый сиреневатый цвѣтъ, слѣдовательно—имѣемъ здѣсь дѣло съ мѣдными соединеніями. Эти палочки мѣстами прорѣзываютъ бѣлые кристаллы, мѣстами группируются въ видѣ отдѣльныхъ оазисовъ, окруженныхъ и прорѣзываемыхъ въ свою очередь тонкими, бѣловатыми зигзагами и островами.

Баб. № 1 В. (Хим. чист.) (фиг. 47, таб. IX). Та же картина, что и въ предыдущемъ шлифѣ, но величина кристалловъ гораздо больше ($0,15 \times 0,175 \text{ м/м}$), число же ихъ меньше.

Баб. № 2 Т. У. (Кр. маст.) (фиг. 48, таб. IX). Здѣсь замѣтно особенное обиліе палочекъ мѣдныхъ выдѣленій, разбросанныхъ по всѣмъ направленіямъ и достигающихъ весьма большой длины. Кристаллы сурьмяныхъ выдѣленій имѣютъ мѣстами правильно выраженную форму ромбовъ и достигаютъ величины $0,1 \times 0,1 \text{ м/м}$.

Баб. № 2 Т. У. (Хим. чист.) (фиг. 49 таб. IX). Размѣры кристалловъ увеличились болѣе чѣмъ вдвое ($0,2 \times 0,275 \text{ м/м}$), палочки мѣдныхъ выдѣленій исчезли; взамѣнъ ихъ появились въ большомъ числѣ среди бѣлыхъ зеренъ и въ основной массѣ розовато-фіолетовыя вкрапленія.

Баб. 3 К (Красн. мастерск.) (фиг. 50 таб. IX). Этотъ бабитъ, являясь двойнымъ сплавомъ, отличается, равно какъ и послѣдующіе тройные сплавы бабитовъ № 3 Д и 3 Е, большою однородностью. Основная черная масса является эвтектической смѣсью ($84\% \text{ Pb} + 13\% \text{ Sb}$), а бѣлые ромбы представляютъ кристаллы почти чистой сурьмы, бывшей въ избыткѣ въ сплавѣ до образованія эвтектики.

Баб. № 3 Д. (Кр. маст.) (фиг. 51 таб. X). Основная черная масса эвтектической смѣси $87\% \text{ Pb} + 13\% \text{ Sb}$ съ мелкими, бѣлыми кристаллами сурьмы и разсѣянныя повсюду въ большомъ количествѣ тоненькія, маленькія розовато-сиреневаго цвѣта соединенія мѣди, при сравнительно равномерномъ распредѣленіи всѣхъ составныхъ частей, сулятъ высокія техническія качества сплава со стороны вязкости, при небольшой твердости. Практика всецѣло оправдываетъ это предположеніе.

Баб. № 3 Д. (Хим. чист.) (фиг. 52 таб. X). Условія остыванія оказали и въ данномъ случаѣ весьма невыгодное вліяніе. Кристаллы соединеній сурьмы стали гораздо больше по своей величинѣ. Выдѣленіе

мѣди въ видѣ розовато-сиреневыхъ вкраплений распространено довольно обильно не только среди бѣлыхъ кристалловъ сурьмы, но и во всей массѣ эвтектической смѣси.

Баб. № 3 Е. (Кр. маст.) (фиг. 53 таб. X). Основной темно-сѣрой массой, какъ и въ предыдущихъ свинцово-сурьмянистыхъ бабитахъ, является эвтектическая смѣсь свинца съ сурьмой. Среди ея разсѣяны бѣлые кристаллы сурьмы, сравнительно небольшой величины. Мѣдныхъ выдѣлений по сравненію съ баб. № 3 Д. значительно больше; всѣ они очень малы и разсѣяны цѣлыми группами, какъ во всей основной массѣ, такъ и среди отдѣльныхъ бѣлыхъ кристалловъ сурьмы. Нѣкоторые зерна заключаютъ въ себѣ до 20 такихъ кристалликовъ.

Баб. № 3 Т. У. (Кр. маст.) (фиг. 54 таб. X). Данный шлифъ представляетъ собою слѣдующее: кристалловъ сурьмянистыхъ выдѣлений много, по связующей ихъ мягкой массы мало, что характеризуетъ собою большую твердость и малую вязкость данного сплава. Твердость мягкой свинцовой массы сплава увеличилась отъ примѣси къ ней слова

Баб. № 3 Т. У. (Хим. чист.) (фиг. 55 таб. X). На шлифѣ замѣтны крупныя, длинныя палочки мѣдныхъ соединений весьма значительныхъ размѣровъ. Кристаллы соединений сурьмы въ основной мягкой, черной массѣ характеризуютъ собою условія медленнаго охлажденія данного сплава.

Въ заключеніе намъ остается только подчеркнуть то обстоятельство, что медленное охлажденіе способствуетъ росту отдѣльныхъ кристалловъ.

Стоитъ только бѣгло просмотрѣть фотографическіе снимки, чтобы убѣдиться въ справедливости сдѣланнаго заключенія. Всѣ образцы „хим. чистыхъ“ бабитовъ, полученныхъ при медленномъ охлажденіи, имѣютъ кристаллы значительно большей величины, чѣмъ образцы отлитые въ Красноярскихъ мастерскихъ, гдѣ скорость охлажденія была значительно больше.

Такъ, напр., въ двухъ взаимно-перпендикулярныхъ измѣреніяхъ кристаллы:

Баб. № 1 В. Химич. чист. $0,15 \times 0,18$ м/м.

„ Мастерск. $0,09 \times 0,08$ м/м.

Баб. № 2 Т. У. Химич. чист. $0,25 \times 0,275$ м/м.

„ Мастерск. $0,2 \times 0,1$ м/м.

Этимъ закончимъ пока общее разсмотрѣніе бабитовъ съ металлографической точки зрѣнія и переходимъ къ опредѣленію твердости и удѣльнаго вѣса.

Всѣ антифрикціонные сплавы въ зависимости отъ своего непосредственнаго назначенія должны обладать той или иной степенью твердости. Въ нормальныхъ условіяхъ хорошій бабитъ состоитъ, какъ извѣстно изъ предыдущаго, изъ эвтектической, мягкой массы, въ которой сравнительно равномерно разсѣяны, выдѣлившіеся ранѣе, болѣе твердые кристаллы чистыхъ металловъ и ихъ химическихъ соединений. Эти твердыя зерна воспринимаютъ нагрузку, приходящуюся на рабочую поверхность подшипника и передаютъ ее (болѣе или менѣе равномерно) всей основной массѣ бабита. Количество и величина этихъ кристалловъ съ одной стороны, внѣшнія условія отливки съ другой оказываютъ большое вліяніе на измѣненіе твердости того или иного сорта бабита. Возьмемъ, напр., двойной сплавъ, соотвѣтствующій эвтектической смѣси $87\% \text{ Pb} + 13\% \text{ Sb}$ (см. фиг. 1), и допустимъ, что твердость его оказывается для насъ слишкомъ низкой. Разсматривая кривую критическихъ точекъ данной пары, мы сразу видимъ необходимость взять для повышенія твердости нѣкоторый избытокъ сурьмы, т. е. повысить ея $\%$ -ное содержаніе и тѣмъ самымъ способствовать выдѣленію болѣе твердыхъ кристалловъ чистой сурьмы.

Однако въ этомъ отношеніи надо быть крайне осторожнымъ. Чрезмѣрное увеличеніе $\%$ -го содержанія сурьмы лишаетъ бабитъ одного изъ основныхъ его свойствъ—вязкости и дѣлаетъ его совершенно непригоднымъ для дѣйствительной службы.

Обратимся теперь къ разсмотрѣнію вліянія внѣшнихъ условій охлажденія. Не надо забывать, что кристаллы, появляющіеся въ періодъ остыванія сплава, имѣютъ обыкновенно иной удѣльный вѣсъ, чѣмъ остальная еще жидкая масса, въ виду чего они или поднимаются на поверхность, или же опускаются на дно. Такое явленіе, какъ извѣстно, носитъ названіе „ликвации“ и проявляется особенно рѣзко при медленномъ остываніи большихъ массъ. Впрочемъ „въ настоящее время, говоритъ Витторфъ („Теорія сплавовъ въ примѣненіи къ металлическимъ системамъ“), можно считать совершенно установленнымъ, что даже при сравнительно малыхъ количествахъ металлическихъ сплавовъ (20—25 gr.) структура слоевъ, прилегающихъ къ стѣнкамъ охлажденія, далеко не та же, что во внутреннихъ областяхъ отливки“. То же самое пришлось наблюдать и во время опытовъ при медленномъ охлажденіи бабита, отливаемаго въ лабораторіи въ количествѣ 100 gr. Между тѣмъ ясно, что чѣмъ больше кристалловъ и чѣмъ меньше они, тѣмъ общая масса будетъ однороднѣе и наоборотъ, чѣмъ меньше кристалловъ и чѣмъ больше они, неоднороднѣе.

До сихъ поръ говорилось только объ охлажденіи бабита, однако едва ли не большаго вниманія заслуживаетъ процессъ самой плавки. Не рационально поставленная плавка можетъ разрушить всѣ расчеты, и полученный продуктъ будетъ обладать совершенно иными физическими свойствами.

Всѣ эти обстоятельства крайне затрудняютъ полученіе тѣхъ или иныхъ абсолютныхъ цифръ и заставляютъ обратить серьезное вниманіе на выборъ матеріала для даннаго испытанія. Такъ, напр., при приготовленіи шлифовъ во время опытовъ старались слѣдовать опытамъ Неускок'а и Neville'я, которые, изучая бронзовые сплавы, вырѣзывали образцы такъ, что сторона ихъ, предназначенная для приготовленія шлифа, была нормальна къ поверхности охлажденія и начиналась у послѣдней. Къ сожалѣнію, провести это положеніе цѣликомъ не удалось, такъ какъ образцы, заготовленные раньше въ Красноярскихъ гл. мастерскихъ, были присланы въ лабораторію распиленными и въ значительно уменьшенномъ видѣ.

Первыя испытанія твердости были произведены лѣтомъ 1912 года въ Красноярскихъ гл. мастерскихъ Сиб. ж. дор. Затѣмъ испытанія были повторены вновь въ механической лабораторіи Томскаго Технологическаго Института на машинѣ Амслера. Нагрузка была въ 500 klg. время дѣйствія ея 3 минуты. Полученные результаты представлены въ таблицѣ XIV.

Таблица XIV твердости.

С о р т ъ б а б и т а .	d_1	d_2	d сред.	Поверх- ность.	Тверд.
№ 3 Лейкина	4,30	4,30	4,30	15,2650	32,60
№ 1 Д.	4,63	4,55	4,60	17,6087	28,40
№ 1 В.	4,60	4,80	4,70	18,4286	27,20
№ 1 К.	4,75	4,75	4,75	18,8527	26,50
№ 1 Лейкина	5,10	5,10	5,10	21,9629	22,80
№ 1 Т. У.	5,10	5,20	5,15	22,4357	22,30
№ 3 Т. У.	5,25	5,25	5,25	23,3939	21,50
№ 2 Лейкина	5,55	5,65	5,60	26,9392	18,60
№ 3 Е.	5,60	5,60	5,60	26,9392	18,60
№ 2 Т. У.	5,95	5,95	5,95	30,8316	16,20
№ 3 Д.	6,15	6,05	6,10	32,6018	15,30
№ 3 К.	6,45	6,35	6,40	36,3828	13,80

Разсмотрѣніе настоящей таблицы позволяетъ сдѣлать слѣдующіе выводы:

А. Твердость растётъ по мѣрѣ увеличенія $\%$ -го содержанія сурьмы почти внѣ зависимости отъ взаимнаго соотношенія вѣсовыхъ количествъ остальныхъ компонентовъ (по крайней мѣрѣ въ предѣлахъ вышеприведенныхъ опытовъ).

В. При одномъ и томъ же $\%$ -номъ содержаніи сурьмы замѣна олова свинцомъ вызываетъ нѣкоторое повышеніе твердости.

Таб. № 1 Т. У.—Sn—60 $\%$; Pb—21 $\%$; тверд. 22,3.

„ № 1 К. —Sn—20 $\%$; Pb—60 $\%$; „ 26,5.

С. Чистый свинцово-сурьмянистый бабитъ является наиболѣе мягкимъ изъ изслѣдованныхъ бабитовъ.

Присадка къ нему мѣди въ предѣлахъ 3—4 $\%$ увеличиваетъ твердость.

Въ первой части вышеприведенной работы была сдѣлана попытка указать ту выгоду, которую даетъ замѣна оловянныхъ бабитовъ—свинцовыми, принимая во вниманіе и вліяніе удѣльнаго вѣса. Для упрощенія при вычисленіи удѣльнаго вѣса было допущено, что всѣ металлы M_1 , M_2 , M_3 и т. д., входящіе въ составъ даннаго бабита, не соединяются химически и не образуютъ однородныхъ растворовъ. Такое допущеніе, конечно, не вѣрно, и полученные данныя могутъ быть признаны лишь какъ первое приближеніе. Дѣло въ томъ, что лишь только металлы начинаютъ растворяться другъ въ другъ или какъ только начинаютъ выдѣляться кристаллы какого-либо химическаго соединенія, прямолинейная зависимость для удѣльнаго вѣса переходитъ въ криволинейную. Въ металлографической лабораторіи практическое опредѣленіе удѣльнаго вѣса было произведено путемъ двойного взвѣшиванія большихъ и, во избѣжаніе прилипанія пузырьковъ воздуха, гладкихъ массъ бабита. Не будемъ останавливаться на самой постановкѣ опыта, считая его слишкомъ простымъ и общеизвѣстнымъ, а приведемъ лишь окончательные результаты. Бабиты распределены по мѣрѣ возрастанія ихъ твердости *).

Значенія удѣльнаго вѣса даны при температурѣ воды 20° С и атмосферномъ давленіи $p=770^{\text{mm}}$. Кромѣ этого была сдѣлана попытка опредѣленія удѣльнаго вѣса взвѣшиваніемъ опилокъ бабита въ спиртѣ. Однако летучесть спирта съ одной стороны, и большое количество воздуха, увлекаемаго опилками, съ другой, крайне затрудняютъ какъ производство самыхъ опытовъ, такъ и полученіе заслуживающихъ довѣрія результатовъ.

*) Таблицу XV удѣльнаго вѣса см. на 67 стр.

Таблица № XV удѣльнаго вѣса.

С о р т ъ б а б и т а .	Образцы изъ мастерскихъ.			Образцы „химическ. чист.“		
	g_1	g_2	$f = \frac{g_1}{g_2}$	g_1	g_2	$f = \frac{g_1}{g_2}$
№ 1 Лейкива	454,350	60,000	7,570	—	—	—
№ 1 Тех. Усл.	590,155	76,310	7,734	50,600	6,350	7,990
№ 2 Лейкина	832,200	100,150	8,310	—	—	—
№ 3 Т. Усл.	694,600	82,600	8,410	66,130	8,010	8,258
№ 2 Т. Усл.	706,500	83,770	8,434	52,330	5,950	8,795
№ 3 Лейкина	1130,001	131,200	8,613	—	—	—
№ 1 Д.	631,300	72,600	8,696	—	—	—
№ 1 В.	1051,000	110,880	9,070	31,310	3,330	9,402
№ 1 К.	1308,850	140,880	9,290	49,350	5,470	9,000
№ 3 Е.	716,870	71,520	10,023	—	—	—
№ 3 К.	760,980	75,700	10,051	61,550	6,120	10,057
№ 3 Д.	1039,640	102,100	10,182	63,270	6,240	10,140

Вообще же нужно замѣтить, что удѣльный вѣсъ для всякаго сплава есть величина относительная и можетъ измѣняться въ зависимости отъ 1) удѣльнаго вѣса составныхъ частей и 2) отъ условій самой отливки, т. е. отъ большаго или меньшаго выгоранія того или иного металла. Изъ вышеприведенной таблицы можно сдѣлать только одно заключеніе, что свинцовые бабиты имѣютъ значительно большій удѣльный вѣсъ, чѣмъ оловянные.

Въ заключеніе общихъ разсужденій о бабитахъ считаемъ не лишнимъ привести въ высшей степени интересные опыты директора Коломенскаго завода г. Мануйлова, который сообщилъ о нихъ г. Валугеву слѣдующее:

„Мною, говоритъ онъ, изслѣдовалось очень большое количество сортовъ, но только два сорта бабита, наиболѣе часто употребляемые въ заводахъ, представляютъ дѣйствительный интересъ, а именно, наиболѣе дорогой оловянный бабитъ, состоящій изъ 11,11% Sb, 5,55% Cu, 83,34% Sn, и свинцовый, наиболѣе дешевый, состоящій изъ 85% Pb и 15% Sb. Оба сорта испытывались при разныхъ нагрузкахъ и разныхъ скоростяхъ. Давленіе производилось при помощи рычаговъ съ

грузами разнаго вѣса, надавливающими подшипникъ къ вращающемуся на роликахъ валу діаметромъ 4". Изъ массы полученныхъ цифръ оказалось, что при нормальной работѣ оба сорта не даютъ никакихъ разницъ. Оловянный бабитъ допустилъ нагрузку въ 114 klg. на кв. см. при скорости 3,5 mtr., при чемъ температура подшипника была 85—88°, —тоже и свинцовый. При повышеніи давленія температура повышалась; при 130° С нагрузка достигла 133 klg. на см.². Свинцовый бабитъ при той же скорости 3,5 mtr. и нагрузкѣ 133 klg. держалъ температуру до 120° С. Начало затягиванія канавокъ въ томъ и другомъ сплавѣ наступаетъ вскорѣ послѣ повышенія температуры выше 135—140° С. Получается поразительный результатъ, а именно, самый дорогой и самый дешевый бабитъ даютъ почти одинаковый результатъ, который по температурѣ скорѣе въ пользу свинцоваго сплава этого состава. Одно недоразумѣніе, вызванное цѣнностью металловъ, заставляетъ наилучшій сплавъ искать среди оловянныхъ бабитовъ. Психологическая черта людей, заставляющая дорогое считать хорошимъ, оказалась неподходящей и къ металлическимъ сплавамъ. Природа не знаетъ человѣческой оцѣнки и судить по своему".

Полученный опытный матеріалъ съ одной стороны и лабораторныя изслѣдованія съ другой позволяютъ сдѣлать слѣдующіе практическіе выводы:

I. Переходъ отъ оловянныхъ бабитовъ къ свинцовымъ вполне возможенъ и является насущной потребностью всякаго заводскаго предприятия.

II. Бабитъ № 1 К съ 60% Pb не уступаетъ по своимъ техническимъ свойствамъ оловянному бабиту съ тѣмъ же %-нымъ содержаниемъ олова (60% Sn).

III. Свинцово-сурьмянистый бабитъ можетъ замѣнить собой №№ 2 и 3 Техн. Услов. Сиб. ж. дор.

IV. Есть основанія думать о возможности дальнѣйшаго пониженія процентнаго содержанія олова, что требуетъ, конечно, производства дальнѣйшихъ испытаній въ этой области.

Въ заключеніе статьи о бабитахъ необходимо сказать нѣсколько словъ объ изготовленіи бабитовъ. Изъ предыдущаго нетрудно замѣтить, что бабиты въ жидкомъ состояніи весьма сильно подвержены ликваціи, а отсюда непосредственно слѣдуетъ, что при изготовленіи бабитовъ обычнымъ способомъ (плавленіемъ) не слѣдуетъ ихъ сильно перегрѣвать, необходимо въ жидкомъ состояніи тщательно перемѣшивать и при изготовленіи чушекъ необходимо отливать послѣднія въ металлические изложницы. Не вдаваясь въ подробности изготовленія баби-

товъ плавленіемъ, необходимо отмѣтить, хотя кратко, тѣ попытки, которыя были сдѣланы за послѣднее время, по изготовленію бабитовъ прессованіемъ. Небольшіе опыты въ послѣднемъ направленіи были сдѣланы и въ металлографической лабораторіи Томскаго Технологическаго Института.

Вопросъ о полученіи сплавовъ холоднымъ способомъ, т. е. путемъ сдавливанія порошкообразной смѣси въ толстостѣнномъ сосудѣ, принадлежитъ къ числу новыхъ и мало изслѣдованныхъ въ технической литературѣ.

Впервые онъ былъ затронутъ Спрингомъ (1878—1882 г.). Этотъ изслѣдователь производилъ опыты при очень большомъ давленіи: такъ, напр., сплавъ Вуда (8 ч. Pb, 4 ч. Sn, 15 ч. Bi, 3 ч. Cd) онъ получилъ при сдавливаніи въ 50 tn/cm^2 . Спрессованный сплавъ ничѣмъ не отличался отъ сплава, приготовленнаго обычнымъ способомъ, имѣлъ тотъ же удѣльный вѣсъ, цвѣтъ, твердость и плавился при 70°C .

При опытахъ Спрингъ замѣтилъ, что съ повышеніемъ температуры плавленія сдавливаемыхъ металловъ повышается необходимое давленіе. Для полученія, напр., латуни давленіе должно быть несравненно выше 50 tn/cm^2 , и однородный сплавъ получается лишь послѣ 5—6 кратнаго прессованія, обращая каждый разъ смѣшиваемые металлы въ порошокъ и тщательно ихъ перемѣшивая; сдавливаемый сплавъ немного темнѣе обычнымъ путемъ полученнаго.

За отсутствіемъ литературныхъ данныхъ нельзя сказать, велись ли какія либо изслѣдованія по этому вопросу послѣ работъ Спринга. Лишь за послѣднее время интересъ къ прессованнымъ сплавамъ возросъ, и, какъ увидимъ, появились попытки примѣнить ихъ въ технику.

Въ „Metallurgie“ (1910 г., 430) описаны опыты R. Friedrich'a. Последній бралъ сплавъ въ тѣстообразномъ состояніи въ періодъ остыванія, когда вслѣдствие выдѣленія компонентов онъ становится пластичнымъ, прибавлялъ къ нему какой либо трудноплавкій металлъ, перемѣшивалъ, сдавливалъ и охлаждалъ. Получалась механическая смѣсь. Къ сплаву изъ 90% Sn и 10% Sn онъ прибавлялъ стекло, къ сплаву изъ 98% Pb и 2% Sb при температурѣ около 250° желѣзные опилки. Прибавляемый металлъ, съ цѣлью избѣжать охлажденія смѣси, нагрѣвался предварительно до той же т-ры, что и смѣсь. Полученные сплавы нельзя сравнивать со сплавленными въ отношеніи твердости, ковкости, тепло—и электропроводности, т. к. они не однородны. Однако, прибавляя кварцъ, корундъ, корборундъ, можно добиться большой твердости, прибавляя окислы металловъ можно понижать тепло—и электропроводность.

Въ томъ же журналѣ (1910 г. 553) есть описаніе опытовъ W. Guertler'a. Послѣдній пытался получить дешевый подшипниковый металлъ; мягкимъ матеріаломъ для сплава служилъ чистый Pb или съ примѣсью Sb, Zn, Sn, твердымъ же, взамѣнъ довольно дорогихъ Sn или Zn, желѣзо или чугуны. Сплавъ Pb Fe онъ получилъ, нагрѣвая порошкообразную смѣсь до 250—300° (до достиженія пластичности свинца) и прессуя ее. Получилась твердая и компактная масса, вполне пригодная для подшипниковъ. Авторъ находитъ свой методъ прессованія лучше вышеописаннаго способа R. Friedrich'a, т. к. можно добиться болѣе тѣснаго смѣшенія составныхъ частей сплава. Въ противоположность Friedrich'у Guertler считаетъ полученныя смѣси за дѣйствительные сплавы лишь менѣе однородные.

Наконецъ изслѣдовалъ этотъ вопросъ Masing. Онъ рѣшилъ проверить Спринга, т. к. въ періодъ производства опытовъ этимъ послѣднимъ (1878—1882) строеніе сплавовъ было изучено мало, и выводы Спринга объ идентичности сплавовъ, спрессованныхъ и полученныхъ обычнымъ путемъ, вызывали сомнѣнія.

На основаніи общихъ законовъ физико-химіи Masing предположилъ, что въ системахъ, выдѣляющихъ при застываніи чистые компоненты, сплавленные и сдавленные продукты существенно не будутъ отличаться; если же оба компонента бинарной системы (Masing изслѣдовалъ именно эту систему) могутъ образовать соединеніе или смѣшанные кристаллы, то сомнительно, чтобы продукты спрессованные и сплавленные получились сдинаковые, т. к. давленіе не ускоряетъ химической реакціи. Опыты съ бинарными системами вполне подтвердили это предположеніе. Masing сдавливалъ порошкообразную смѣсь въ цилиндрикъ ($d = 14 \text{ м/м}$) пестикомъ и доводилъ давленіе до 5000 atm., т. е. до 50 klg. на м/м^2 . Большихъ давленій онъ не получалъ, т. к. пестикъ деформировался. При помощи термоэлемента онъ получалъ кривыя нагрѣванія и охлажденія.

Какъ оказалось, металлы, не дающіе при сплавленіи ни соединеній, ни прочныхъ растворовъ, не вступаютъ въ реакцію и подъ давленіемъ.

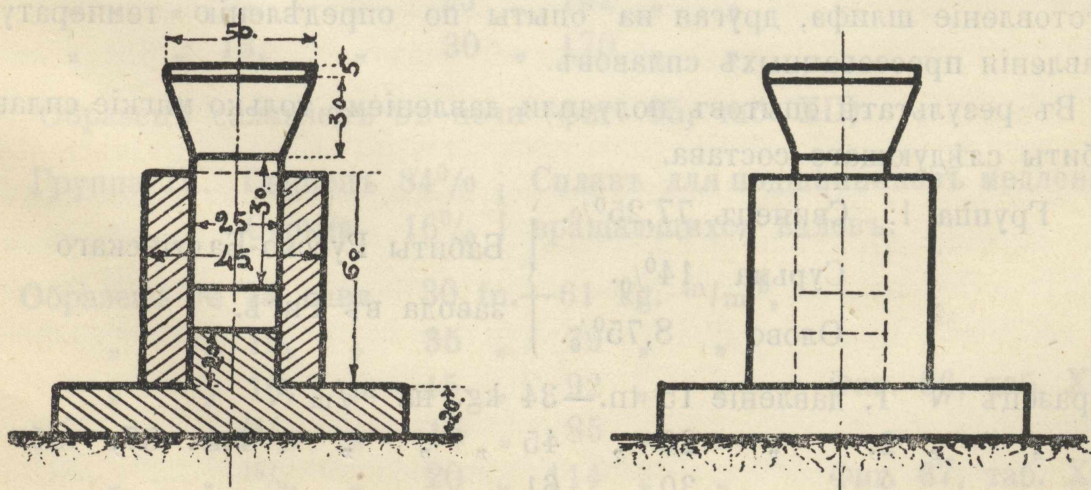
Когда оба компонента способны образовать соединенія, но не образуютъ смѣшанныхъ кристалловъ въ значительной концентраціи, то и подъ давленіемъ образуется нѣкоторое количество соединенія. Вслѣдствіе невысокаго давленія шлифы Masing получилъ неудовлетворительные и образованіе соединенія онъ доказалъ лишь по кривой нагрѣванія, а именно: 1) остановкою термометра при кристаллизаціи обѣихъ эвтектическихъ смѣсей, образуемыхъ соединеніемъ и двумя компонентами, и 2) крупными подъемами въ кривой паденія температуръ, отвѣчающихъ частичному сплавленію компонентовъ.

Если оба металла даютъ смѣшанные кристаллы, то и при сдавливаніи нѣкоторое количество ихъ также получается. Наконецъ, металлы, дающіе смѣшанные кристаллы и соединенія, даютъ эти продукты и подъ давленіемъ. При нагрѣвѣ сдавленного продукта происходитъ диффузія, и строеніе его становится болѣе однороднымъ ²²⁾.

Какъ видимъ, по вопросу объ идентичности спрессованныхъ и обычнымъ путемъ полученныхъ сплавовъ вполне утвердительно высказался лишь Спрингъ. Остальные изслѣдователи или отрицаютъ ее (R. Friedrich), или же признаютъ частично, какъ, напр., Guertler, Masing. Но Спрингъ употреблялъ колоссальныя давленія, minimum 500 klg. m/m^2 , въ нѣкоторыхъ же случаяхъ значительно большія. Въ нашемъ распоряженіи, къ сожалѣнію, нѣтъ подробнаго отчета о его работахъ, краткія же замѣтки въ курсахъ не даютъ описанія самыхъ опытовъ, вслѣдствіе чего остается загадкою вопросъ, какъ матеріалъ его приборовъ могъ выдержать такія громадныя напряженія.

Приборъ, сконструированный для опытовъ (вполнѣ сходный съ приборомъ Мазинга) и сдѣланный въ мастерскихъ Института изъ стали Белера, безусловно выдержать ихъ не могъ. Кромѣ того для работъ былъ предоставленъ только прессъ Амслера механической лабораторіи Института, дающій наибольшую нагрузку въ 60 tn.; во избѣжаніи порчи машины лабораторія рекомендуетъ не доводить нагрузку до maximum'a. Нагрузку производили до 55 tn. Чтобы получить на этомъ прессѣ давленіе въ 50 tn. на см^2 , пришлось бы сдѣлать діаметръ цилиндрика $\infty 35 \text{ м}/\text{м}^2$. Отсюда ясно, что пришлось прослѣдить вліяніе на порошкообразную смѣсь небольшихъ сравнительно давленій.

Первоначальный приборъ для производства опытовъ былъ сконструированъ въ такомъ видѣ (фиг. 56). Діаметръ цилиндрика, а значитъ



Фиг. 56.

²²⁾ Описаніе работъ Friedrich'a, Guertler'a и Masing'a помѣщены въ разныхъ книжкахъ „Извѣстій Русскаго Металлургическаго О-ва“ за 1910 г.

и пестика, $= 25^m/m$. Предполагая наибольшую нагрузку въ 55 tn., получимъ напряженіе на сжатіе пуансона

$$Kg = \frac{55000}{490} = 112 \text{ klgr. } m/m^2.$$

Приборъ былъ сдѣланъ изъ стали; незакаленный сначала пестикъ деформировался и послѣ работы вынимался съ трудомъ, вслѣдствіе чего пестикъ пришлось закалить и отшлифовать.

Необходимые металлы въ кускѣ истирались слесарной пилой и просѣивались черезъ сито; крупность зеренъ была $0,3^m/m$; волокна тонкія, но длинныя, попавшія черезъ сито, удалялись. Количество смѣси приготавливалось по емкости цилиндрика (60 – 65 gr.). Порошкообразная смѣсь тщательно перемѣшивалась, насыпалась въ приборъ и сдавливалась подъ прессомъ. Давленія получали съ промежутками въ 5—10 tn. отъ 30 до 55 tn. При окончаніи прессованія нагрузку выдерживали, и смѣсь оставалась подъ давленіемъ 5—10 мин. Такимъ образомъ приготовленный сплавъ распиливался пополамъ: одна половина шла на изготовленіе шлифа, другая истиралась снова пилой и сдавливалась вторично. Для этого повторнаго прессованія пришлось сдѣлать другой приборъ, ибо емкость прежняго была велика. Новый приборъ былъ копіей перваго; діам. его $= 15^m/m$. Наибольшая нагрузка была взята въ 30 tn. Напряженіе на сжатіе пестика было

$$Kg. = \frac{30000}{177} = 170 \text{ klgr. } m/m^2.$$

Первый цилиндрикъ деформировался при нагрузкѣ въ 28 tn. Пришлось изготовить новый и его закалить.

Полученные сплавы распиливались пополамъ: одна часть шла на изготовленіе шлифа, другая на опыты по опредѣленію температуры плавленія прессованныхъ сплавовъ.

Въ результатѣ опытовъ получили давленіемъ только мягкіе сплавы-бабиты слѣдующаго состава.

Группа 1:	Свинецъ	77,25 ⁰ / ₀ .	} Бабиты Русско-Балтійскаго завода въ Ригѣ.
	Сурьма	14 ⁰ / ₀ .	
	Олово	8,75 ⁰ / ₀ .	

Образецъ № 1, давленіе 15 tn.—34 kg. на m/m^2 .

"	"	2,	"	20	"	45	"	"	"	Фиг. 57, таб. X.
"	"	3,	"	30	"	61	"	"	"	
"	"	5,	"	39	"	80	"	"	"	
"	"	$1\frac{1}{2}$,	"	28	"	159	"	"	"	
"	"		"		"		"	"	"	

Образецъ № 1, давление 15 tn.—34 kg на m/m^2 .

"	"	$2/2$	"	15	"	85	"	"	"	
"	"	$3/2$	"	20	"	114	"	"	"	
"	"	$5/2$	"	25	"	142	"	"	"	Фиг. 58, таб. XI.
"	"	4,	"	30	"	170	"	"	"	Фиг. 59, таб. XI.

Группа 2. Олова 90%
 Сурьмы 8%
 Мѣди 2% } Британскій металлъ.

Образецъ № 6. 25 tn.—56 kg. m/m^2 ,

"	"	7.	30	"	61	"	"	
"	"	8.	35	"	79	"	"	Фиг. 60, таб. XI.
"	"	$6/2$.	15	"	85	"	"	
"	"	$7/2$.	20	"	114	"	"	Фиг. 61, таб. XI.
"	"	$8/2$.	25	"	142	"	"	
"	"	9.	30	"	170	"	"	

Образецъ сплавленъ въ печи (фиг. 62, таб. XI).

Группа 3. Свинецъ 60%
 Олово 20%
 Сурьма 20% } Сплавъ для подшипниковъ железнодорожныхъ вагоновъ.

Образецъ № 10, давление 30 tn 61 kg. m/m^2 .

"	"	11,	"	35	"	79	"	"	
"	"	12,	"	40	"	81,6	"	"	Фиг. 63, таб. XI.
"	"	$10/2$.	"	15	"	85	"	"	
"	"	$11/2$,	"	20	"	114	"	"	Фиг. 64, таб. XII.
"	"	$12/2$,	"	25	"	142	"	"	
"	"	13,	"	30	"	170	"	"	

Образецъ сплавленъ въ печи (фиг. 65, таб. XII).

Группа IV. Свинецъ 84%
 Сурьма 16% } Сплавъ для подшипниковъ медленно вращающихся валовъ.

Образецъ № 14, давл. 30 tn.—61 kg. m/m^2 ,

"	"	15,	"	35	"	79	"	"	
"	"	16,	"	45	"	92	"	"	Фиг. 66, таб. XII.
"	"	$14/2$,	"	15	"	85	"	"	
"	"	$15/2$,	"	20	"	114	"	"	Фиг. 67, таб. XII.
"	"	$16/2$,	"	25	"	142	"	"	
"	"	17,	"	30	"	170	"	"	Фиг. 68, таб. XII.

Образецъ сплавленный въ печи. — Фиг. 69, таб. XII.

Группа V. Свинецъ 78 ⁰ / ₀				Сплавъ „Магнолія“.
	Олово	16 ⁰ / ₀		
	Сурьма	6 ⁰ / ₀		

Образецъ № 18, давл. 40 tn. 81,6 kg. m/m².

„	„	19,	„	45	„	92	„	„
„	„	20,	„	55	„	112	„	„
„	„	18 ¹ / ₂ ,	„	15	„	85	„	„
„	„	19 ¹ / ₂ ,	„	20	„	114	„	„
„	„	20 ¹ / ₂ ,	„	25	„	142	„	„

Группа VI. Цинкъ 69 ⁰ / ₀				Сплавъ для вкладышей „Бабитъ“.
	Олово	19 ⁰ / ₀		
	Мѣдь	4 ⁰ / ₀		
	Сурьма	3 ⁰ / ₀		
	Свинецъ	5 ⁰ / ₀		

Образецъ № 21, давл. 30 tn. 61 kg. m/m².

„	„	22,	„	50	„	102	„	„
„	„	21 ¹ / ₂ ,	„	20	„	114	„	„
„	„	22 ¹ / ₂ ,	„	25	„	142	„	„

Образцы съ индексомъ $\frac{1}{2}$ явились результатомъ повторнаго прессованія, для чего ранѣе спрессованный матеріалъ отъ образца, номеръ котораго указанъ числителемъ, снова распиливался, сѣялся черезъ сито и снова прессовался. Больше двухъ повторныхъ прессованій провести не удалось, вслѣдствіе незначительной емкости взятой формы для прессованія, увеличеніе же емкости формы не допускалось размѣрами употребляемаго пресса. Отъ всѣхъ образцовъ были изготовлены шлифы и сфотографированы, но ниже въ текстѣ (ради экономіи) приведено только нѣсколько фотографій. Фиг. 57, 58 и 62 сняты при увеличеніи 300:1, а остальные при 140:1.

Прессованные образцы бабита группы I представляютъ на шлифахъ ясную картину механической смѣси (см. фиг. 57 таб. X, 58 и 59 таб. XI) и только при послѣднихъ стадіяхъ прессованія на полѣ шлифа есть небольшіе признаки выдѣленія кристаллическихъ формъ соединеній сурьмы.

Подобная же картина механической смѣси замѣтна и на прессованныхъ образцахъ британскаго металла (см. фиг. 60 и 61 таб. XI), и отчетливая ясность указанной картины особенно рельефно выступаетъ при сравненіи двухъ вышеуказанныхъ фотографій съ фиг. 62, таб. XI,

дающей общую картину структурнаго строенія того же британскаго металла, но изготовленнаго плавленіемъ. Вполнѣ отчетливая картина механической смѣси составляющихъ компонентовъ была обнаружена и для бабитовъ III группы (см. фиг. 63 таб. XI и 64 таб. XII), которые въ твердомъ состояніи послѣ плавленія (см. фиг. 65 таб. XII) имѣютъ структуру замѣтно отличную отъ двухъ вышеприведенныхъ (фиг. 63 и 64). Общая картина механической смѣси была обнаружена во всѣхъ прессованныхъ образцахъ остальныхъ группъ мягкихъ сплавовъ и даже свинцово—сурьмянистый бабитъ, строеніе котораго въ обычномъ видѣ представлено фиг. 69, таб. XII, въ прессованныхъ образцахъ представляетъ яркую картину механической смѣси (см. фиг. 66, 67 и 68 таб. XII).

Въ заключеніе разсмотрѣнія общей картины структурнаго строенія прессованныхъ сплавовъ необходимо добавить, что шлифы образцовъ послѣ повторнаго прессованія имѣли большую однородность въ строеніи и мѣстами обнаруживали признаки выдѣленія кристалловъ. Для сравненія въ однородности сплавовъ, обычнымъ способомъ полученныхъ плавленіемъ, съ сплавами, полученными прессованіемъ, были продолжаны небольшія опыты по сравненію температуры плавленія сплава.

Для чего брался небольшой цилиндръ каждаго сплава, помѣщался на вѣсу въ тигелькѣ криптолевой печи, но при этомъ пробный цилиндрикъ сплава вмѣстѣ съ мѣдными проволоками, на которыхъ онъ былъ подвѣшенъ въ тигелькѣ, соединялись въ общую цѣпь съ электрическимъ звонкомъ. Въ моментъ расплавленія цилиндрика изъ наблюдаемого сплава сѣтъ размыкалась, вслѣдствіе чего звонокъ прекращалъ издавать звуки. Въ тигелькѣ печи вмѣстѣ съ пробнымъ цилиндрикомъ помѣщался пирометръ, который такимъ образомъ давалъ показанія температуры во всякій моментъ опыта. Въ результатѣ послѣднихъ опытовъ было обнаружено слѣдующее: сплавленный бабитъ группы I имѣлъ температуру плавленія при 252°C , при чемъ температура плавленія его составляющихъ элементовъ такова: 232°C для олова, 316° для свинца и $630,5^{\circ}$ для сурьмы. Цилиндрикъ изъ прессованнаго образца $\frac{5}{2}$ того же бабита, помѣщенный въ цѣпь электрическаго звонка въ условіяхъ для вышеприведеннаго опыта, обнаружилъ признаки плавленія при 237°C , ибо при этой температурѣ звонокъ началъ звонить слабо и совсѣмъ прекратился при 275°C . Температура 237°C весьма близка къ ранѣе указанной температурѣ плавленія олова, а отсюда слѣдуетъ предположить, что при 237°C изъ прессованнаго наблюдаемаго цилиндрика выплавилось олово, но остался скелетъ изъ прессованныхъ свинца и сурьмы; оставшійся

скелетъ въ цилиндрикѣ весьма плохо проводилъ токъ, вслѣдствіе чего звонокъ очень слабо работалъ, а затѣмъ подѣ дѣйствіемъ высокой температуры скелетъ окислился и распался при 275°C , разорвавъ такимъ образомъ общую сѣть звонка. Остатки окислившагося цилиндрика были обнаружены на днѣ тигелька.

Нагрѣваніе цилиндриковъ изъ прессованныхъ образцовъ въ условіяхъ вполнѣ одинаковыхъ съ вышеизложеннымъ опытомъ были продолжаны для образцовъ остальныхъ группъ сплавовъ, испытанныхъ на прессованіе. Общіе результаты полученныхъ наблюденій вполнѣ напоминаютъ ранѣе описанную картину опыта для бабита группы I. Наблюдались только небольшія отклоненія въ температурѣ начала плавленія пробнаго цилиндрика.

Такимъ образомъ, послѣдніе опыты съ несомнѣнностью доказываютъ, что прессованные сплавы сильно разнятся отъ тѣхъ же сплавовъ, полученныхъ плавленіемъ, и представляютъ собою механическую смѣсь изъ составляющихъ ихъ компонентовъ, которые при нагрѣваніи прессованнаго образца плавятся независимо другъ отъ друга, начиная съ наиболее легкоплавнаго. Далѣе при послѣднихъ опытахъ съ прессованными цилиндриками одной группы сплава не было обнаружено общей температуры плавленія, что указываетъ на полное отсутствіе эвтектики у такихъ сплавовъ. Но ранѣе указанная общая картина структурныхъ измѣненій въ послѣдовательно прессованныхъ сплавахъ одного и того же состава съ несомнѣнностью обнаруживаетъ увеличеніе однородности прессованнаго сплава съ увеличеніемъ давленія, при чемъ однородность сплава возрастаетъ при употребленіи въ качествѣ матеріала для прессованія раздробленнаго образца того же сплава, изготовленнаго подѣ прессомъ.

Такимъ образомъ, резюмируя общіе выводы 'небольшихъ послѣднихъ опытовъ по изготовленію сплавовъ (бабитовъ) прессованіемъ, необходимо замѣтить, что возможно полученіе путемъ прессованія бабитовъ, довольно близко подходящихъ по своимъ свойствамъ къ бабитамъ, полученнымъ обычнымъ способомъ плавленія; для этого необходимо значительно увеличить давленіе прессованія, а затѣмъ производить многократныя прессованія съ предварительнымъ тщательнымъ дробленіемъ матеріала отъ предыдущаго опыта.

Томскъ,
28-го іюля 1913 г.

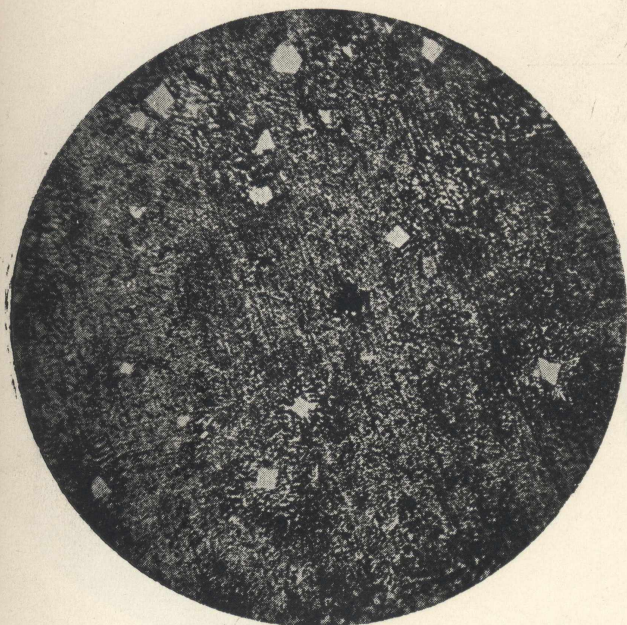
ЗАМѢЧЕННЫЯ ОПЕЧАТКИ.

Редакція проситъ при чтеніи статьи имѣть въ виду прилагаемый списокъ погрѣшностей, которыя по недоразумѣнію при печатаніи были пропущены въ началѣ статьи въ особенно большомъ числѣ.

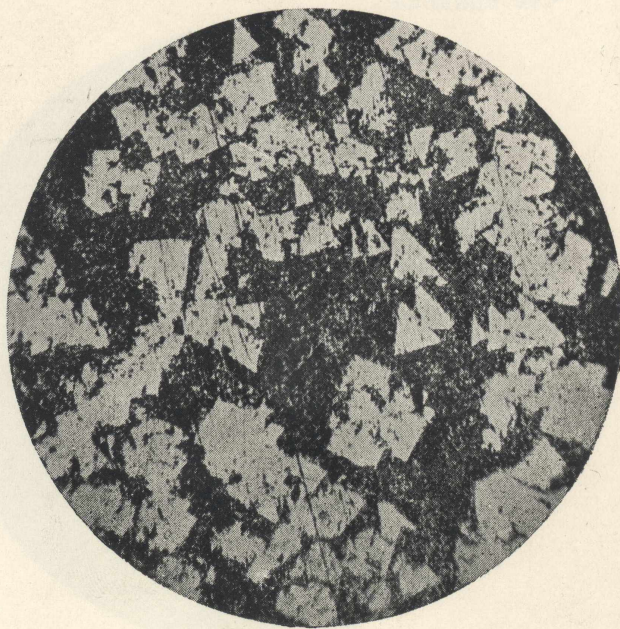
Стран.	Строка.	Напечатано.	Должно быть.
1	2	сверху иностроительный	ностроительный
—	9	„ охлаж-	охлажде-
—	10	„ деніи	ніи
2	15	„ абсцисъ	абсциссъ
3	18	„ Goutermam'a	Goutermann'a
—	20	„ затвердыванія	затвердѣванія
4	12	„ одѣланныхъ	сдѣланныхъ
—	14	„ Gontermann'a	Goutermann'a
—	12	снизу док-	до-
—	11	„ лада	клада
—	—	„ Guertler	Guertler
—	1	„ условно обез-	условное обо-
5	1	сверху печено	значение
—	3	„ наполь	нашелъ
—	16	снизу турьма	сурьма
—	15	„ послѣдо-	послѣдо-
—	9	„ наб-	на-
—	8	„ людадь	блюдадь
6	4	сверху діаг-	діа-
—	5	„ раммъ	граммъ.
7	7	„ погруженныя	погруженные
—	12	„ приз-	при-
—	13	„ наются	знаются
8	5	„ по даннымъ Mönken-	по даннымъ Mönkenmey-
		meyer'a и Arnemanne'a	er'a и Arnemann'a,
—	8	„ Arnemanu'a	Arnemann'a
—	10	„ дос-	достиг-
—	11	„ тигнетъ	нетъ
—	16	снизу соосвѣтствующей	соотвѣтствующей
—	4	„ процен-	процент-
—	3	„ тное	ное
9	12	сверху пинка	ципка

Стран.	Строка	Напечатано.	Должно быть.
11	9	„ Криста-	Кристал-
12	7	снизу Агнеману'а	Агнеманн'а
13	5	„ зат-	затвер-
14	4	„ вердѣванія	дѣванія
—	20	„ ного	наго
—	15	„ этой	это
—	11	„ нез-	незна-
—	10	„ начительная	чительная
—	6	„ кристалличес-	кристалличе-
—	5	„ кихъ	скихъ
15	6	„ оп-	опре-
—	5	„ редѣлены	дѣлены
16	22	сверху коэффиціѣтта	коэффициента
—	8	снизу наблюденія	наблюденіе
17	6	сверху ос-	осталь-
—	7	„ тальныхъ	ныхъ
—	10	„ иначе говоря	иначе говоря,
—	18	„ Балувевымъ	Балуевымъ
19	Табл. IV	цѣна по сѣмѣу	цѣна по обѣму
20	1	сверху замѣтитъ	замѣтитъ
—	таб. V 1	снизу Азіатткая	Азіатская
21	4	„ изобразенные	изображенные
22	2	сверху зат-	за-
—	3	„ вердѣванія	твердѣванія
—	2	снизу затвердѣваній	затвердѣваніи
23	6	сверху упрощенія, предположить	упрощенія предположить
—	21	снизу свинець пока	свинець, пока
24	3	сверху приб-	при-
—	4	„ лизится	близится
—	6	„ (Sn α) пока	(Sn α), пока
—	12	„ затвердѣванія	затвердѣваніе
26	8	снизу Gesellschaft	Gesellschaft
27	14	„ и чтобы	и, чтобы
28	3	сверху плавности	плавкости
—	16	снизу conts.	const.
29	5	сверху сплавовъ	сплавовъ
—	22	снизу застѣванія	застыванія
30	19	сверху сдинца	свинца
—	13	снизу сюрма	сурьма

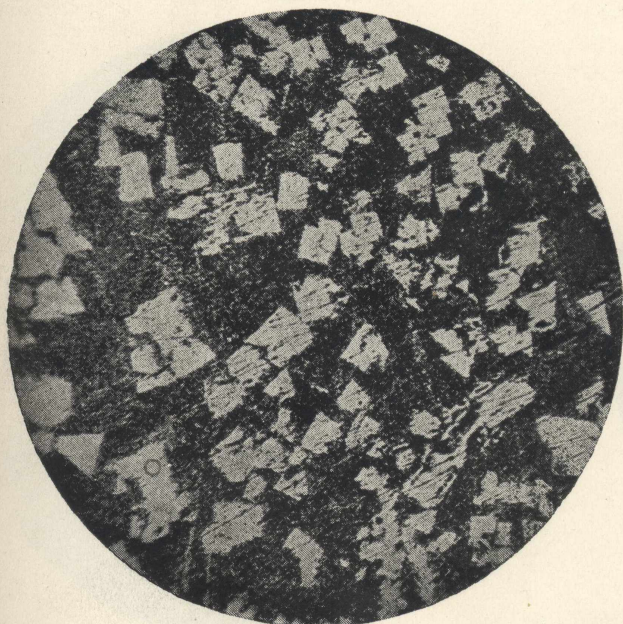
Стран.	Строка	Напечатано.	Должно быть.
30	10	„ сурьма	сурьма
31	14	„ Sn Sb,	Sn Sb
33	15	„ Gesellschaft	Gesellschaft
36	4	„ трп	три
—	1 снизу	тенпературъ	температуръ
37	15 сверху	темцературъ	температуръ
—	„	(см. фиг. 9-а табл. II)	(см. фиг. 9-а табл. III)
38	21 снизу	продолговзтыя	продолговатыя
—	10	„ илѣтся	имѣтся
—	7	„ и-та	И-та
40	5 сверху	нхъ	ихъ
43	7 снизу	паровозовъ	паровозовъ:
47	14 сверху	ростутъ	растутъ
—	22	„ цементирующей	цементирующей
—	25	„ сурьма	сурьмы
48	10	„ длиннхъ	длинныхъ
51	1 снизу	поверхностей.	поверхностей
52	16	„ тѣла,	тѣла
61	9 сверху	коркасомъ	каркасомъ
63	14	„ по	но
69	9 снизу	Sp	Cu
71	20 сверху	избѣжаніи	избѣжаніе
75	19	„ небольшія	небольшіе
76	18	„ легкоплавнаго	легкоплавкаго



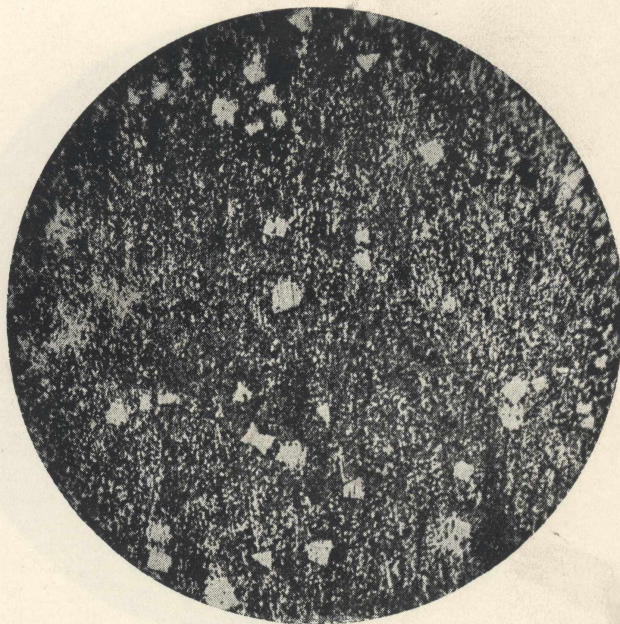
Фиг. 7. 100 : 1.



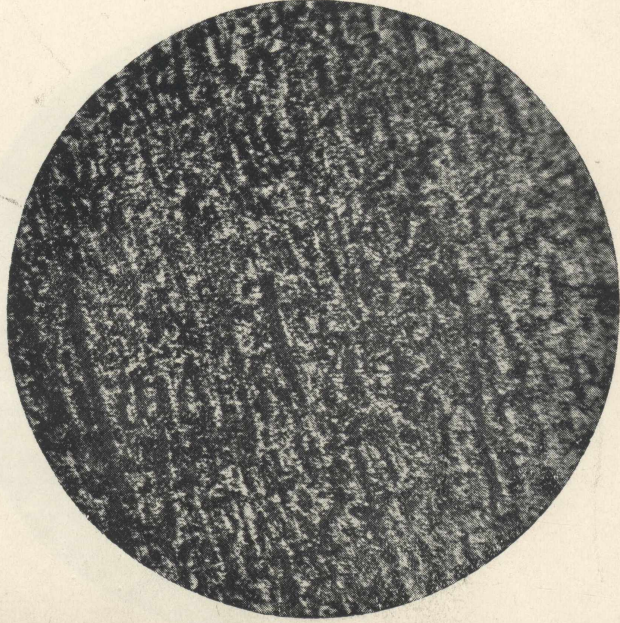
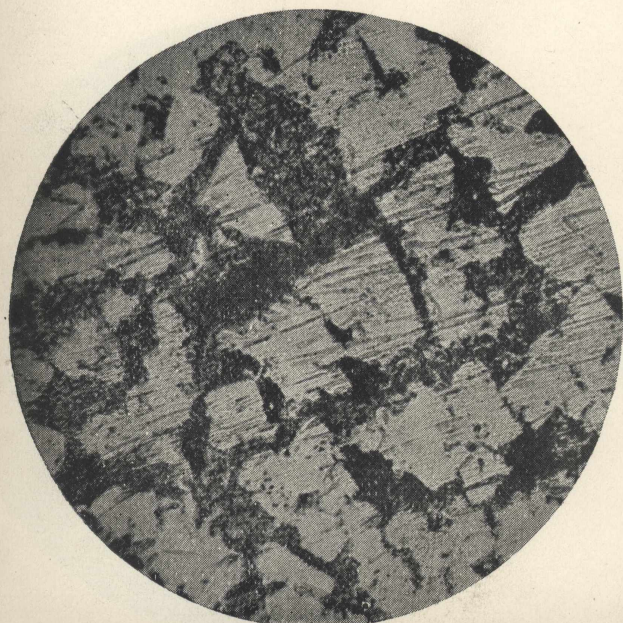
Фиг. 7-а. 100 : 1.



Фиг. 7-в. 100 : 1.



Фиг. 7-с. 100 : 1.



Фиг. 7-е. 100 : 1.



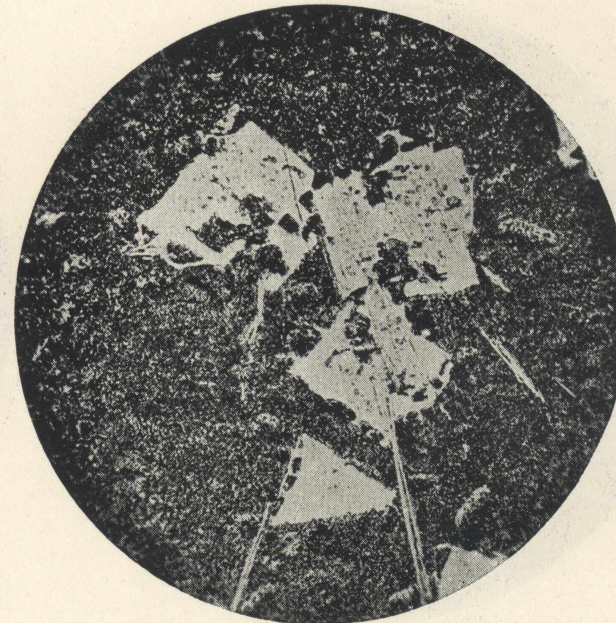
Фиг. 8-а. 100 : 1.



Фиг. 8-б. 100 : 1.



Фиг. 8-с. 100 : 1.



Фиг. 8-д. 100 : 1.

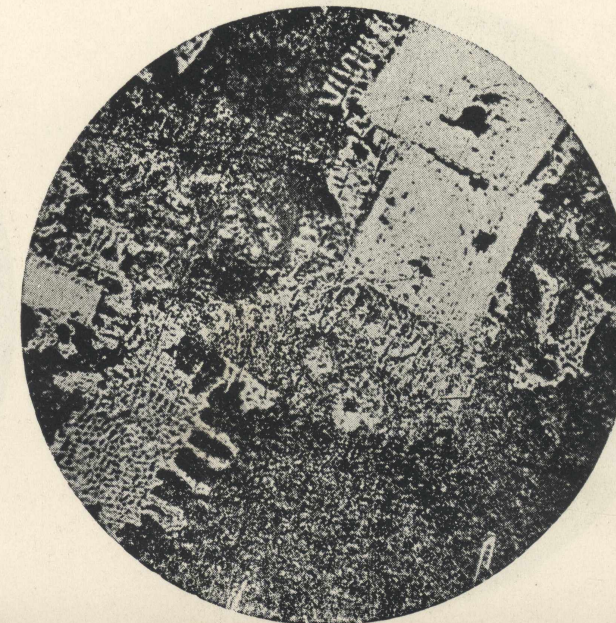
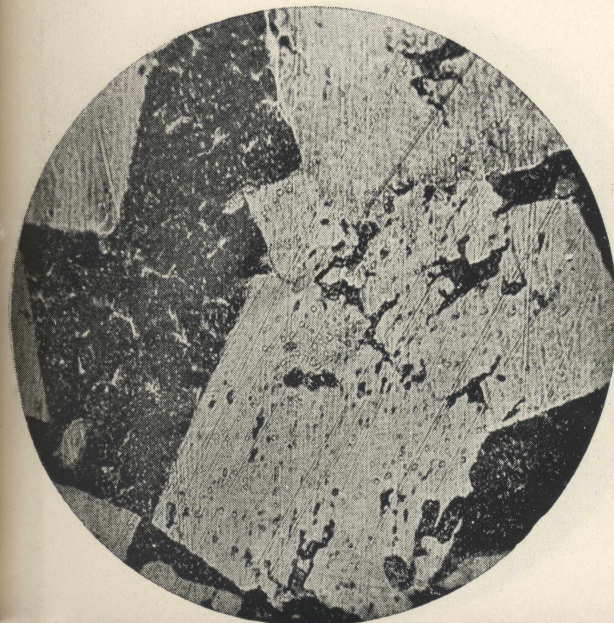
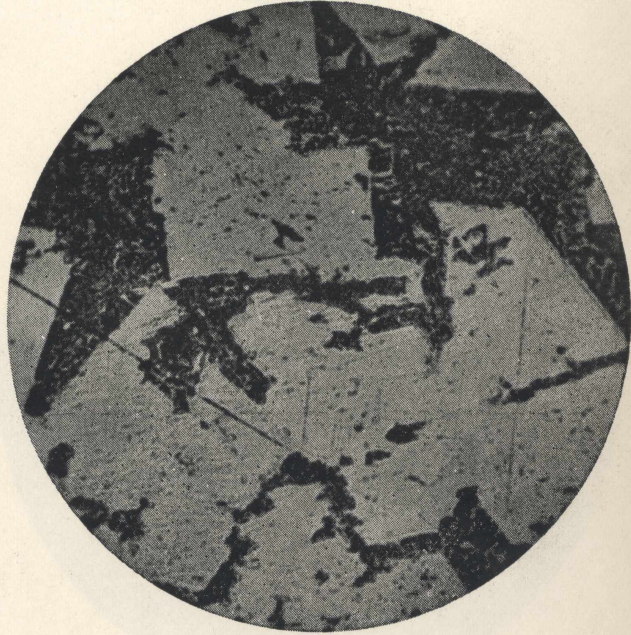




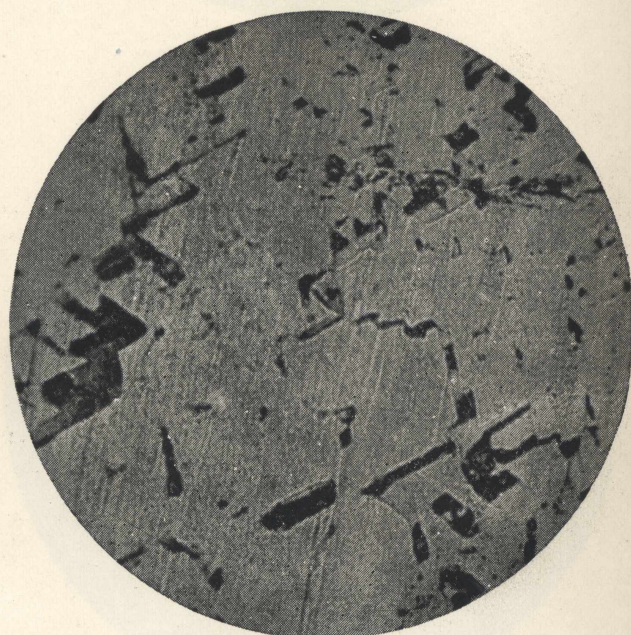
Таблица III.



Фиг. 9-а. 100 : 1.



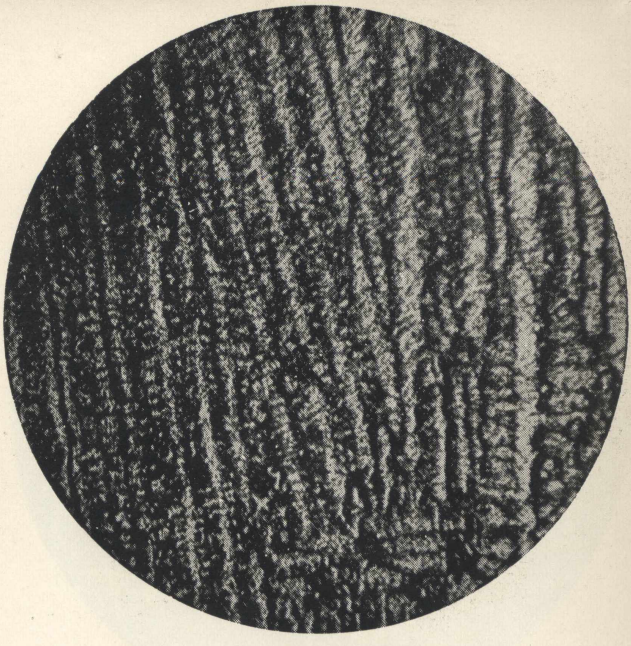
Фиг. 9-б. 100 : 1.



Фиг. 9-в. 100 : 1.

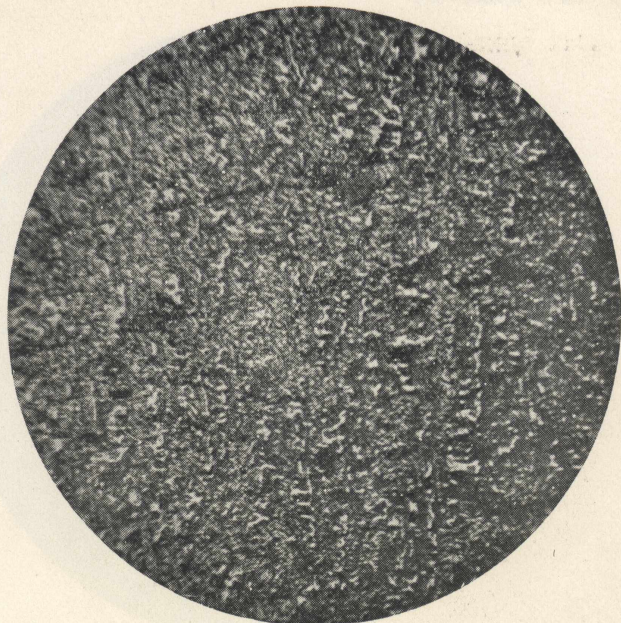


Фиг. 10. 100 : 1.

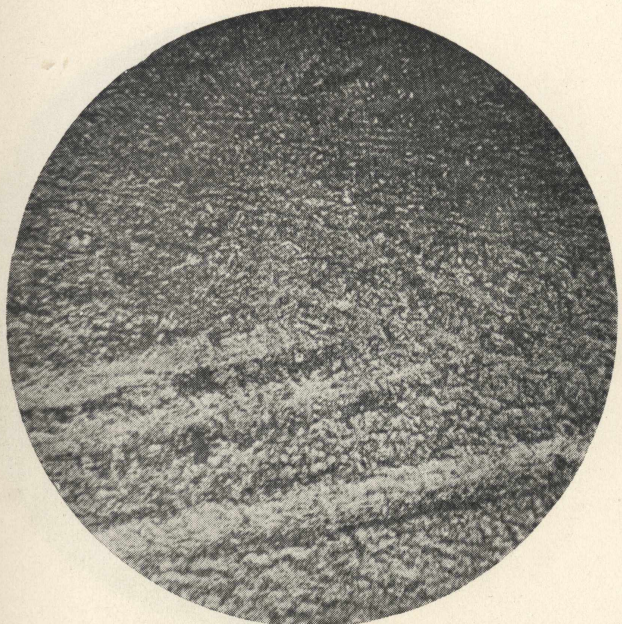




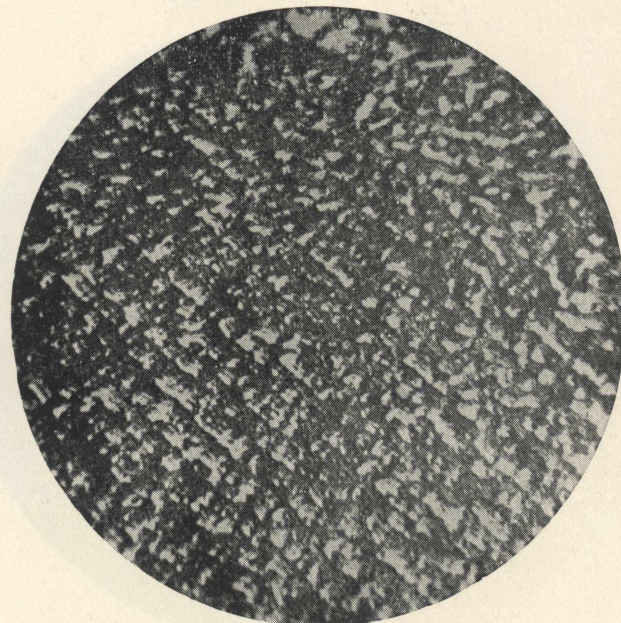
Фиг. 13. 100 : 1.



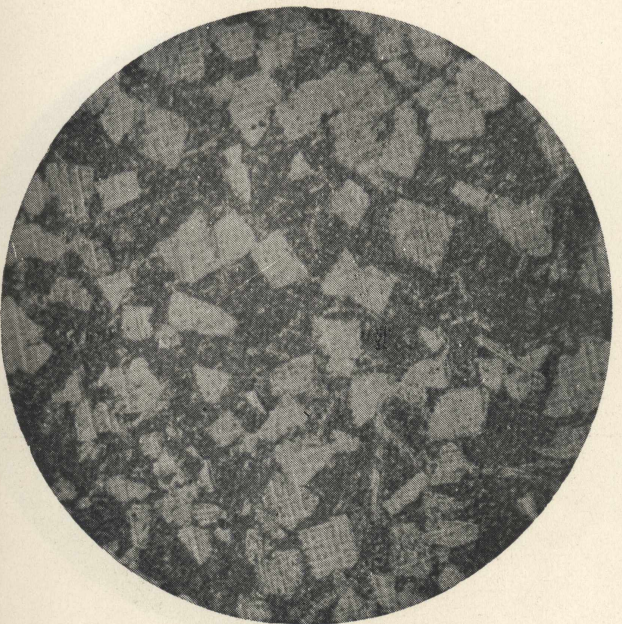
Фиг. 14. 100 : 1.



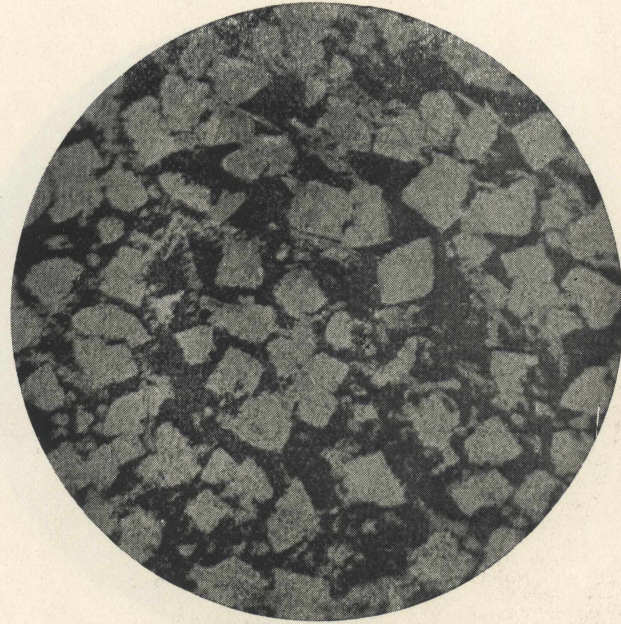
Фиг. 15. 100 : 1.



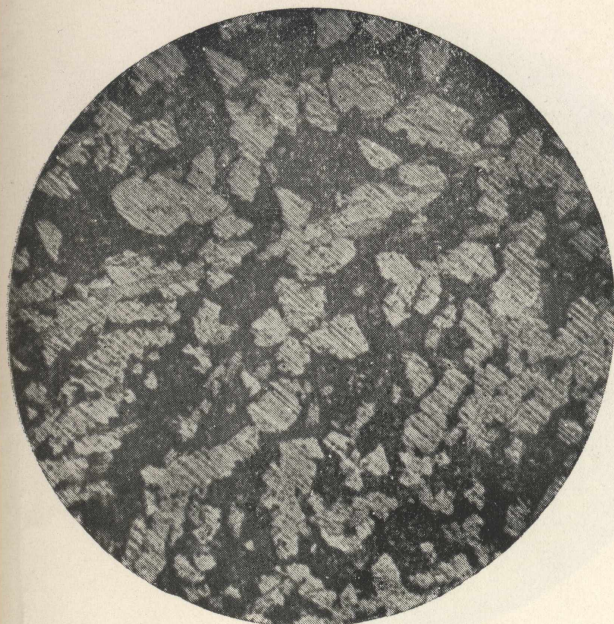
Фиг. 16. 100 : 1.



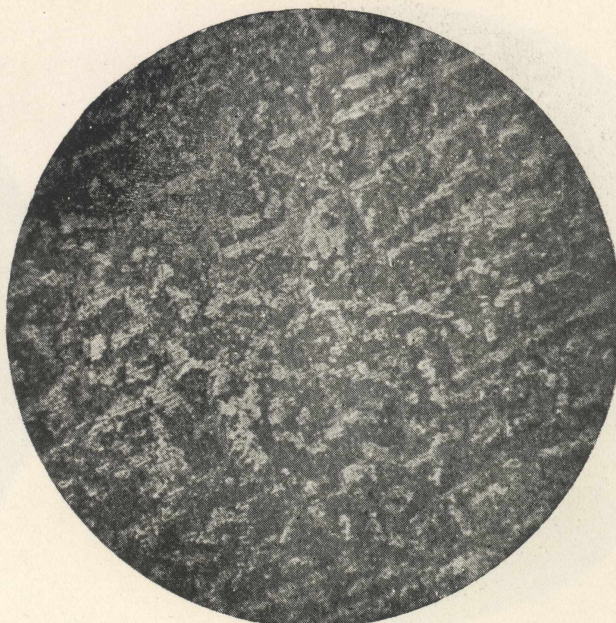
Фиг. 17. 100 : 1.



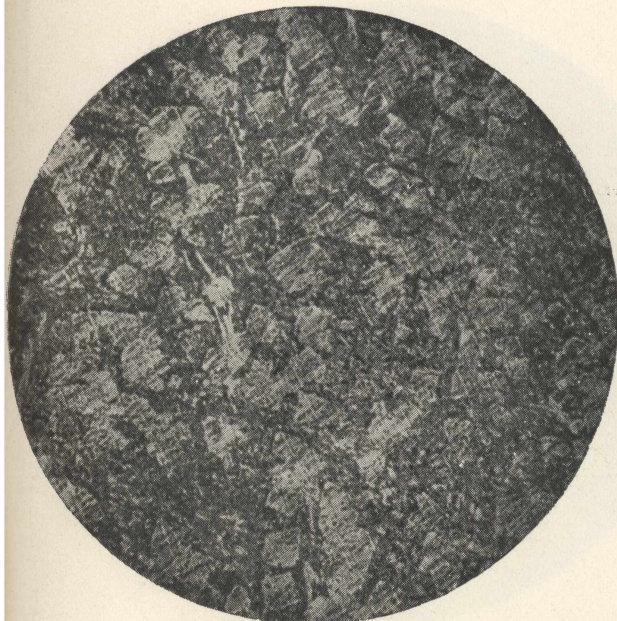
Фиг. 18. 100 : 1.



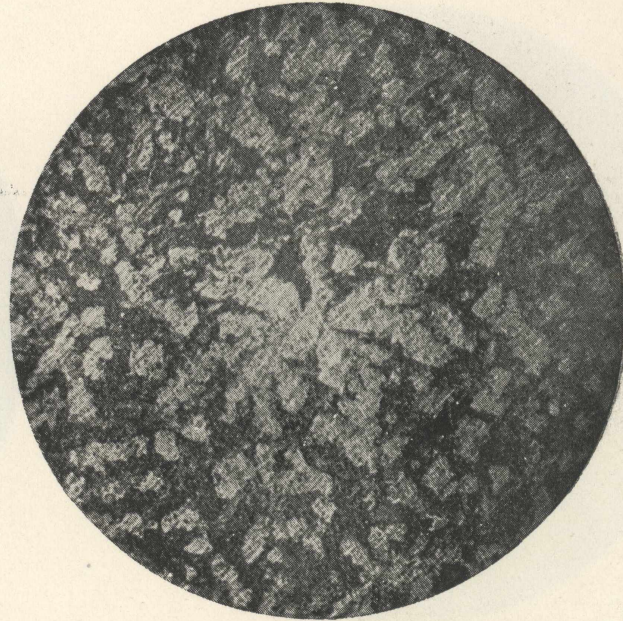
Фиг. 19. 100 : 1.



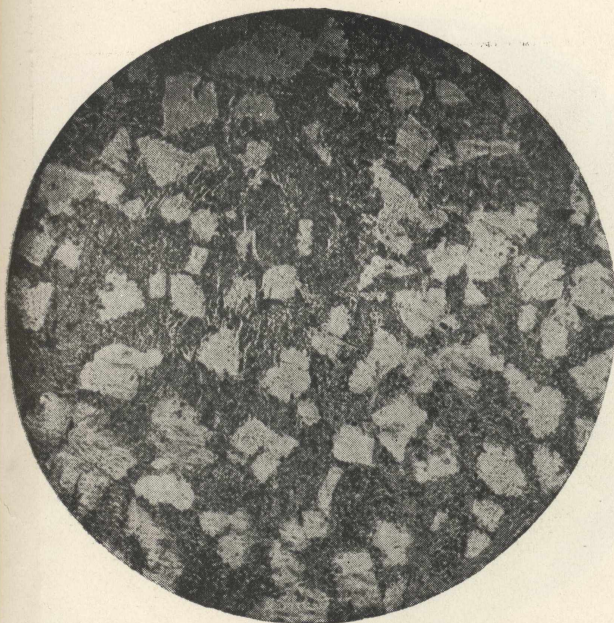
Фиг. 20 100 : 1.



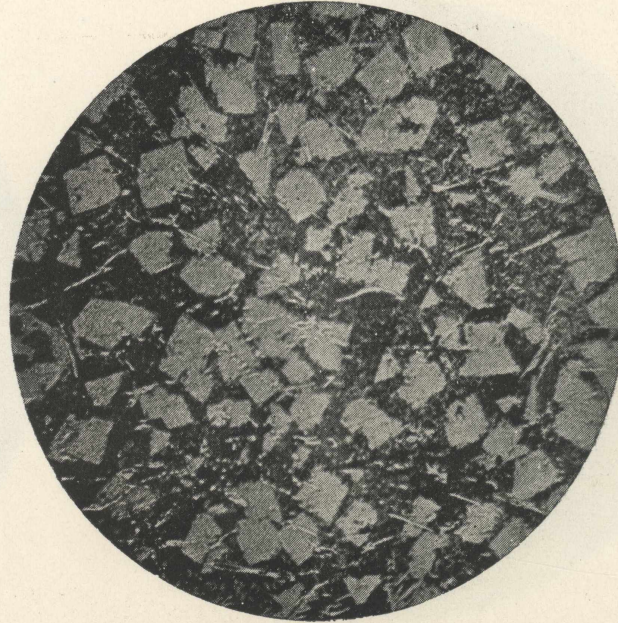
Фиг. 21. 100 : 1.



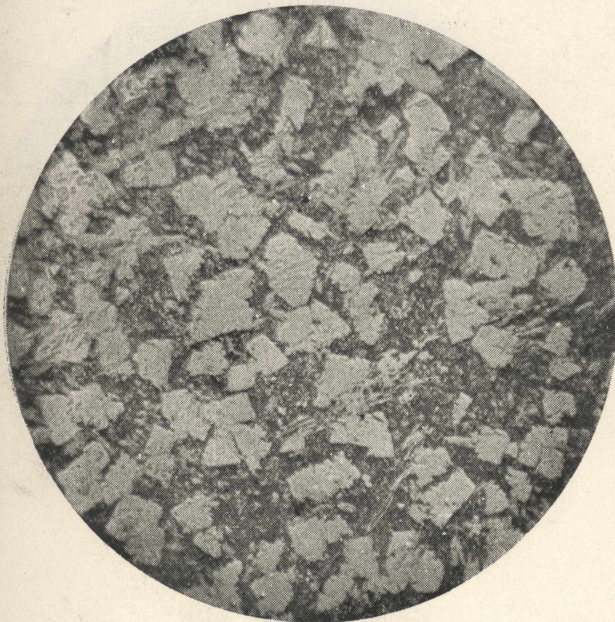
Фиг. 22. 100 : 1.



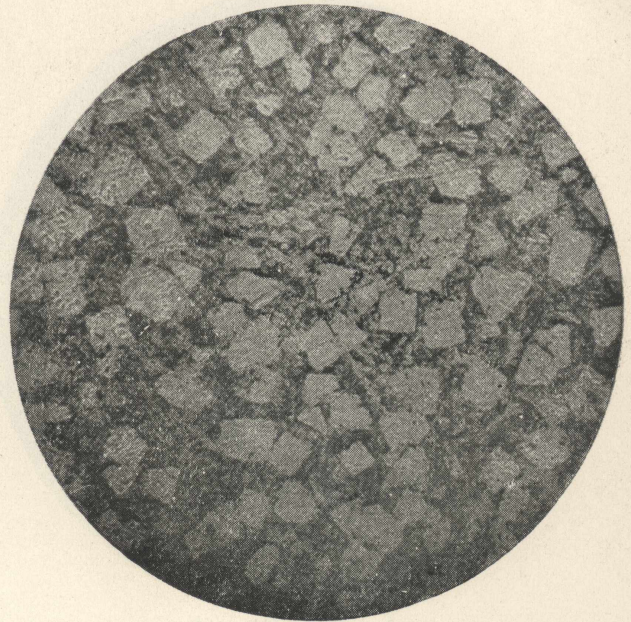
Фиг. 23. 100 : 1.



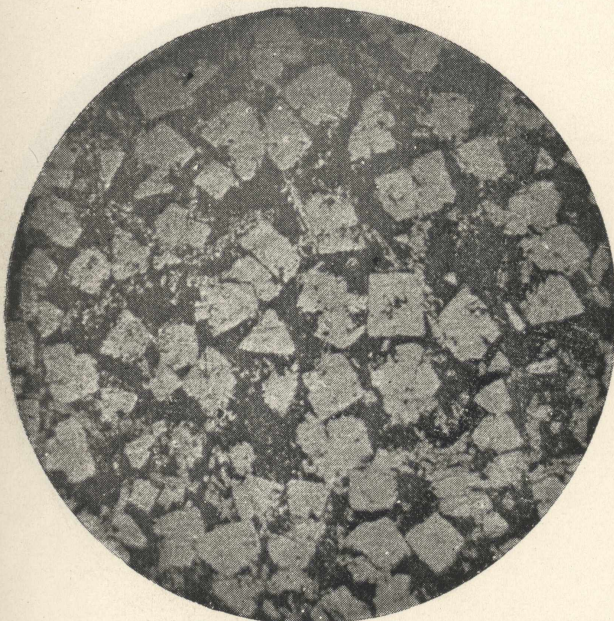
Фиг. 24. 100 : 1.



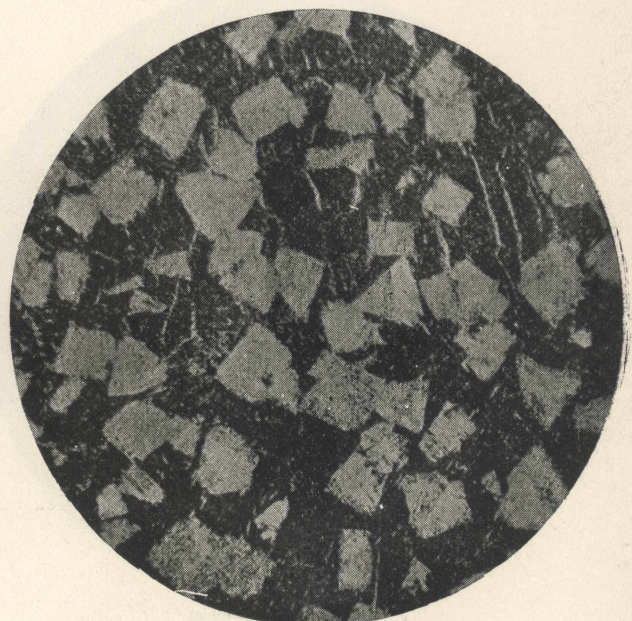
Фиг. 25. 100 : 1.



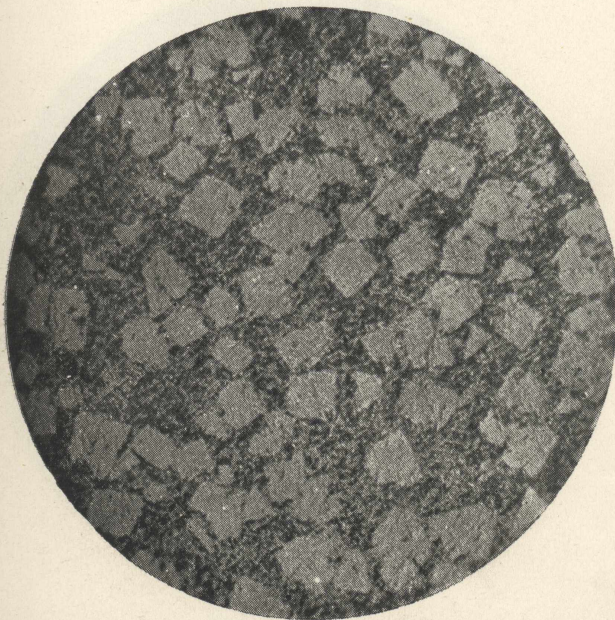
Фиг. 26. 100 : 1.



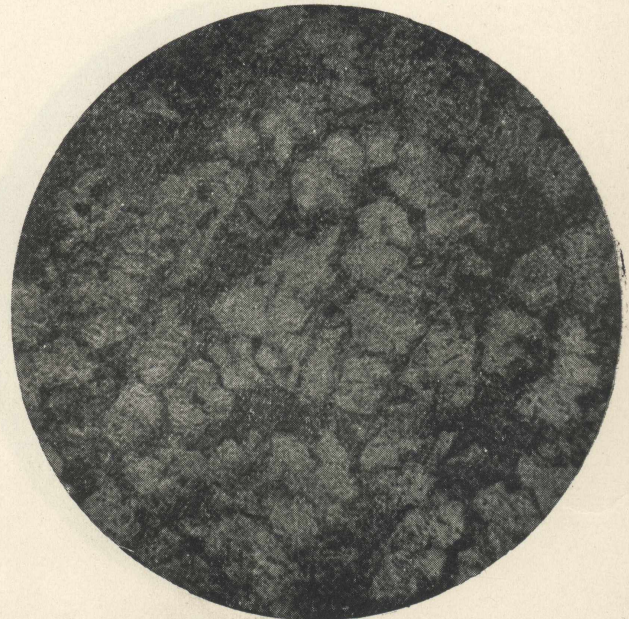
Фиг. 27. 100 : 1.



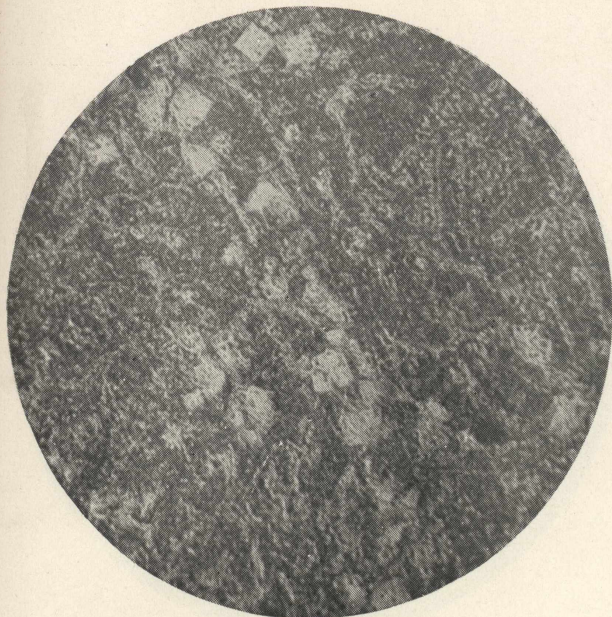
Фиг. 28. 100 : 1.



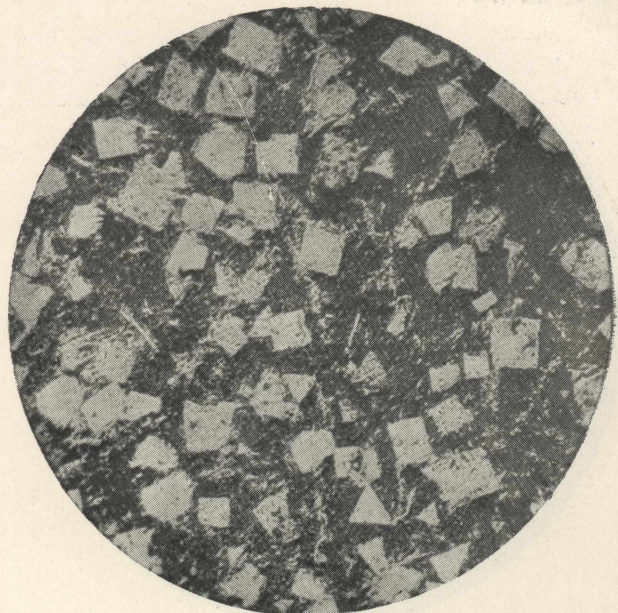
Фиг. 29. 100 : 1.



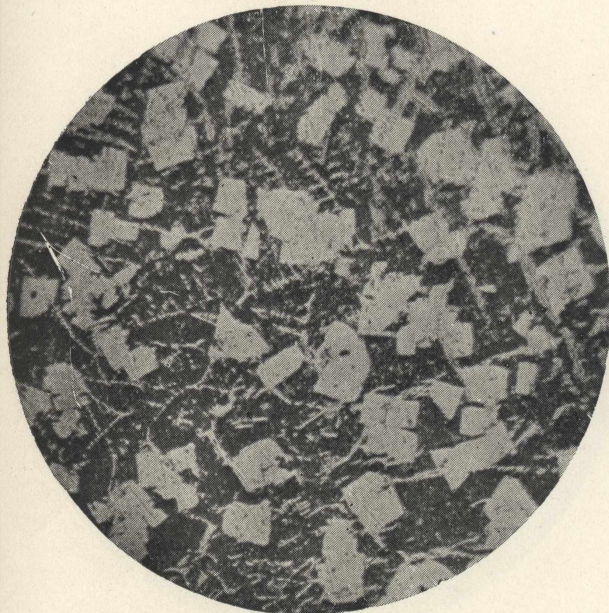
Фиг. 30. 100 : 1.



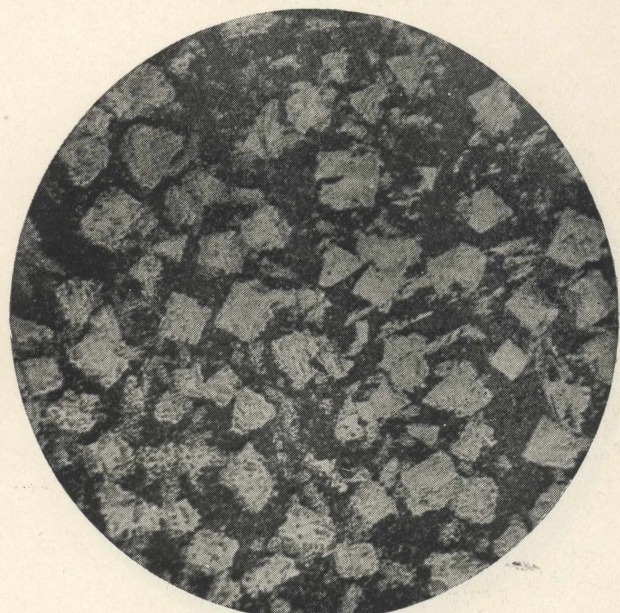
Фиг. 31. 100 : 1.



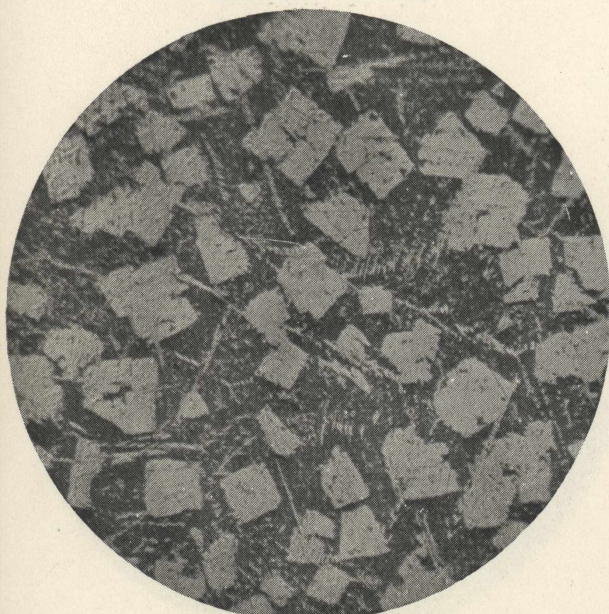
Фиг. 32. 100 : 1.



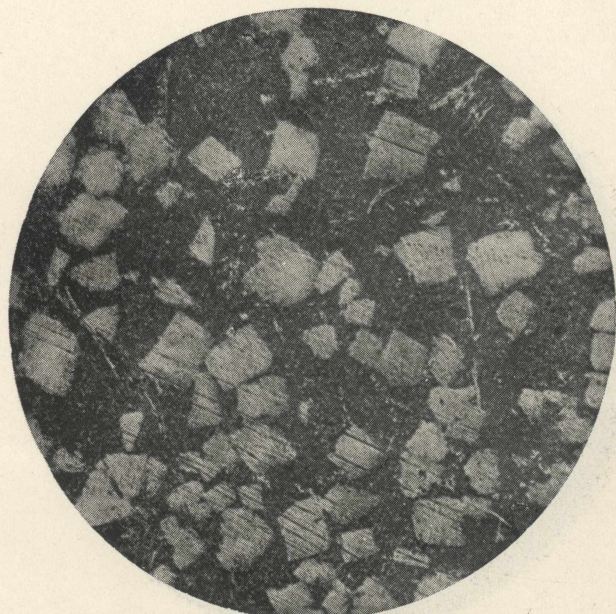
Фиг. 33. 100 : 1.



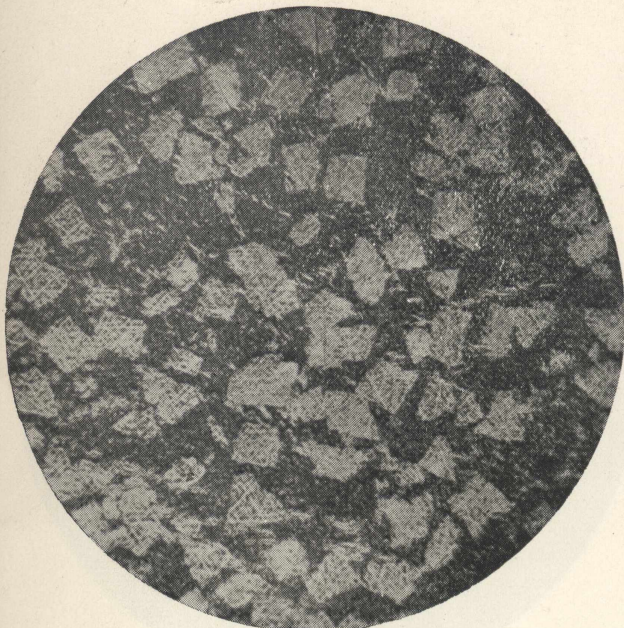
Фиг. 34. 100 : 1.



Фиг. 35. 100 : 1.



Фиг. 36. 100 : 1.



Фиг. 37 100 : 1.



Фиг. 40. 100 : 1.



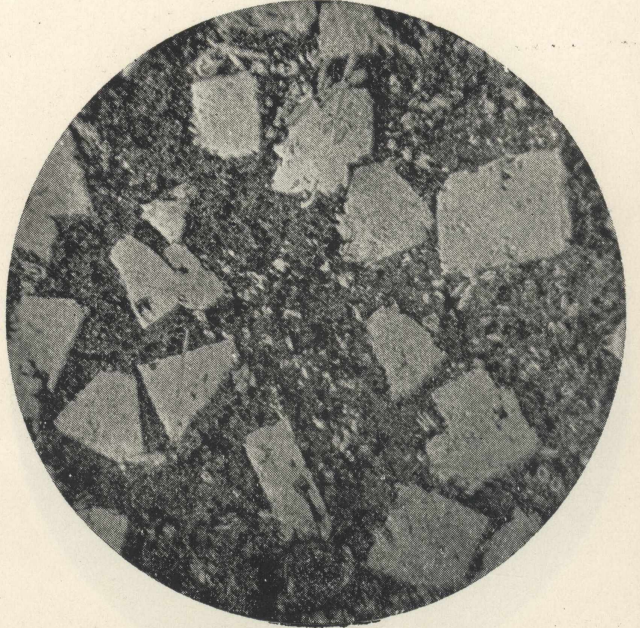
Фиг. 41. 100 : 1.



Фиг. 42. 100 : 1.



фиг. 43. 100 : 1.



Фиг. 44. 100 : 1.



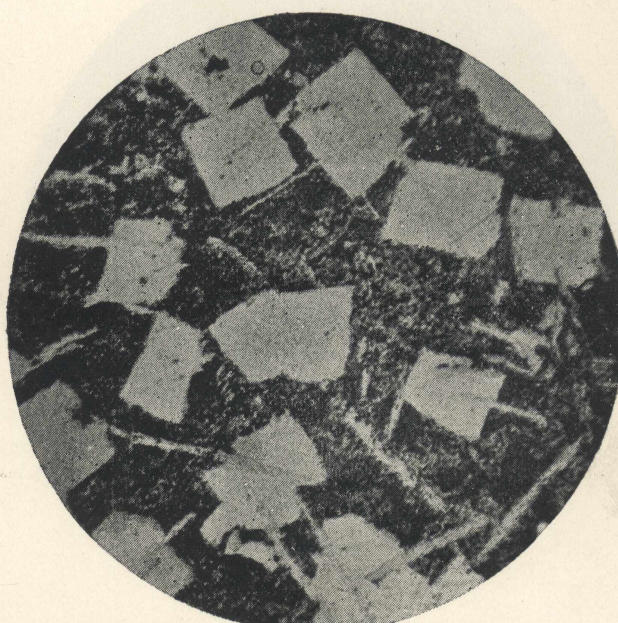
Фиг. 45. 100 : 1.



Фиг. 46. 100 : 1.

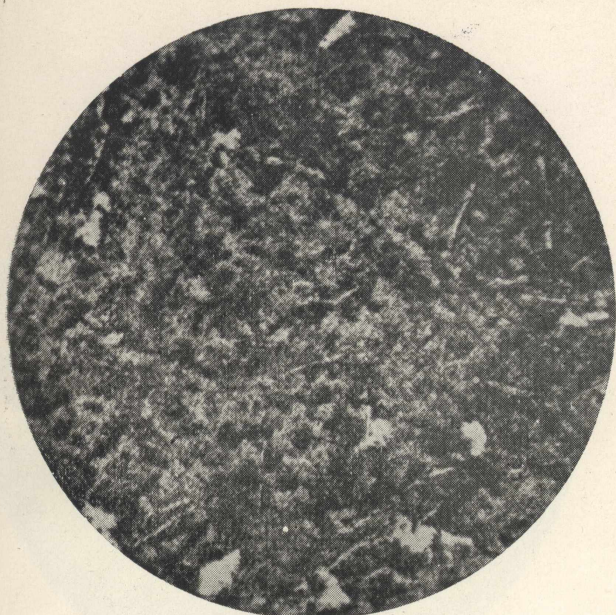


Фиг. 47. 100 : 1.



Фиг. 48. 100 : 1.





Фиг. 51. 100 : 1.



Фиг. 52. 100 : 1.



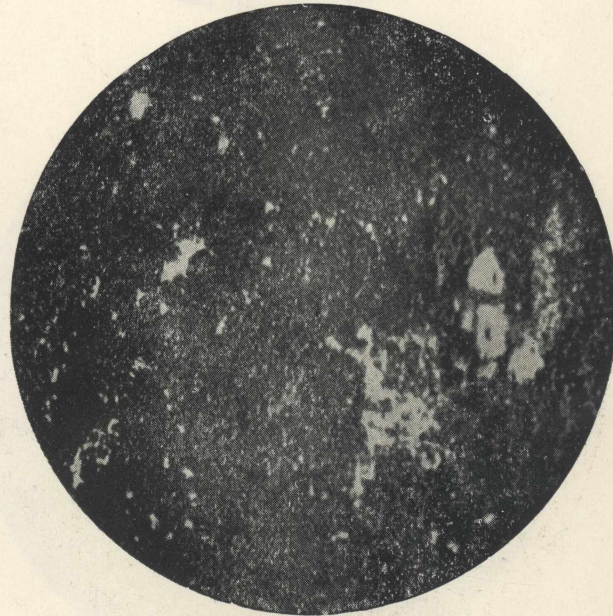
Фиг. 53. 100 : 1.



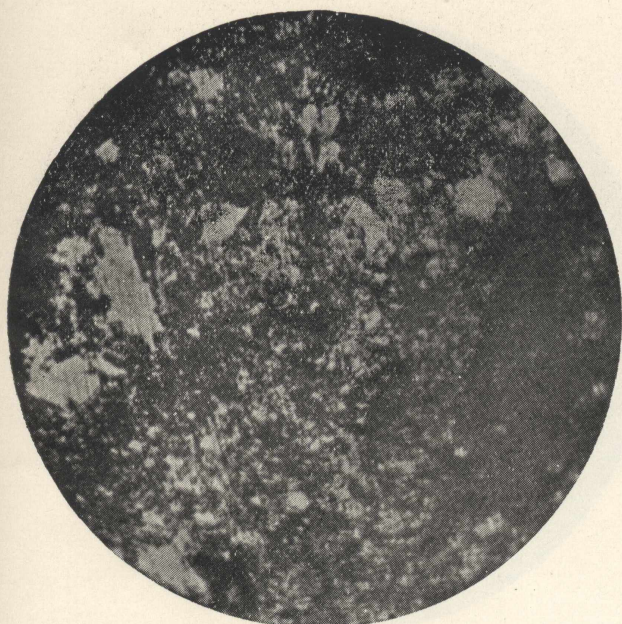
Фиг. 54. 100 : 1.



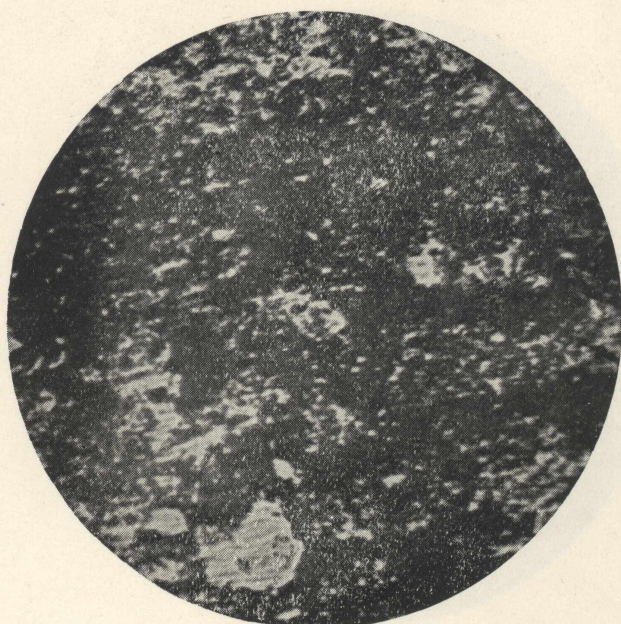
Фиг. 55. 100 : 1.



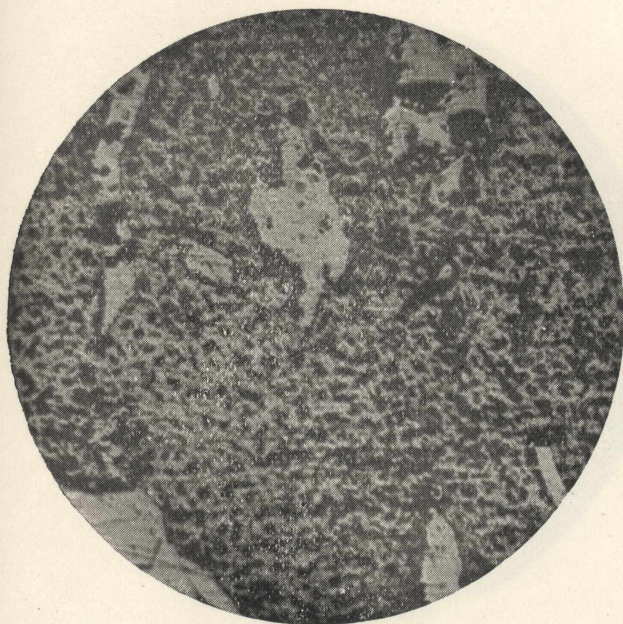
Фиг. 57. 300 : 1.



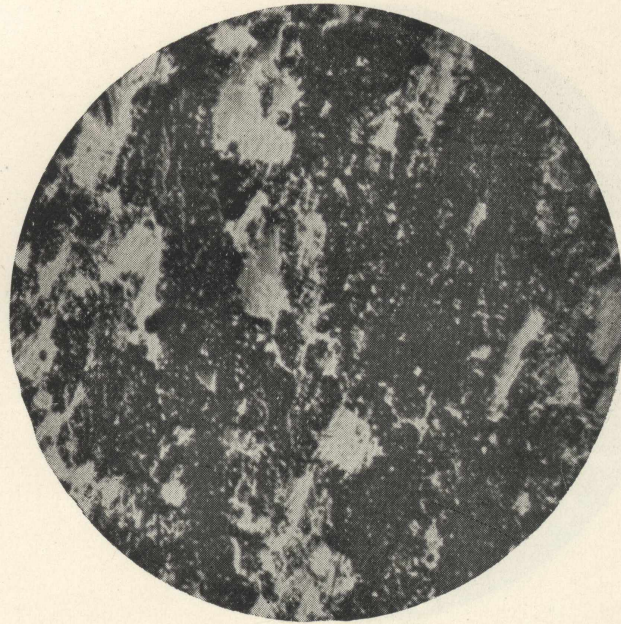
Фиг. 58. 300 : 1.



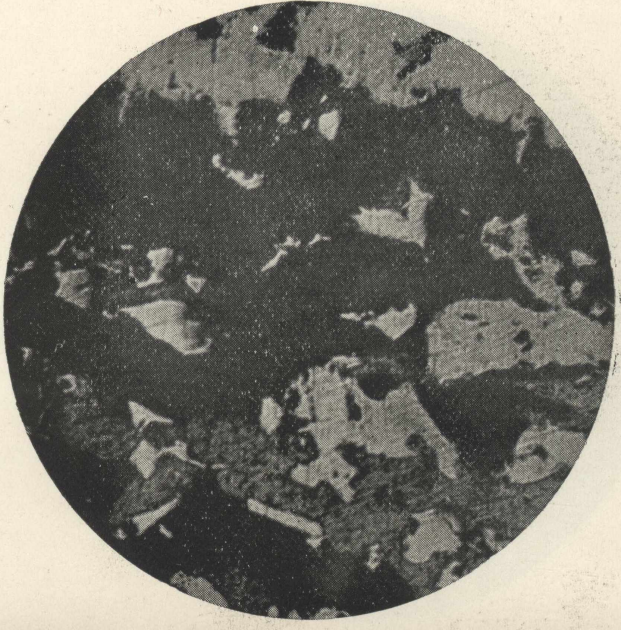
Фиг. 59. 140 : 1.

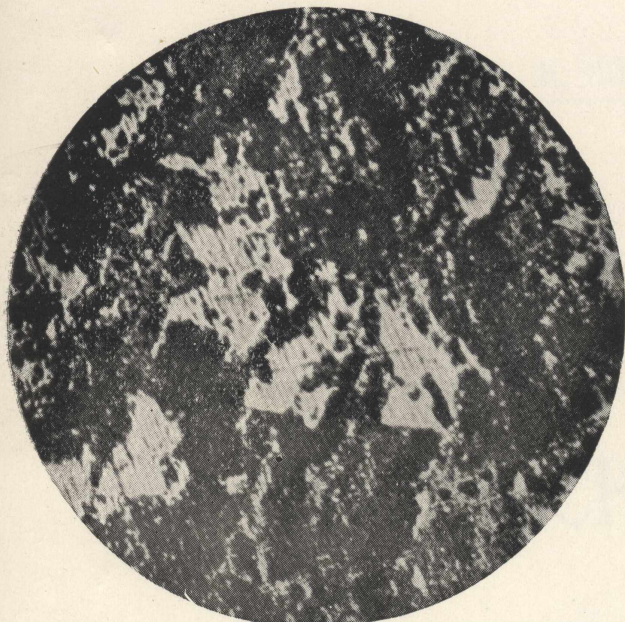


Фиг. 60. 140 : 1.

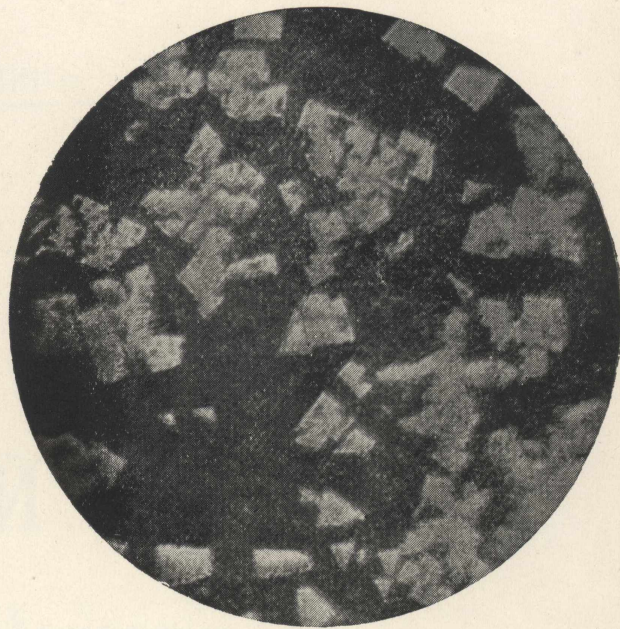


Фиг. 61. 140 : 1.





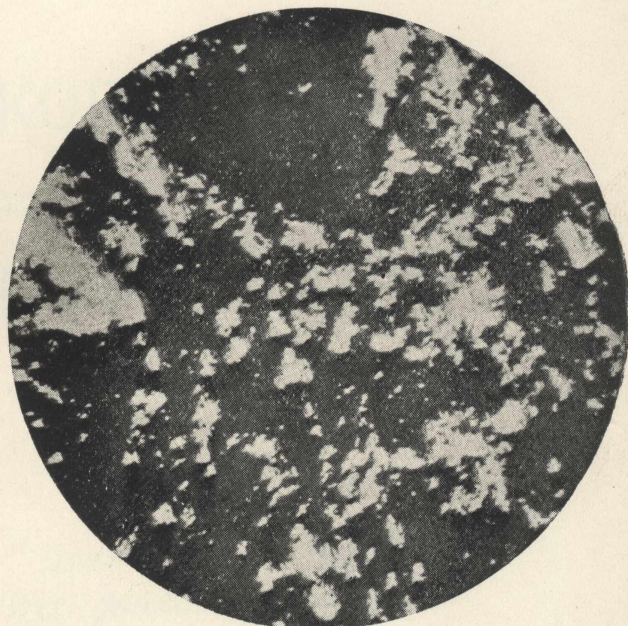
Фиг. 64. 140 : 1.



Фиг. 65. 140 : 1.



Фиг. 66. 140 : 1.



Фиг. 67. 140 : 1.

