Т. И. Тихоновъ.

50

ИЗМЪНЕНІЕ

СТРУКТУРЫ ЖЕЛЪЗА

ПРИ

МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКЪ.

~00

ТОМСКЪ.

Типо Литографія Сибирскаго Т--ва Печатнаго Дъла. Уг. Лворянской ул. и Ямского пер. соб. д

Отд. оттискъ изъ Извѣстій Томскаго Технологическаго Института Императора Николая II.

Введеніе.

.

Тъсная связь между механическими свойствами желъза и его структурою несомнѣнно существуеть и доказана цѣлымъ рядомъ механическихъ и металлографическихъ изслѣдованій позднѣйшаго періода времени въ области изученія свойствъ желѣза. Выясненіе картины тѣхъ измѣненій въ структурномъ строеніи желѣза, которыя происходять въ послёднемъ при цёломъ рядё механическихъ процессовъ обработки желѣза, — составляетъ главную задачу предлагаемаго очерка, но должень замѣтить, что основная задача этой работы далеко не исчерпана полно стью, нерѣдко и не по винѣ автора, но вслѣдствіе того, что мѣстныя условія далеко не благопріятствовали полнотѣ подобныхъ изслѣдованій. Частичныя предварительныя изслёдованія по указанному вопросу начаты были давно и иногда предлагались гг. студентамъ Института въ видѣ дипломныхъ работъ, но послѣднія работы всегда выполнялись при тъсномъ руководствъ и участіи автора предлагаемаго очерка. Все изложение затронутаго вопроса разбито на три главы, причемъ въ первой изъ нихъ разсмотрѣнъ вопросъ о кристаллическомъ строеніи углородистаго желѣза; во второй-о вліяніи нагрѣва на структуру углеродистаго желѣза и въ третьей-объ измѣненіи структуры желѣза при прокаткѣ, волочения, штампования, ковкѣ, рѣзания и продавливания.

Кристаллическое строеніе углеродистаго жельза.

Наблюдая различныя химическія соединенія желѣза, встрѣчающіяся на земной поверхности, мы неръдко встръчаемъ явно кристаллическия формы ихъ. Такъ, магнитный желѣзнякъ нерѣдко можно встрѣтить въ формѣ прекрасныхъ кристалловъ октаэдра. Фигура 1 табл. І изображаеть фотографію такого жельзняка изъ нашей находки по Уралу. Такіе же правильные октаэдры наблюдаемъ у хромистаго желѣзняка¹). По общему закону изотипіи, основныя кристаллическія формы, присущія чистому металлу, должны повторяться въ видъ таковыхъ же и у соединеній этого металла, но можно съ большою степенью вѣроятности и обратно заключить, что кристаллическія формы октаэдра должны повторяться и у чистаго желѣза. Начиная съ половины XVIII столѣтія, благодаря значительному интересу къ стали, было сдѣлано весьма много опытовъ съ цѣлью получить отчетливые кристаллы желѣза, и нерѣдко такія попытки оканчивались успѣхомъ. Такъ, въ 1900 году Осмондомъ были опубликованы работы металлурга XVШ вѣка Гриньона²), посвященныя кристаллизаціи чугуна, стали и шлаковъ. Описывая явленія кристаллизаціи, наблюдаемыя у чугуна, Гриньонъ говоритъ ³), что первымъ элементомъ кристаллизаціи является ромбъ, надъ которымъ поднимаются другіе составляющіе ромбы, образующіе, постепенно уменьшаясь, пирамиду съ ромбическимъ основаніемъ. По четыремъ сторонамъ этой главной и центральной пирамиды расположены, подъ прямымъ угломъ отъ основанія до вершины, другія пирамиды той же формы, уменьшающіяся по величинѣ въ зависимости отъ занимаемаго ими мѣста такимъ образомъ, что съчение составного кристалла является четырехугольной звъздой, а въ профиль онъ образуетъ деревца, похожля на маленькія елочки. Совершенно аналогичную кристаллизацію у углеродистаго желѣза наблюдали Мартенсъ и Кнопъ *) и нашъ всемірно извёстный профессоръ Дмитрій Константиновичь Черновъ. Фиг. 5 таб. И изображаетъ кристаллы профессора Чернова, полученные имъ изъ литника 100 t болванки мягкой стали. Отливка этой болванки была произведена въ металлическую изложницу, которая вся до верхней прибыли

⁴) Molekular constitution S. 68.

¹⁾ Опыты С. Merie. Браунсъ. Химія. Минералогія.

²) Sur la cristallographie du fer. Osmond. 1900 Paris.

³) Н. Бѣляевъ. Кристаллизація, структура и свойства стали. 1909 г. Стр. 9.

была защищена отъ быстраго охлажденія землей. Въ пустотѣ самой прибыли, вслъдствіе усадки металла и вслъдствіе весьма медленнаго остыванія самой болванки и были найдены вышеуказанные кристаллы стали. (Длина большого кристалла 39 ст. и въсъ 81/2 фунтовъ. Въ данное время этотъ кристаллъ переданъ въ распоряжение Морской Артиллерійской Академіи). Разсматриваемый кристаллъ двойной, одинъ кристаллъ больше другого, одному кристаллу общія условія образованія его больше благопріятствовали росту нежели другому сосъду. Разсматривая этоть кристалль, мы ясно зам'вчаемь, что основная форма октаэдра явно преобладаетъ въ его строеніи, но общее расположеніе этихъ кристалловъ вполнѣ напоминаетъ ту елочку, о которой раныше говорилъ Гриньонъ. Совершенно аналогичные кристаллы октаэдры, но значительно меньшихъ размѣровъ, удавалось наблюдать при спокойномъ, но весьма медленномъ охлажденіи чугуна и стали изслёдователямъ Бергману⁵), Берцеліусу⁶), Фарадэю⁶) и др. Кристаллы желѣза въ формѣ октаэдра при весьма медленномъ и спокойномъ охлаждении наблюдались Барделеемъ⁷) и Перси⁶).

Такимъ образомъ на основании всего предыдущаго можно утверж дать, что форма кристалла октаэдра вполнъ присуща углеродистому желѣзу при весьма спокойномъ и медленномъ охлажденіи, когда обра зование этого кристалла свободно, но интересно прослъдить измънение этой основной кристаллизаціи жел'ёза, когда кристаллъ при своемъ образования встр'вчаетъ препятствія въ виді давленія на свою поверхность со стороны той среды, за счетъ которой онъ образуется. Первымъ условіемъ начала образованія кристалла изъ раствора, каковымъ въ данное время разсматривается всякій сплавъ, является условіе пересыщонія раствора при стѣсненной кристаллизаціи. Съ момента начала образованія кристалла послёдній испытываеть давленіе той среды, за счеть которой онъ образуется. Это давление пропорціонально поверхности кристалла и, очевидно, оно будетъ наименьшимъ на болѣе заостренныхъ конусахъ кристалла, т. е. на концахъ его кристаллическихъ осей. Слъдовательно, съ момента начала кристаллизаціи послъдняя наиболье интенсивно начнетъ распространяться по линіямъ наименьшаго сопротивленія и даеть рядь осей кристаллизаціи. По м'вр'в выділенія кристалловъ, освобождается теплота кристаллизаціи, которая повышаетъ температуру той среды, черезъ которую проходитъ главная ось кристаллизацій. Если металлъ обладаетъ слабой теплопроводностью или искусственно такъ обставленъ, что весьма медленно теряетъ тепло, и около главныхъ осей кристаллизаціи происходятъ конвекціонные токи въ самомъ веществъ, за счетъ котораго образуются кристаллы, — то въ благо-

⁵) Osmond. Sur la cristallographie du fer p. 18.

⁶) Dr. J. Percy. Traité complet de Metallurgie traduit par Petigrand et Ronne. Paris. 1865. t. II. p. 4, 5.

⁷⁾ Cristallographie du fer p. 18. До 1/2 дм. въ діаметрѣ.

Измънение структуры желъза при механической обработкъ.

5

T. M. Taxonores

пріятныхъ мѣстахъ для кристаллизаціи начинаютъ появляться вторич. ныя оси кристаллизаціи въ направленіяхъ перпендикулярныхъ къ пер вымъ основнымъ осямъ. Затёмъ, при условіяхъ совершенно аналогичныхъ и вполнѣ благопріятствующихъ образованію вторыхъ осей кристаллизаціи, могуть образоваться и оси 3-й кристаллизаціи. перпендикулярныя къ 2-мъ и т. д. Такимъ образомъ мы получаемъ весьма сложную систему осей кристаллизаціи. Углеродистое желѣзо не однородно по составу, и эта неоднородность по составу еще болье обнаруживается въ моментъ застыванія металла, т. е. въ моментъ образованія кристаллизаціи. Мѣстами указанныя оси кристаллизаціи проходять черезь фокусы (точки) жидкаго металла, которые обильно дають матеріаль для образованія кристалловъ, происходить рость, утолщеніе осей кристаллизаціи, вслѣдствіе чего и форма кристаллизаціи не ровная, а съ рѣзкими измѣненіями въ сѣченіяхъ,-получается так. наз. прерывчатая кристаллизація. Теплота кристаллизаціи металловъ вообще, а въ частности и для желѣза по даннымъ Витторфа⁸) весьма значительна, но углеродистое желѣзо обладаеть и значительной теплопроводностью, слѣдовательно, эта теплота можетъ легко теряться и слабо способствовать кристаллизаціи; но всл'ядствіе того, что углеродистое жел'язо на однородно, теплота при охлаждении излучается (теряется) не равномѣрно, въ массѣ охлаждающагося металла появляются фокусы съ по вышенной температурой (противъ средней) и въ этихъ мѣстахъ, проходящая ось кристаллизаціи, при условіи наличности веществъ, за счеть которыхъ происходить образование кристалловъ, должна получить

прирость, утолщеніе въ сѣченіи, т. е. опять имѣются условія для полученія прерывчатой кристаллизаціи. По отношенію къ углеродистому желѣзу цѣлый рядъ наблюденй надъ развитіемъ и ростомъ кристалловъ при условіи существованія давленія на кристаллы со стороны той среды, изъ которой образуются эти кристаллы, привели профессора Чернова къ такого рода выводамъ⁹).

"Разсматривая подъ микроскопомъ отдѣльные кристаллы, мы вилимъ, что они принадлежатъ къ разрывнымъ кристалламъ съ наибольшимъ развитіемъ ростковъ по направленію октаэдрическихъ осей, причемъ одна изъ нихъ, по направленію главнаго роста кристалла, всегда оказывается длиннѣе двухъ другихъ, такъ что каждый разрывной кристаллъ представляется въ видѣ скелета, вытянутаго квадратнаго октаэдра. Кромѣ ростковъ по направленію октаэдрическихъ осей, или ростковъ перваго порядка, по мѣрѣ удаленія отъ вершины къ его основанію, мы встрѣчаемъ, сначала въ зачаткахъ, а потомъ все болѣе и болѣэ развитые ростки второго, третьяго и т. д. порядковъ, которые иногда образуютъ буквально сѣтчатыя стропила октаэдрическаго кристалла".

⁸) Теорія силавовъ. Стр 332.

⁹) Статьи Чернова въ запискахъ И. Р. Т. О. за 1868-69 г.

Изь предыдущаго не трудно уловить, что главнымъ условіемъ полученія кристаллическихъ формъ углеродистаго желѣза является медленность и равномѣрность охлажденія металла, и только при такихъ ословіяхъ вышеприведеннымъ лицамъ удалось наблюдать явно кристаллическія формы у углеродистаго желѣза. Съ цѣлью получить явно кристаллическія формы у углеродистаго жевъза въ недавнее время на Путиловскомъ заводѣ¹⁰) по указаніямъ проф. Чернова были произведены опыты. Бралась для опытовъ шихта мелкаго желѣза и графитъ, помѣщалась въ тигли, плавилась и послѣ нагріѣвалась еще въ теченіе болѣе двухъ часовъ. Замъмъ закрывались тигли, горнъ замазывался, и сплавъ медленно охлаждался въ тиглѣ вмѣстѣ съ печью. (Время охлажденія сплава достигало 60 часовъ).

Желѣзо для указанныхъ цѣлей бралось слѣдующаго химическаго состава:

арусирийк. (высочируринаниенс) арусирийскасобинатиринаниенсь»	С,	Si	Mn	Ph	S
Демидовское желѣзо	0,10	0,14	0,22	0,043	0,019
Мартеновское	0,12		0,39	0,007	0,012

.№.№ брусковъ.	С.	Si	Mn	Fh	• S	Ролъ плавки.
1	1,80	0,30	0,15	0,026	0,022	Шамотные тигли.
2	2,30	0,40	0,25	Слѣды.	0,024	Bure the Math Carlos of
3	3,88	0,70	0,17	0,028	0,095	Графитовые тигли.
4	3,89	0,64	0,31	0,27	0,050	angoat som to Hundrak
5	0,62	0,51	0,14	0,024	0,019	Шамотные тигли.
6	0,60	0,48	0,10	0,026	0,026	Carnenomia anoi privi

Изъ указаннаго желѣза въ смѣшеніи съ графитомъ послѣ плавки былъ полученъ слѣдующій различный матеріалъ углеродистаго желѣза.

Такимъ образомъ, изъ вышеприведенной таблицы анализовъ металла ясно видно, что углеродистое желѣзо при опытахъ было весьма разнообразно по химическому составу,—отъ состава чугуновъ до средней стали по твердости включительно. Въ шамотныхъ тигляхъ при плавкѣ преизошло обогащеніе металла кремніемъ за счетъ стѣнокъ тигля. Такъ какъ условія производства послѣднихъ опытовъ весьма хорошо благопріятствовали образованію кристаллизаціи углеродистаго желѣза, то въ результатѣ въ изломахъ данныхъ сплавовъ удалось замѣтитъ явные слѣды октаэдрической кристаллизаціи желѣза. Фиг. 2 таб. І. представляетъ наружную корку сплава № 2. На этомъ изломѣ мы видимъ явную

10) Бъляевъ. Кристаллизанія, структура и свойства стали. Стр. 1. 1909.

картину первичной кристаллизаціи, имѣется рядъ кристаллическихъ осей, постепенно растущихъ отъ периферіи къ центру; эти основныя оси имѣютъ оси 2 и 3-го порядка и вмѣстѣ въ совокупности даютъ явную картину прерывчатыхъ кристалловъ. Ранѣе было указано, что на осяхъ кристаллизаціи ростъ кристаллизаціи наиболѣе интенсивенъ, вслѣдствіе чего на наружной коркѣ, въ мѣстахъ окончанія осей кристаллизаціи, мы замѣчаемъ явныя выпуклости. Особенно характерно были замѣтны эти выпуклости на наружной коркѣ сплава № 1, часть верхней корки котораго изображаетъ фиг. 3 таб. І съ явными слѣдами основъ самихъ кристалловъ.

На основаніи всего предыдущаго мы невольно приходимъ къ заключенію, что углеродистое желѣзо при свободной кристаллизаціи, но при условіи весьма медленнаго охлажденія послѣ плавленія, свободно принимаеть явно кристаллическую форму въ видѣ октаэдровъ. При стѣсненной кристаллизаціи, но при условіи весьма медленнаго охлажденія послѣ плавленія, углеродистое желѣзо явно обнаруживаетъ наклонность къ образованію прерывчатыхъ кристалловъ, которые по своей формѣ явно напоминаютъ октаэдръ (смотр. фиг. 2 и 3), и отсюда мы можемъ заключить, что октаэдръ является основной формой обоихъ только что разсмотрѣнныхъ видовъ кристаллизаціи углеродистаго желѣза. Величина этихъ кристалловъ растетъ не только съ медленностью охлажденія, но зависитъ и отъ содержанія углерода, а именно: характеръ кристаллизаціи, при всѣхъ прочихъ условіяхъ, будетъ тѣмъ рельефнѣэ, чѣмъ содержаніе углерода ближе къ 2%¹¹, т. е. къ точкѣ Е' діаграммы плавкости углеродистаго желѣза по Розенбоуму ¹²).

Кромѣ наиболѣе часто встрѣчающейся формы кристаллизаціи, октаэдра, было найдено, что углеродистое желѣзо способно кристаллизоваться въ кубической системѣ ¹³). Въ послѣдней формѣ кристаллизаціи было найдено желѣзо при одномъ изъ изслѣдованій въ металлографической лабораторіи Томскаго Технологическаго Института. (См. металлическіе сплавы. Г. Тихоновъ. 1910 г., стр. 65. Фиг. 95). Такія измѣненія въ кристаллизаціи желѣза вполнѣ возможны и находятъ полную аналогію себѣ въ измѣненіяхъ характера кристаллизаціи различныхъ солей въ зависимости отъ условій, при которыхъ наблюдается эта кристаллизація. Такъ, по наблюденіямъ Осмонда и Карто ¹⁴) хромовыя квасцы при быстрой кристаллизаціи даютъ дендриты кубической системы и при медленной—октаэдры. Хлористый натръ, обычно кристаллизующійся въ видѣ кубовъ, даетъ октаэдръ изъ раствора—съ примѣсью мочевины или Ca Cl₂ и Mg SO₄.

- 13) БЪляевъ. Кристаллизація стали. Стр. 14.
- ¹⁴/ Metallographist IV. 1901. p. 119.

¹¹⁾ Бѣляевъ. Кристаллизація стали. Стр. 7. 1909.

¹²) Металлографія. Часть І. Стр. 27-29.

Причину такого измѣненія основной формы кристаллизаціи, довольно часто встрѣчающейся у многихъ солей, но весьма рѣдко наблюдаемой у углеродистаго желѣза, Кюри 15) объясняетъ слѣдующимъ образомъ: кристаллъ для своего образованія на преодолёніе внёшнихъ препятствій расходуеть тіпітит энергіи, и величина этой энергіи для даннаго вещества есть величина постоянная, независимо отъ условій кристаллизаціи. Если измѣняется среда кристаллизаціи даннаго вещества, то при постоянствѣ ранѣе указанной энергіи кристаллизаціи, возможно измѣненіе общей внѣшней площади кристалла, въ смыслѣ уменьшения или увеличенія ея въ зависимости отъ условій среды, въ которой происходить кристаллизація; при изм'вненіи внёшней площади кристалла возможно получение новой формы кристаллизации. Только такимъ путемъ возможно объяснить двойную форму кристаллизаціи желъза,весьма р'ёдкую куба и наибол'ёе распространенную форму октаэдровъ, образующуюся въ первый періодъ застыванія углеродистаго желѣза послѣ плавленія, но до появленія аллотропіи жельза, и такая кристаллизація въ отличіе отъ аллотропической наз. первичной кристаллизаціей желѣза.

Въ предыдущемъ мы разсмотрѣли условія образованія кристалловь у углеродистаго желѣза при высокихъ температурахъ послѣ плавления при медленномъ охлаждении и до начала аллотропическихъ измѣненій въ желѣзѣ; но если условія охлажденія вполнѣ благопріятствовали образованію кристалловъ въ желізі до начала аллотропическихъ изміненій, то очевидно, что все дальнѣйшее перемѣщеніе частицъ металла въ періодъ его аллотропіи должно происходить въ пустотахъ между кристадлами такого металла и по плоскостямъ спайности этихъ кристалловъ. Въ дъйствительности позднъйшія наблюденія, сдъланныя въ этой области, вполнѣ подтверждають только что высказаное предположение. Такъ одинъ изъ кристаловъ проф. Чернова 16) изъ усадочной раковины 100 t болванки на шлифъ (Фиг. 4, таб. I) имъеть явные признаки кристаллическаго строенія внутри самого кристалла, съ явной группировкой осей кристаллизаціи, но въ плоскостяхъ спайности самихъ кристалловъ (октаэдровъ) отчетливо замътно при большомъ увеличени скопленіе феррита (Фиг. 6 табл. III), т. е. вещества, которое выдѣлилось въ этихъ пустотахъ уже послѣ образованія первичныхъ кристалловъ въ моменть аллотропіи жельза. Въ данномъ случав феррить содержить весьма значительное количество вкрапленнаго въ него шлака, что объясняется тёмъ, что данный кристаллъ образовался въ усадочной раковинъ, гдъ имълось значительное количество шлака, выдавленнаго изъ самой болванки во время затвердъванія ся. Подобную картину располо-

Бѣляевъ. Кристаллизація стали. Стр. 14

¹⁵) Baumhauer. Neuere E. der Kristallographie, ссылка на Р. Curie. Bull. de la Société mineralogique de Franc. 8. 145.

¹⁶⁾ Бъляевъ. Кристаллизація стали. Стр. 17. 1909 г.

Измънение структуры желъза при механической обработкъ.

женія элементовъ вторичной кристаллизаціи по отношенію къ элементамъ первичной мы можемъ наблюдать, очевидно, только въ тѣхъ случаяхъ, когда условія охлажденія самого углеродистаго желѣза вполнъ благопріятствуютъ появленів основной первичной кристаллизаціи, и въ зависимости отъ химическаго состава углеродистаго желѣза въ качествѣ цементирующаго вещества между основными первичными кристаллами въ одномъ случаѣ будетъ ферритъ, если содержаніе углерода меньше 0,85%, и въ другомъ случаѣ цементитъ при содержаніи углерода отъ 0,85 до 2%. (См. кривую Roozboom'a. Металлографія, часть І, Т. Тихонова, стр. 27—29). Вполнѣ ясное и отчетливое выдѣленіе зерень феррита въ плоскостяхъ спайности первичныхъ кристалловъ отчетливо наблюдалось при вышеуказанныхъ опытахъ г-на Бѣляева ¹⁷) на Путиловскомъ заводѣ, и одинъ изъ такихъ шлифовъ отъ сплава № 5 изображенъ на фиг. 7, табл. III съ вполнѣ яснымъ вкрапленіемъ феррита между первичными кристаллами самого сплава.

Въ періодъ вторичной аллотропической кристаллизаціи свободная масса углеродистаго желѣза, феррита или цементита, въ зависимостя отъ химическаго состава разсматриваемаго металла, заполняетъ пустоты между основными большими кристаллами первичной кристаллизации, но тѣ же элементы феррита или цементита, при условіи весьма медленнаго охлажденія, способны проникать въ плоскости спайности мелкихъ кристалловъ (2-го, 3-го и т. д. порядка) и даютъ самостоятельныя отвѣтвленія. При указанныхъ условіяхъ на шлифѣ мы отчетливо можемъ на блюдать картину дёленія основного, большого кристалла первичной кристаллизаціи на кристаллы 2-го, 3-го и т. д. порядковъ, о которыхъ говорилось раньше. Фиг. 8 табл. III представляеть ясную картину отчетливаго дёленія основного кристалла углеродистаго желёза на составляющіе его элементы. Сплавъ содержить 0,55 С, 0,30% Mn, 0,020% Ph и 0,021% S и быль получень г. Бѣляевымъ¹⁸) на Ижевскомъ заводъ. Если тараллельно съ только что разсмотрѣннымъ нами шлифомъ (фиг. 8) мы внимательно начнемъ разсматривать слъдующіе (фиг. 9 и 10 табл. III), изображающие снимки со шлифа одного изъ метеоритовъ, то мы найдемъ очень большое сходство въ смыслѣ сочетанія линій въ обоихъ рисункахъ. На обоихъ рисункахъ мы отчетливо можемъ найти треулольники, параллелограмы и въ нѣкоторыхъ случаяхъ прямоугольники, образованнные общей съткой феррита на разсматриваемыхъ шлифахъ. Разсматриваемыя фигуры на метеоритахъ впервые были открыты въ 1808 г. Директор. Импер. Вънскаго фарфороваго завода Alois von Vidmanstätten и въ честь его названы "Видманштетовыми фигурами". Присутствіе Видманштетовыхъ фигуръ есть явный признакъ кристаллическаго строенія разсматриваемаго тёла въ формѣ октаэдра. Въ зависимости оть положенія площади сібченія, въ данномъ случа вплощади раз

¹⁷⁾ Вѣляевъ. Кристаллизація стали. Таб. VII.

¹⁸⁾ Бъляевъ. Кристаллизація стали. Таб. VIII.

сматриваемаго шлифа, по отношению къ осямъ октаэдра получаются рисунки отъ расположенія элементовъ феррита въ видѣ треугольника, параллелограма или прямоугольника ¹⁹). Основные элементы Видманштетовой структуры отчетливо видны на шлифѣ магнитнаго (фиг. 11 табл. Ш) желѣзняка, встрѣчаются на шлифахъ стали (фиг. 12 табл. IV) посл'в медленнаго охлажденія отъ высокихъ температуръ или посл'в ея пережога (ф. 28 таб. VI), и вообще эта структура появляется на шлифахъ углеродистаго желвза тогда, когда металлъ былъ значительно выше нагрѣтъ начала момента аллотропіи желѣза и затѣмъ былъ весьма. медленно охлажденъ. Но склонность углеродистаго желъза сохранять свое кристаллическое строеніе обнаруживается у него даже и тогда, когда внѣшнія условія охлажденія очень мало благопріятствують такой кристаллизации. Такъ, при высокомъ нагръвъ (выше критическихъ точекъ) углеродистаго желѣза съ содержаніемъ углерода около 2% и при весьма быстромъ и сильномъ охлаждении его основной структурный элементъ такого желѣза состоитъ изъ аустенита (фиг. 13 табл. IV), нэ строеніе аустенита, какъ это видно изъ разсматриваемаго шлифа, имъетъ явные признаки Видманштетовыхъ фигуръ. Наконецъ, мартенситъ, образующійся при закалкѣ стали, при условіи, когда элементы стали вслѣдствіе быстраго охлажденія и измѣненія объема стали при закалкѣ, испытывають весьма сильныя боковыя напряженія (сдвити)-имъеть явные признаки Видманштетовыхъ фигуръ (характерные треугольники). (Фиг. 14 табл. IV). Такимъ образомъ, на основании всего предыдущаго, мы невольно приходимъ къ слѣдующему заключенію: углеродистое желёзо способно кристаллизоваться; наиболёе распространенной формой подобной кристаллизаціи является октаэдръ. При свободной, спокойной кристаллизаціи развитіє кристалловъ октаэдра у углеродистаго желъза отчетливо замѣтно. При менѣе благопріятныхъ условіяхъ, при стѣсненной кристаллизаціи отчетливое выдѣленіе кристалловъ не возможно, получается прерывчатая кристаллизація со всёми характерными признаками полной октаэдрической кристаллизаціи. Наконецъ, при весьма стъсненныхъ условіяхъ кристаллизаціи, при условіи даже весьма бы страго охлажденія, углеродистое желѣзо поспѣваетъ принять зачатки свойственнаго ему кристаллическаго строенія, что явно обнаруживается характеромъ расположенія частицъ, способныхъ измѣнять свое положе. ніе въ періодъ аллотропіи углеродистаго желѣза.

¹⁹) Треугольникъ получается при условіи расположенія плоскости шлифа параллельно поверхности октаэдра. Прямоугольникъ или квадратъ при условіи положенія плоскости шлифа параллельно къ плоскости куба и параллелограмъ при расположеніи плоскости шлифа параллельно поверхности дедекаэдра. Сv. Е. Gohen Meteoritenkunde, S. 79. Б'бляевъ. Кристаллизація стали. Стр. 23. 1909. Структурные элементы Видманштетовыхъ фигуръ въ метеоритахъ состоятъ изъ твердыхъ сплавовъ никкеля въ жел'яза въ никкелъ, изъ камацита и тэнита или ихъ обоихъ вм'ёстѣ въ видѣ евтектической см'ёси подъ названіемъ плессита. Камацитъ, тэнитъ и плесситъ въ метеоритахъ аналогичны въ стали ферриту, цементиту и перлиту.

Вліяніе нагрѣва на структуру углеродистаго желѣза.

Изъ предыдущей главы мы выяснили, что углеродистое желъзо при весьма медленномъ охлаждении послѣ плавленія способно принимать явно кристаллическую форму. При обычныхъ же условіяхъ охлажденія и при наличности механической обработки явныхъ явленій кристаллизаціи у желѣза мы не наблюдаемъ. Такъ мягкое желѣзо подъ микроскопомъ обнаруживаетъ рядъ овальныхъ зеренъ феррита, окруженныхъ свткою эвтектики (перлита). (Фиг. 15 табл. IV). При боле твердыхъ сортахъ желѣза близкихъ къ литой, мягкой стали зерна феррита имѣють такую же форму, какъ и у мягкаго желѣза, но сѣтка перлита становится болѣе мощной, толстой (фиг. 16 табл. IV). Наконецъ, у мягкой стали на мізств тонкой перлитовой свтки мягкаго желіза появляется таковая же изъ феррита, и эта сътка окружаетъ зерна перлита (фиг. 17 табл. IV). Строеніе чугуновъ въ этомъ отношеніи менѣе опредѣленно; по м'вр'в перехода къ нимъ отъ стали средней твердости свтка изъ феррита замѣняется плотною сѣткою изъ цементита, а зерна перлита пріобрѣтаютъ явно волокнистое строеніе (фиг. 18 табл V). Въ бѣлыхъ чугунахъ при соблюдении весьма медленнаго охлаждения или послъ продолжительна'го отжига волокнистое строеніе зеренъ перлита сохраняется (фиг. 19 табл. V), но сътка изъ цементита дълается прерывистой съ образованіемъ мощныхъ вкрапленій цементита, рельефно выдѣляющихся въ полѣ перлита *).

Структура углеродистаго желѣза подъ вліяніемь постепеннаго нагрѣва отъ нуля до наивысшихъ температуръ мѣняется, и первое замытное измѣненіе въ структурѣ мягкаго желѣза, какъ показали наши наблюденія въ Металлографической Лабораторіи Томскаго Технологическаго Института, происходитъ при температурѣ около 300° С, при температурѣ такъ называемаго "синяго нагрѣва".

Свойства синяго нагрѣва проявляются при опредѣленной температурѣ и наличности механической обработки, особенно динамической.

Два фактора играють роль при синемъ нагрѣвѣ: температура и обработка. Поэтому вся работа представляеть рядъ испытаній надъ брусками котельнаго желѣза, подвергнутыми термической, механической и совмѣстной обработкѣ.

Температура синяго нагрѣва не установлена, да и вѣроятнѣе всего, что она является функціей, какъ химическаго состава желѣза, такъ и первоначальной обработки. За одно это говоритъ уже тотъ фактъ, что всѣ изслѣдователи, изучавшіе синій нагрѣвъ, не могли сойтись на одной опредѣленной температурѣ.

^{*)} Болье подробно разсмотръна нами структура углеродистато жельза въ нашей брошюрь "Металлографія", часть І.

Раньше, чѣмъ перейти къ изложенію хода работы и полученнаго матеріала, необходимо сказать нѣсколько словъ о строеніи металла при синемъ нагрѣвѣ. Сравненіе, произведенное даже невооруженнымъ глазомъ, изломовъ двухъ брусковъ сырого и обработаннаго при температурѣ синяго нагрѣва, ясно указываетъ на весьма важный фактъ, уясняющій отчасти сущность явленія синяго нагрѣва.

Изломъ желѣза при синемъ нагрѣвѣ поражаетъ несходствомъ строенія своего излома съ строеніемъ излома сырого образца. У обработаннаго образца при синемъ нагрѣвѣ зерна получаются крупнѣе. Самый видъ излома по формѣ и характеру мало напоминаетъ изломъ желѣза. Острыя кристаллическія, выступающія ребра скорѣе напоминаютъ изломъ стали.

Значительная хрупкость желѣза при синемъ нагрѣвѣ, какъ это показали работы, обусловливается измѣненіемъ строенія матеріала. Такъ фиг. 20 таб. V изображаеть строеніе котельнаго желѣза до нагрѣва, а фиг. 21 таб. V послѣ обработки при синемъ нагрѣвѣ.

Съ цѣлью выясненія измѣненія строенія матеріала при синемъ на рѣвѣ для различнаго рода термическихъ и механическихъ испытаній параллельно велось изслѣдованіе структуры котельнаго желѣза подъ микроскопомъ.

Первый вопросъ работы—это вопросъ о температурѣ синяго нагрѣва. За отправную точку при опредѣленіи температуры было принято положеніе: при синемъ нагрѣвѣ строеніе металла мѣняется въ сторону образованія болѣе крупнаго зерна, чѣмъ у сырого металла. Это положеніе въ дальнѣйшемъ было провѣрено рядомъ наблюденій. Съ цѣлью опредѣленія температуры синяго нагрѣва, были произведены слѣдующія работы: были приготовлены 4 брусочка съ размѣрами 12×19×19 mm. Одинъ изъ нихъ, обозначенный № 1, нагрѣтъ въ электрической печи до температуры 305° С, и при этой температурѣ продержанъ 20 мин. Колебанія температуры при этомъ не превосходили 5° въ ту и другую стороны. Затѣмъ брусочекъ былъ быстро охлажденъ погруженіемъ въ воду.

Приготовленный изъ него шлифъ имѣлъ средній размѣръ зерна == 0,00163 кв. mm.

Второй кусочекъ, помѣченый № 2, нагрѣтъ до температуры 330° С, продержанъ также при постоянной температурѣ 20 минутъ и быстрэ охлажденъ. Изготовленный изъ него шлифъ имѣлъ сред. площ. зер. == =0,00180 кв. mm.

Третій образецъ, помѣченный № 3, былъ нагрѣтъ до 350° С, при аналогичныхъ съ 1 и 2 брусками условіяхъ; затѣмъ былъ тоже быстро охлажденъ. Приготовленный изъ него шлифъ и снимокъ показали, что средняя площадь его зерна=0,002419 кв. тм.

Четвертый кусочекъ остался не нагрѣтымъ. Изъ него былъ приготовленъ тоже шлифъ, и средняя площадь зерна послѣдняго шлифа == 0,00180 кв. mm.

Измънение структуры желъза при механической обработкъ.

Такимъ образомъ, изслѣдованіе подъ микроскопомъ дало слѣдующее:

№№ шлифовъ	РОДЪ ОБРАБОТКИ.	Темпера- тура нагръ́ва.	Время нагръва мин.	Величина зеренъ.
1 2 3 4	Нагрѣтъ въ электрич. печи. """"""" Сырой	305 330 - 350 	20 20 20 —	0,00163 0,00180 0,002419 0,00180

На основаніи полученнаго матеріала слѣдуетъ заключить, что температура синяго нагрѣва въ изслѣдованныхъ предѣлахъ равна 350° С. Что касается практическаго признака—синяго цвѣта брусковъ, то слѣдуетъ отмѣтить, что всѣ 3 образца, нагрѣтые и быстро охлажденные, имѣли цвѣта различной интенсивности, и во всякомъ случаѣ окраска нэ могла служить надежнымъ средствомъ распознаванія синяго нагрѣва.

Вторая серія опытовъ имѣла цѣлью доказать положеніе, что металлъ при синемъ нагрѣвѣ не выдерживаетъ механической обработки.

Если температура 350° есть температура синяго нагрѣва котельнаго желѣза, то проявляются ли при обработкѣ и пробахъ образцовъ, нагрѣтыхъ до 350°, свойства, присущія металлу при синемъ нагрѣвѣ? Для выясненія этого вопроса было сдѣлано слѣдующее: были изготовлены образцы для пробы на изгибъ.

Первый, помѣченный № 5 и № 6 по концамъ, былъ нагрѣтъ въ горнѣ на древесномъ углѣ до синяго нагрѣва, о чемъ судили на глазъ по цвѣту, затѣмъ былъ прокованъ кувалдой, при чемъ, брусокъ все время былъ повертываемъ на 90°. Обработанный такимъ образомъ кусокъ былъ подвергнутъ пробѣ на изгибъ. Сгибаніе производилось ударами молота по одному концу (а не по мѣсту изгиба), въ то время, какъ другой конецъ былъ закрѣпленъ въ наковальнѣ. При сгибаніи слѣдили за тѣмъ, чтобы не было смятія и поврежденія волоконъ на сторонѣ, прилегающей къ опорному мѣсту.

Результать получился слѣдующій: брусокъ, согнутый на 90³, даль на внѣшнихъ волокнахъ ясно видимыя трещины; при отгибаніи въ первоначальное положеніе брусокъ сломался при первомъ же ударъ.

Параллельно былъ согнутъ образецъ сырого котельнаго желѣза при совершенно тѣхъ же условіяхъ. Результатъ получился слѣдующій: бру сокъ выдержалъ полныхъ 4 изгиба въ ту и другую сторону. Первые признаки механическаго поврежденія волокна получили при 2½ оборотахъ; потомъ поврежденія увеличились, но матеріалъ показалъ значительную вязкость

Т. И. Тихоновъ.

Число Число No.Ve РОЛЪ ОЕРАБОТКИ. изгибовъ изгибовъ на 90° въ 0/0. Нагрѣтъ в огнѣ до синяго цвѣта 5и6 и прокованъ кувалдой $1^{1}/4$ $15.6^{\circ}/_{\circ}$ $100^{0}/_{0}$ Сырой 8.0

Полученный результать можеть быть представлень въ такомъ видъ:

Второй образецъ былъ тоже нагрѣтъ въ горнѣ до синяго нагрѣва, затѣмъ прокованъ подъ молотомъ съ постояннымъ повертываніемъ на 90° и согнутъ въ видѣ буквы V, а затѣмъ сплющенъ подъ молотомъ уже вплотную.

Результать осмотра даль слёдующее: внутри изгиба бруска появилась ясно видимая трещина черезь весь брусокь.

Такую же пробу произвели съ сырымъ брускомъ. Трещинъ ни вну три, ни снаружи замѣчено не было. Матеріалъ показалъ большую тягучесть Сопоставляя полученные результаты, будемъ имѣть слъдующее:

NºNº	РОДЪ ОБРАБОГКИ.	Результаты опытовъ.
7и8	Нагрътъ въ горнъ до синяго цвъта, прокованъ подъ кувалдой и согнутъ въ вилъ V.	Внутри появилась трещина.
NN946 (SUBLAR	Сырой кусокъ былъ тоже согнутъ въ видъ буквы V.	Никакихътрещинъ не появилоеь

Конечный выводъ произведенныхъ испытаній можно формулировать такъ: механическая обработка при синемъ нагръвъ вліяетъ на металлъ въ сторону уменьшенія его вязкости и тягучести, дѣлая его вмѣстѣ съ тѣмъ хрупкимъ и плохо сопротивляющимся изгибающимъ усиліямъ.

Испытанные образцы были оставлены медленно охлаждаться. Затѣмъ отъ частей близкихъ къ мѣсту излома и сгиба были взяты кусочки для изготовленія шлифовъ и для изученія подъ микроскопомъ.

Работа подъ микроскопомъ дала слъдующее:

№ №	РОДЪ ОБРАБОТКИ.	Средняя площадь зеренъ въ кв. mm.
5 6 7 8	Обработаны подъ кувалдой и испро- бованы въ сгибѣ	0,004195 0,00427

Дальнѣйшая работа имѣла цѣлью провѣрить полученные результаты испытаніемъ котельнаго желѣза на разрывъ.

Изъ сырого желѣза были изготовлены 4 образца съ размѣрами 12× ×19×300 mm. Первый брусокъ, занумерованный № 1, остался безъ всякой обработки.

Второй кусокъ (№ 2) былъ нагрѣтъ въ горнѣ на глазъ до синяго нагрѣва и былъ подвергнутъ обработкѣ подъ молотомъ съ повертываніемъ на 90°.

Третій брусокъ (№ 3) былъ нагрѣтъ въ электрической печи до 350°, продержанъ при этой температурѣ 20 минутъ и затѣмъ медленно охлажденъ.

Четвертый былъ тоже нагрѣтъ въ электрической печи до 350°, про держанъ при ней 20 минутъ, а затѣмъ быстро охлажденъ выбрасываніемъ въ воду (№ 4). Затѣмъ всѣ четыре бруска пошли на изготовленіе образцовъ для разрыва.

Образцы помѣчены такъ:

Образецъ изъ сырого матеріала пом		 	1
Образецъ изъ нагрът. и обработ. пом		 	2
Образецъ изъ нагрът. и медл. охлажд. пом.		 	3
Образецъ изъ нагрът. и быстро охлажд. пом.		 	4

Изъ каждаго куска получено было по 5 образцовъ для разрыва. Работа на разрывной машинъ Гагарина дала слъдующій результать:

NENO	Относи тельное удлинен. 0/0.	Относит. сжатіе ⁰ /0	Напряже- ніе при предѣлѣ упруго- сти.	Напря- женіе максим.	Напря. женіе пря разрывѣ.	Обраб от ка бруска, изъ котораго изготовлены образцы.
1 I 1 II 1 III 1 IV 1 V	28,8 39,75 37,80 37,50 39,20	70 77 74 76 77,5	18,95 17,80 17,3 17,8 18,4	$30 \\ 30,2 \\ 30,25 \\ 30,75 \\ 30,75 \\ 30,5$	19,2 16,4 18,4 19,0	нѣтъ.
Средн.	36,6	74,9%/0	18,06	30,5	18,25	BOTHING, MISSING PROVIDEN
2 1 2 11 2 111 2 1V 2 V	19,40 12,60 17,60 13,50 9,4	78 ⁰ / ₀ 68 63,5 1 64	36,3 44,5 38,5 39,8 50,2	$41 \\ 42,0 \\ 42,5 \\ 42,6 \\ 50,4$	$19,12 \\ 26,5 \\ 24,75 \\ 25,5 \\ 29,2$	Нагрѣтъ до 350 ⁰ и обработанъ подъ молотомь.
Средн.	14,5	68,9	41,86	43,6	25,0	3 (5) Harptrr (6ac

Т. И. Тихоновъ.

N <u>ê</u> N <u>ê</u>	Относи- тельное удлинен, ⁰ /0.	Относит. сжатіе ⁰ / ₀ .	Напряже- ніс прн предѣлѣ упруго- сти.	Напря- женіе максим.	Напря- женіе при разрыьѣ.	Обработ ка бруска изъ котораго изготовлены образцы.
3 1 3 11 3 111 3 111 3 117 3 17 3 17	$ \begin{array}{c} 33,2 \\ 44.0 \\ 38,5 \\ 37,5 \end{array} $	77 ⁰ / ₀ 78 80 74	$ \begin{array}{r} 15.85 \\ 16,3 \\ 16,7 \\ 15,2 \\ 18,8 \\ \end{array} $	29,6 28,7 29,2 29,3 30 0	20.0 18,0 17,9 18,6	Нагрѣтъ до 350 ⁰ и медленно охлаж- денъ.
Средн.	38,3	77,25	16,75	29,36	18,5	conno suches randr
4 I 4 II 4 III 4 IV 4 V	36,5 39,0 30,5 36.5 38,0	73 ⁰ / ₀ 76 75 77 69	18,0 17,2 18.1 18,1 18,8	$\begin{array}{c} 30,0\\ 30,5\\ 30,7\\ 29,5\\ 30,2 \end{array}$	$ 18,6 \\ 18,7 \\ 17,1 \\ 19,6 \\ 24,2 $	Нагрѣтъ до 350 ⁰ и быстро охлажденъ.
Средн.	36,1	74	18,04	30,2	19,64	of action actions of the second secon

Основываясь на этихъ цифровыхъ данныхъ, можно сдѣлать слѣдующій положительный выводъ: 1) одинъ синій нагрѣвъ ни при медленномъ, ни при быстромъ охлажденіи не оказываетъ вреднаго вліянія на свойства мегалла; 2) синій нагрѣвъ совмѣстно съ механической обработкой кореннымъ образомъ измѣняетъ свойства металла, повышая напряженіе разрыва до предѣла упругости,—съ 18,06 у сырого—до 41,86 у обработаннаго при синемъ нагрѣвѣ; что въ процентахъ, принимая напря женіе сырого за 100, дастъ для нагрѣтаго и обработаннаго величину 210,5%, или, другими словами, напряженіе разрыва у нагрѣтаго и обработаннаго въ 2,10 разъ больше, чѣмъ у сырого.

Наоборотъ, удлиненіе образца, обработаннаго при синемъ нагрѣвъ, будетъ значительно меньше удлиненія сырого.

Получено срелнее удлинение сырого. . . . , . 36,6 """"обраб. при син. нагр. . 14,5

Т. е. удлиненіе образца, обработаннаго при синемъ нагрѣвѣ, въ 2,5 раза меньше, чѣмъ удлиненіе сырого образца.

<u>№ №</u>	родъ обработки.	Темпера- тура нагръва.	Напояженіе до предѣла упругости.	⁰ / ₀ удлине- нія до пре- дѣла упру- гостя.
$ \begin{array}{c} 1 & (5) \\ 2 & (5) \\ 3 & (5) \end{array} $	Сырой ,	350^{0} 350^{0}	$ \begin{array}{r} 18,06 \\ 41,86 \\ 16,75 \end{array} $	$36,6 \\ 14,5 \\ 38,3$
3 (5)	Нагрътъ (быстро охлажденъ)	3500	18,04	36,1

Результаты опытовъ дали въ среднемъ:

При разсмотрѣніи діаграммъ разрыва брусковъ выяснились слѣдующія особенности каждой серіи діаграммъ.

Діаграммы сырого желѣза идутъ плавно до предѣла упругости, за предѣломъ упругости кривая нѣкоторое время идетъ почти горизонтально, что указываетъ на значительную вязкость металла, а затѣмъ уже кривая снова поднимается вверхъ и, наконецъ, весьма плавно опускается книзу.

Въ діаграммахъ, полученныхъ при разрывѣ 5 образцовъ 2-го куска, нагрѣтаго и обработаннаго, кривыя до предѣла упругости идутъ значительно круче и поднимаются выше, что указываетъ на большое сопротивленіе разрывающему усилію и на малую способность металла вытягиваться. Дѣйствительно, подсчетъ показалъ, что напряженіе до предѣла упругости у бруска нагрѣтаго и обработаннаго почти въ 2,1 раза больше, чѣмъ у сырого, а удлиненіе наоборотъ, у сырого больше, чѣмъ у нагрѣтаго и обработаннаго въ 2,5 раза. За предѣломъ упругости кривая поднимается значительно и затѣмъ быстро идетъ на пониженіе. Слѣдовательно, вязкость значительно понижена.

Діаграммы, полученныя отъ разрыва образцовъ 3-го куска, нагрѣтаго и медленно охлажденнаго, имѣютъ слѣдующія особенности.

Кривая до предѣла упругости напоминаеть кривую сырого матеріала, но за предѣломъ упругости уже не получается горизонтальной или слабо повышающейся кривой, какъ у перваго бруска. Діаграмма въ этомъ мѣстѣ представляетъ рядъ болѣе или менѣе значительныхъ скачковъ, свидѣтельствующихъ о меньшей вязкости матеріала, чѣмъ первоначально. Такого рода явленіе можетъ быть отнесено только на счетъ измѣненія строенія. Ранѣе микроскопическія изслѣдованія показали, что строеніе металла нагрѣтаго до синяго нагрѣва, измѣняется въ сторону образованія болѣе крупнаго зерна. Въ этомъ фактѣ и слѣдуетъ искать объясненіе тому явленію, что кривая за предѣлами упругости дѣлаетъ скачки вверхъ и внизъ. Выходитъ такъ, что синій нагрѣвъ, вызвавъ измѣненіе строенія, какъ бы нѣсколько уменьшилъ связь между зернами феррита и сѣткою изъ перлита.

Діаграммы, полученныя изъ образцовъ 4-хъ нагрѣтыхъ и быстро охлажденныхъ, идутъ до предѣла упругости плавно, но болѣе полого, чѣмъ у сырого матеріала. За предѣломъ упругости кривыя идутъ тоже плавно и характеромъ напоминаютъ діаграммы сырыхъ образцовъ. Основываясь на этомъ, можно сдѣлать предположеніе, что матеріалъ нагрѣтый до синяго нагрѣва и быстро охлажденный, какъ бы, возстановляетъ свою первоначальную способность сопротивляться разрывающимъ усиліямъ.

Въ заключеніе остается упомянуть еще объ испытаніяхъ, произведен ныхъ съ цѣлью выясненія вопроса о томъ, нѣтъ ли въ предѣлахъ темпоратуры синяго нагрѣва характерныхъ критичэскихъ точекъ. Съ этой цёлью были произведены три наблюденія:

1) Брусокъ сырого котельнаго желѣза былъ нагрѣтъ до 450° и мед ленно остывалъ въ печи. При помощи аппарата Курнакова была полу чена кривая, которая указала, что въ предѣлахъ температуры до 450° такихъ точекъ не замѣтно.

2) Опыть быль повторень со втерымь брускомь, бывшимь ранѣе нагрѣтымъ до 350° и обработаннымь подъ кувалдой. Вторая кривая діаграмма дала тотъ же результать.

3) На повѣрку было сдѣлано третье наблюденіе. Образецъ, грѣтыи и обработанный, былъ нагрѣтъ до 1000° и медленно охлажденъ. Критическая точка получилась около 700°.

Результать послѣднихъ работъ по опредѣленію вліянія синяго нагръва можетъ быть сформулированъ такъ:

Для нашего котельнаго желѣза температура синяго нагрѣва 350° Цельсія; при нагрѣвѣ до этой температуры желѣзо становится крупна зернистымъ; нагрѣтое же до 350° и обработанное желѣзо, становясь еще болѣе крупнозернистымъ, становится хрупкимъ, худо сопротивляющимся изгибу, хотя напряженіе разрыва повышается значительно при значительномъ пониженіи тягучести.

Желѣзо, нагрѣтое до 350° и подвергнутое пробѣ на разрывъ, сопротивляется почти такъ же, какъ и сырое, независимо отъ быстроты охлажденія.

Изъ предыдущаго видно, что мягкое котельное желъзо подъ вліяніемъ нагръва при температуръ свыше 300° С начинаетъ увеличивать зерна феррита; подобная картина увеличенія зерна продолжается я дальше при нагрѣвѣ желѣза. Продолжительность и высокая температура нагръва только способствуетъ увеличению зерна. Послъднее весь ма ярко иллюстрируется слёдующимъ примѣромъ: мягкое котельное желѣзо было положено въ горящій кузнечный горнъ, и по истечения 4, 5 и 7 дней изъ взятыхъ образцовъ желъза были изготовлены шлифа (фиг. 22, 23 таб. V и 24 таб. VI). Горнъ работалъ только днемъ въ теченіе 8 часовъ. Изъ фотографіи взятыхъ шлифовъ отчетливо замѣтно увеличение и постопенно сильное распадение зеренъ феррита. Сначала по мѣрѣ продолжительности нагрѣва желѣза на зернахъ феррита появились черныя точки (фиг. 22), которыхъ ранъе у образца не было; далье, число этихъ черныхъ точекъ растетъ на зернахъ феррита вмъстъ съ ростомъ послѣднихъ (фиг. 23). Затѣмъ величина зеренъ феррита достигаетъ значительныхъ размёровъ, вмёсть съ образованіемъ рваныхъ щелей, расподоженныхъ по прямымъ линіямъ, очевидно, по направленію прокатки желѣза, по слѣдамъ вытолкнутыхъ шлаковъ. Подобную же картину постепеннаго измѣненія формы зерна мы можемъ наблюдать у стали и чугуна. Такъ, у стали средней твердости (углерода 0,95) (фиг. 25 таб. VI) при нагръвъ около 700° постепенно начинаетъ пропадать ферритовая свтка, и замътно распадение зеренъ перлита (фиг.

26 таб. VI). При температурѣ свыше 700° С ферритовая сѣтка совсѣмъ пропала и вмѣстѣ съ распавшимися зернами перлита образовала новую форму по строенію-мартенсить (фиг. 27 таб. VI). При дальнъйшемь нагръваніи при температурахъ близкихъ къ 1000° С, когда сталь начи наетъ сильно искриться, та же сталь принимаетъ форму близкую къ первичной кристаллизаціи, съ явнымъ признакомъ Видманштетовыхъ фигуръ; сталь. какъ говорятъ, находится въ стадіи пережога (фиг. 28 табл. VI). Чугуны при медленномъ нагръвъ нъсколько иначе измъняють свою структуру: у сврыхъ литейныхъ чугуновъ подъ влящіемь медленнаго нагрѣва начинаетъ обильно выдѣляться графитъ и тѣмъ самымъ вызываетъ значительную хрупкость чугуна. Такъ фиг. 29 табл. V1 изображаетъ сърый литейный чугунъ до нагръва, а фиг. 30 табл. VII тотъ же чулунъ послѣ продолжительнаго нагрѣва; рѣзкое и обильное выдѣленіе графита на послѣднемъ шлифѣ ярко замѣтно. У бѣлыхъ чугуновъ подъ вліяніемъ продолжительнаго нагрѣва при высокихъ темпоратурахъ происходитъ распаденія углерода закала и цементита съ выдѣленіемъ углерода отжига и зеренъ волокнистаго перлита (фиг. 19 табл. V), но въ присутствіи окислителей (красныхъ желізняковъ)-углеродъ отжига начинаетъ выдъляться въ формъ СО, свободный углеродъ образуетъ небольшія вкрапленія (въ видѣ небольшихъ кружковь на шлифѣ), а углеродистая эвтектика шлифа начинаетъ замѣтно дълиться на овальныя зерна феррита, въ результатъ получается ковкий чугунъ (фиг. 31 табл. VII). При двухъ послѣднихъ случаяхъ чугунъ, рѣзко измѣняя свою структуру, пріобрѣтаетъ вмѣстѣ съ тѣмъ и значительную мягкость, даже ковкость, но возможно и обратно при быс громъ охлаждении сърый, довольно мягкий, литейный чугунъ перевести въ отбѣленный значительно твердый чугунъ; въ послѣднемъ случаѣ про чугунъ говорятъ, что онъ отбѣлился (фиг. 32 табл. VII).

Въ предыдущемъ мы видѣли, что три главныхъ типа углеродистаго желѣза—ковкое желѣзо, сталь и чугунъ при нагрѣвѣ способны измѣ нять структуру ихъ составляющихъ частицъ, и измѣненіе этой структуры наиболѣе рѣзко и рельефно наблюдается при высшихъ температурахъ. Нерѣдко такое аллотропическое измѣненіе структуры даннаго тъла сопровождается значительнымъ поглощеніемъ тепла при нагрѣваніи и обратно—выдѣленіемъ тепла при охлажденіи. Металлъ въ послѣднемъ случаіѣ въ указанный моментъ замѣтно мѣняетъ свою окраску въ высшій цвѣтъ по температурѣ и измѣняются въ объемѣ. Вполнѣ естсственно. что такія харктерныя. или, какъ говорятъ критическія точки, у различныхъ сортовъ углеродистгао желѣза были давно замѣчены экспериментаторами. Такъ еще въ 1868 г. нашъ знаменитый металлургъ Д. К. Черновъ¹) въ своемъ докладѣ Императорскому Русскому Техни-

¹⁾ Докладъ Д. К. Чернова "Критическій обзорь статей гг. Лаврова и Калапуцкаго о стали и стальныхъ орудіяхъ и собственныя его изслѣдованія по этому же презмету".

ческому Обществу указаль на существование двухъ критическихъ точекъ "а" и "b" у различныхъ сортовъ углеродистаго желъза. Значение этихъ двухъ критическихъ точекъ Д. К. Черновъ охарактеризовалъ слъдую щимъ образомъ:

Каждый сорть стали имѣеть свою критическую температуру, выше которой необходимо его нагрѣть для полученія закала. Сталь нагрѣтая ниже этой температуры не принимаеть закала. Эту первую критическую точку Д. К. Черновъ называетъ критической точкой "а".

Для каждаго сорта стали существуеть еще вторая критическая точка, названная Д. К. Черновымъ точкою "b", при нагрѣвѣ ниже которой сталь послѣ охлажденія не мѣняетъ своей структуры. Но если сталь будетъ нагрѣта до предѣла "b", то она переходить изъ кристаллическаго строенія въ аморфное (воскообразное), которое она сохраняетъ до нъкотораго предѣла, весьма близкаго къ температурѣ плавленія самой стали. При медленномъ охлажденіи стали нагрѣтой до температуры выше точки "b« происходитъ со сталью обратное явленіе,—сталь постепенно изъ аморфнаго, воскообразнаго строенія переходитъ въ явно кристаллическое; явленіе кристаллизаціи стали будетъ тѣмъ интенсивнѣе, чѣмъ медленнѣе идетъ охлажденіе стали, и чѣмъ ближе будетъ температура къ точчкѣ "b", ниже которой въ данной стали измѣненія кристаллизаціи не наблюдается. Для задержанія мелкозернистаго строенія стали необходимо послѣднюю быстро охладить до температуры ниже точки "b".

Такимъ образомъ въ 1868 году была указана граница температуръ, внутри которыхъ происходитъ явная кристаллизація желѣза. Въ 1886 г. Pionchon и Le Châtelier, нагрѣвая химически мягкое желѣзо и сталь до нѣкоторой температуры, замѣтили, что подобное нагрѣваніе всегда сопровождается нѣкоторымъ поглощеніемъ тепла при опредѣленной температурѣ, и обратно выдѣленіемъ тепла при охлажденіи. Затѣмъ въ 1888 г. профессоръ Osmond²), желая изучить положеніе критическихъ точекъ у различныхъ сортовъ желѣза, примѣнилъ для опредѣленія такихъ точекъ термо-электрическій пирометръ Le Châtelier. Для своихъ наблюденій Osmond бралъ образцы слѣдующаго химическаго состава:

		C	Si.	Mn.
Мягкое желѣзо полученное электролитически	N.	0,08	98 <u>1720</u> 99	HI02 BI
Очень мягкая сталь	-	0,16	0,01	0,14
Мягкая сталь		1,29	0,06	0,27
Полутвердая тигельная сталь	131	0,57	0,08	0,23
Твердая инструментальная сталь	2	1,25	0,19	0,1

Результаты вышеназванныхъ наблюденій Osmond'a свелись къ слъдующему: при охлажденіи мягкаго электролитическаго желѣза, нагрѣ-

²) Transformation du fer et du corbone dans les fers, les aciers et les fontes blanches par F. Osmond. Paris. 1888.

таго по 1000° С, пирометръ остановился при 855° и оставался на этой температурѣ нѣкоторый періодъ времени.Эту первую остановку Osmona назвалъ точкою "Ar₃". Вторая незначительная остановка пирометра, названная имъ точкою "Ar₂" наблюдалась при температурѣ отъ 750°, достигла максимума при 730° и окончилась при 690°, при слабыхъ колео» ніяхъ при 705° С.

Для испытанныхъ сортовъ стали положеніе тѣхъ же точекъ колебалось слѣдующимъ образомъ:

Для очень мягкой стали:

	Начало.	Максимумъ.	Конепъ.
Ar ₃ ,	8450	8250 - 8190	8000
Ar ₂	7550	7350-7250	7100
Ar ₁	6800	6620-6500	6450
Для образцовъ мягкой с	тали:	Takabu at an	an aparan Ana ontra
Ar ₃ -2	7800	7210-7150	6900
I Ari si sesson O ter o	6800	the the prime character	nitide <u>o</u> n ant
Для стали полутвердой:	0" C ¹ Timan Tempervi	The Rary that No. 1 41	

и оканчивается остановкой Ar₁ при 661° С.

Образцы твердой стали имѣли только одну продолжительную остановку Ar₃₋₂₋₁ при температурѣ 674° С.

Положеніе указанныхъ критическихъ точекъ характеризуетъ слъдующія аллотропическія измѣненія въ желѣзѣ: въ очень мягкихъ сортахъ желѣза Ar₃ и Ar₂ соотвѣтствуютъ первая переходу желѣза изъ формы "γ" въ стадіи fe6, и вторая—fe6 въ feα, а точка Ar₁ есть конецъ подобныхъ преобразованій³). Изъ предыдущей таблицы ясно замѣтно, что продолжительность положенія точки Ar₁ зависитъ отъ содержанія углерода. Для очень мягкихъ сортовъ желѣза точка Ar₁ почти совсѣмъ не замѣтна, для болѣе твердыхъ она достигаетъ значительной величины. Такъ какъ способность стали принимать закалъ возростаетъ съ содержаніемъ углерода, то слѣдуетъ, что точка Ar₁ соотвѣтствуетъ началу аллотропическихъ измѣненій желѣза, свойственныхъ закалу послѣдняго.

Температура критической точки Ar₃ соотвѣтствуетъ полному окончанію аллотропическихъ преобразованій частицъ углеродистаго желъза при переходѣ изъ явно кристаллической формы въ мелкозернистое, почти аморфное строеніе, свойственное закаленной стали. Такимъ образомъ, сравнивая значеніе ранѣе указанныхъ Д. К. Черновымъ крити-

³) См. Металлографія, стр. 30 Т. Тихонова.

ческихъ точекъ "а" и "b" съ точками полученными Osmond'омъ, приходимъ къ заключенію, что точк "а" Д. К. Чернова соотвѣтствуетъ точкѣ "Ar₁" Osmond' a, а точка "b"—точкѣ "Ar₃". Закалъ стали возможенъ только при условіи нагр'вва посл'ёдней до температуры критической точки Ar_з и соотвѣтствующаго быстраго охлажденія, При этой же температурѣ углеродистое желѣзо при условіи медленнаго нагрѣванія до этой температуры и быстраго охлажденія отъ нея, теряетъ свои маянитныя свойства, и кром'в этого сопротивление проводимости электричества значительно увеличивается. Такимъ образомъ, температура точки Аг, есть критическая температура для аллотропическаго измёненія желёза. Не обходимо сказать нъсколько словъ о томъ, что положение критическихъ точекъ у одного и того же сорта углеродистаго желѣза при условіи медленнаго нагръванія и охлажденія не совпадаеть, а именно положение критическихъ точекъ при нагръвани всегда находится нъсколько выше, чёмъ при охлаждении. Такое аномальное смёщение критическихъ точекъ, по мнѣнію Osmond'a, объясняется существованіемъ особаго фактора у желѣза, а именно иниціальной температуры *); такъ по наблюденіямъ Osmond'а твердая сталь, нагр'втая до 745° С, показала Аг, при 680° С, а послѣ нагрѣва до 1410° С (плавленія) при 655°; такъмъ образомъ повышение иниціальной температуры приблизительно на 670° понизило положение Ar₁ на 25°.

Изъ предыдущей таблицы положенія критическихъ температуръ. полученныхь Osmond'омъ, ярко замѣтно. что интервалъ положенія критическихъ точекъ суживается съ увеличеніемъ содержанія углерода въ желѣзѣ, и кромѣ этого понижается положеніе критическихъ точекъ по температурѣ. Кромѣ этого, по опытнымъ изслѣдованіямъ Carpent'a, Keeling'a и А. Л. Бабошина⁵) одинаково съ углеродомъ на положеніе критическихъ точекъ вліяетъ и марганецъ; послѣднее особенно имѣетъ крупное значеніе при рѣшеніи вопроса о выборѣ температуръ прокатки рельсъ съ большимъ содержаніемъ марганца.

Разсмотримъ теперь вопросъ объ измѣненіи величины зерна углеродистаго желѣза при нагрѣвѣ. Яркій моментъ начала такихъ измѣненій совпадаетъ съ положеніемъ у испытыемаго желѣза точки Аг₁. Не мѣшаетъ оговориться, что увеличеніе величины зерна въ мягкихъ сортахъ желѣза, какъ видѣли раньше (синій нагрѣвъ) и увидимъ впослѣдствіи, наблюдалось и при температурѣ ниже Аг₁. Общій законъ, формулированный Howe по отношенію зависимости величины зерна отъ температуры, заключается въ томъ. что величина зерна желѣза строго пропорціональна температурѣ. На основаніи своихъ наблюденій Sauveur ⁶) для испытанныхъ имъ образцовъ стали формулировалъ эту зависимость зер⁴

⁴⁾ Osmond. Transformations du fer et du carbone. p. 35.

³) Записки И. Р. Т. О-ва въ 1907 г.

⁶) Составъ стали былъ: 1,10% С, 0,02% Si, 0,40% Ми. Eng. and Min. Journ. LX. 1895. Стр. 537.

на отъ температуры слѣдующимъ образомъ: Т max=680+281, 250А, гдѣ Т max-равна достилнутой температурѣ, А-дѣйствительная площадь зерна въ кв. миллиметрахъ при линейномъ увеличени въ 250 разъ.

Далѣе. по мнѣнію Howe, каждой данной температурѣ соотвѣтствуетъ вполнѣ опредѣленная величина зерна. Ростъ зерна желѣза не происхоцитъ мгновенно до предѣльнаго по достиженіи желѣзомъ опредѣленном температуры, а постепенно, при чемъ вначалѣ ростъ зерна идетъ весьма быстро, а затѣмъ становится все медленнѣе и медленнѣе, по мѣрѣ приближенія зеренъ къ нормальному размѣру.

Наконецъ, по мнѣнію Howe, если существуетъ зерно больше нормальнаго для данной температуры, то оно не приходитъ вновь къ нормальной величинѣ.

Общій законъ, формулированный Ноwе относительно величины зерна желѣза въ зависимости отъ температуры, довольно ясно изображенъ графически на черт. 1 табл. XXIII. Линія jDG выражаеть величину зерна въ зависимости отъ температуры. Пусть данное желѣзо нагрѣто до температуры С, и зерно этого желѣза достигало величины Н; но зерна даннаго желёза при той же температурё склонны увеличиваться въ размѣрѣ пока они не достигнутъ величины D, соотвѣтствующей этой темепературѣ С. Послѣ того, какъ величина зерна достигаетъ D, охладимъ желѣзо до температуры Е, но при этомъ величина зерна остается равной D, а не будеть равной K, какъ это соотвътствуеть по діаграммъ. При построеніи кривой зависимости величины зерна отъ температуры Ноwе отмѣтилъ, что прямая пропорціональность величины зерна отъ температуры существуеть только до нѣкотораго предѣла М, послѣ котораго указанная имъ зависимость нарушается: величина зерна растеть замътно быстрве соотвътствующаго измвненія температуры. При наблюденіяхъ, произведенныхъ нами въ Металлографической Лабораторіи Томскаго Технологическаго Института, только что высказанное мивніе профессора Ноwе вполнѣ подтвердилось.

Прямая пропорціональность между величиной зерна желѣза и соотвѣтствующей температурой нагрѣва существуетъ только до извѣстнаго предѣла нагрѣва,—въ предѣлахъ до 1000° С для мягкихъ и среднихъ сортовъ желѣза по твердости. На подобную же зависимость величины зерна отъ температуры нагрѣва указываетъ и А. Л. Бабошинъ⁷).

Если теперь имѣющійся въ нашемъ распоряженіи матеріаль, касающійся зависимости величины зерна отъ температуры нагрѣва, изобразимъ въ видѣ кривыхъ (черт. 2, 3 табл. XXIII и 4 табл. XXIV), то на означенныхъ кривыхъ будетъ ярко замѣтна точка перелома при температурѣ около 1000°, соотвѣтствующая прекращенію прямой пропорцьональности величины зерна отъ температуры.

Положеніе и значеніе этой точки прекращенія прямой зависимости величины зерна отъ температуры имъ́етъ глубокое значеніе для инженеровъ, занятыхъ горячей обработкой желъ̀за. При этой температуръ̀ и особенно выше нея желъ̀зо переходитъ въ стадію крупной кристаллизаціи, а извъ̀стно, что при наличности крупной кристаллизаціи желъ̀зо не можетъ обладать хорошими механическими свойствами.

Весьма возможно предположить, что Д. К. Черновъ въ своемъ докладѣ 1868 года имѣлъ въ виду только что указанную точку перелома прямой з висимости величины зерна отъ температуры, когда формулировалъ свое положеніе такъ⁸): "Если мы желаемъ увеличить плотность стали, сблизить ея зерна и такимъ образомъ достигнуть болѣе тѣсной связи между ними, то должны производить ковку при температурѣ ниже точки "b"." Наше послѣднее предположеніе тѣмъ болѣе правдоподобно и близко къ истинѣ, если принять во вниманіе, что въ указанное время не было еще простыхъ точныхъ методовъ опредѣленія температуры, а структура наблюдаемаго куска желѣза опредѣлялась по излому безъ микроскопа.

Такимъ образомъ изъ предыдущаго видно, что углеродистое желѣзо, въ предѣлахъ значительнаго нагрѣва, весьма склонно измѣнять свое строеніе. Первоначальное предположеніе, что измѣненіе кристаллизаціи желѣза возможно только выше положенія критичской точки Ar₁, опровергается предыдущимъ случаемъ съ котельнымъ желѣзомъ при темпе ратурѣ "синяго нагрѣва", опровергнуто Stead'омъ, который наблюдалъ увеличеніе зерна мягкой стали съ 0,10% С при температурѣ отъ 500°, при чемъ ростъ зерна увеличивался съ продолжительностью нагрѣва.

Подобную же картину наблюдалъ и von A. Joisten ⁹) при своихъ опытныхъ изслѣдованіяхъ надъ желѣзною проволокою, матеріаломъ мягкимъ и весьма однороднымъ. При опытахъ примѣнялся цѣлый рядъ предосторожностей, мѣшающихъ окисленію металла при нагрѣваніи въ электрической печи. Время нагрѣва образцовъ колебалось отъ одного до 20 часовъ при одной и той же температурѣ. Результаты этихъ опытовъ представлены въ видѣ кривыхъ на черт. 5 табл. XXIV. Изъ разсмотрѣнля только что приведенныхъ кривыхъ роста зерна желѣза въ зависимости отъ темперагуры и продолжительности нагрѣва ясно видно, что ростъ зерна же тѣза возможенъ начиная съ 500° С и дальше, а величина зерна рас етъ съ узеличеніемъ продолжительности нагрѣва.

Подобныя же наблюденія были произведены нами въ Металлографической лабораторіи Томскаго Технологическаго Института надъ мягкимъ кузнечнымъ желѣзомъ и рельсовою сталью. Опыты велись въ электрической печи Hereaus'а въ среѣд азота для уменьшенія окисленія метал

⁸) Г. Тагѣевъ. Однородность рельсъ. Стр 86.

⁹) Mitteilungen aus dem Eisenhüttenmännischen Institut des Königl. Techn. Hocschule Aachen. 1910.

ла; образца нагрѣвались въ названной печи въ теченіи 1; 1,5; 2; 2,5 и 3 ч. и изъ середины наблюдаемыхъ образцовъ готовились шлифы для измѣренія зеренъ на площади ровной 1 кв. см. при общемъ увеличеніи при снятіи фотографіи равнымъ 100. Результаты полученныхъ наблюденій представлены въ слѣдующей таблицѣ, при чемъ въ ней указано число зеренъ на 1 кв. см.

Температура	Продолжительность нагр'вва.						
нагръва.	1 часъ.	1,5 часа.	2 часа	2,5 часа.	З часа.		
a muloz mogu o 0 ad	M	ягкое к	узнечное	е желѣз	0. 00130100		
500° C.	1001	loin 10 iona	9,5	9	ona 9 oine		
550° C.	9,5	9,5	9,5	90000	9		
600° C.	10	9	9	8,5	8,5		
650° C.	10	8,5	9	8,5	8		
700° C.	8	8	8	7,5	7,2		
750° C.	8	8	7	7	6		
800° C.	8	7,5	7,2	7	7		
850° C.	5	7	7.00 44	7,5	8		
-Quinananananin nora an	nagoo ninon nagoo ninon	Рель	совая с	таль.	noomospia Tioomospia		
500° C,	3,5	one 3,50m	3,5	3.5	3.4		
550° C.	40-0	3,5	2,8	2,8	2,7		
600° C.	4	3,5	3,3	2,9	2,6		
650° C.	3,5	3,3	3,1	3	2,6		
700° C.	3	3	and the prove	COMPANY PROPERTY	2,5		
750° C.	2,8	THE REAL PROPERTY AND IN THE REAL PROPERTY AND INTERVIEW AND INTERVIEWA AND INTERVIEW AND INTERVIEWANT AND INTERVIEWANTA			2,4		
800° C.	2,6	ap acts of t		2,2	2,3		
850° C.	2,5	2,5	2.4	2,3	2.2		

Изъ послѣдней таблицы и предыдущаго черт. 5 довольно ясно видно, что величина зерна желѣза замѣтно растетъ при увеличеніи времени нагрѣва. Довольно ярко иллюстрируютъ послѣднее положеніе объ увеличеніи величины зерна мягкаго желѣза съ продолжительностью нагрѣва рав.ѣе—разсмотрѣнныя фотографіи (фиг. 22, 23 таб. V и 24 таб. VI).

Причины, вызывающія измѣненіе зерна при продолжительномъ на грѣваніи, можно объяснить себѣ слѣдующимъ образомъ: всякое углеродистое желѣзо представляетъ изъ себя конгломератъ недоразвившихся кристалловъ, спаянныхъ эвтектикою. Подъ вліяніемъ нагрѣва происходитъ диффузія веществъ между сосѣдними кристаллами черезъ пленку эвтектики. Диффузія является результатомъ различной растворимоста двухъ смежныхъ плоскостей кристалловъ въ эвтектикѣ, въ результатъ чего вслѣдствіе появленія давленія происходитъ поступательное перомѣщеніе частицъ одного кристалла въ сторону другого, при чемъ по-

слёдній начинаеть расти за счеть перваго. Причина различной растворимости двухъ смежныхъ плоскостей кристалловъ кроется въ неодинаковой оріентировкѣ осей кристалловъ, что весьма наглядно обнаруживается при травленіи шлифа мягкаго желъза, а именно, —зерна феррита подъ микроскопомъ имѣютъ различные оттѣнки по окраскѣ въ зависимости отъ различнаго расположенія осей кристалловъ. Эвтектика, температура плавленія которой ниже таковой же самихъ кристалловъ, при нагръвъ находится ближе къ жидкому состоянію по сравненію съ самими кристаллами и тёмъ только способствуеть росту послёднихъ. Но если эвтектика, связующая кристаллы даннаго желѣза, находится св твердомъ состояніи, то при температурѣ отъ 690° до 670° происходитъ взаимное перемъщение и притяжение частицъ себъ подобныхъ. Это явленіе было названо Stead'омъ коалесценціей. Только въ стали съ содержаніемъ углерода, соотвѣтствующимъ эвтектикѣ, структура находится въ равновѣсіи, и передвиженіе частицъ структуры слабо замѣтно. Взаимное притяжение частицъ себъ подобныхъ имъетъ мъсто въ томъ случав, когда ныть равновысія въ структуры, но есть избытокъ одной изь составляющихъ эвтектики: феррита или цементита. Чъмъ медленнъе идетъ охлажденіе, твмъ совершеннъе выдвленіе элементовъ избытка, и твмъ меньше остается эвтектики. При весьма маломъ содержании перлита, послёдній, послё медленнаго охлажденія, обращается въ тончайшія полосы, раздѣленныя ферритомъ, что мы раньше и наблюдали на фиг. 8 табл. III для стали съ содержаніемъ С=0,55% (феррить на шлифѣ бѣлый). Въ твердыхъ сортахъ стали послѣ продолжительнаго отжига въ предѣлахъ температуръ, указанныхъ Stend'омъ, цементитъ, являющійся связующимъ звеномъ между отдѣльными зернами перлита, притягиваетъ къ себѣ зерна цементита изъ эвтектики, вслѣдствіе чего перлитъ пріобрѣтаетъ волокнистое строеніе (фиг. 18 таб. V). При болѣе быстрыхъ условіяхъ охлажденія, менье благопріятствующихъ коалесценціи наблюдаемаго куска стали, не видно волокнистгао строенія перлита, но зачатки обогащенія сѣтки цементита отчетливо замѣтны (фил. 12 табл. IV). При условіи медленности охлажденія эвтектической стали образуется обычная форма волокнистаго перлита (фиг. 33 табл. VII), но если мы ехлаждение эвтектической стали будемъ производить съ нѣкэторымъ замедленіемъ въ критическомъ интервалѣ, то послѣ быстраго охлажденія при температурѣ этого интервала мы можемъ получить перлить не волокнистый, а зернистый, причина такого явленія кроется въ свойствѣ коалесцепціи частицъ металла даже въ самой эвтектикѣ (фиг. 34 табл. VII). Волокнистый перлить не сразу переходить въ зернистый, а постепенно по м'вр'в продолжительности нагр'вва сначала волокна цементита пріобрѣтають утолщенія перехваты, и въ такомъ видѣ перлить быль названь Бенедиксомъ-четковиднымъ, а затёмъ четковидный перлить при аналогичныхъ же условіяхъ переходить въ зернястый. Въ послѣднемъ случаѣ мы имѣемъ полное обособленіе составляющихъ перлитъ, т. е. цементита и феррита, т. е. получаемъ, по выраженію Osmond'a¹⁰), такъ называемое структурное равновѣсіе.

Говоря о зернистомъ перлитѣ мы нѣсколько перешли уже въ интервалъ критическихъ температуръ, въ которомъ происходитъ аллотропическое измѣненіе частицъ углеродистгао желѣза, сопровождающееся переходомъ зеренъ феррита и перлита, или перлита и цементита. иля одного перлита (у эвтектической стали) въ высшія аллотропическія измѣненія по температурѣ-мартенсить и аустенить. Подобный переходъ происходитъ плавно по мъръ повышенія температуры съ образованіемъ нѣкоторыхъ промежуточныхъ формъ, носящихъ особое названіе. Такъ переходную форму волокнистаго перлита съ образованіемъ зеренъ цементита въ полѣ феррита нерѣдко называютъ сорбитомъ, по имени ученаго Sorby, открывшаго этотъ элементъ. При дальнъйшемъ повышеніи температуры ранье указанные структурные элементы образують новое аллотропическое видоизмѣненіе, называмое троститомъ. Послѣдній образуется у углеродистаго желѣза при нагрѣвѣ внутри критическаго интервала въ тотъ моменть, когда сокращение длины испытуемаго куска достигаеть наибольшаго размёра. Тростить на шлифё представляеть плотныя массы со слабымъ расположениемъ гранулей. зачатковъ иглъ мартенсита (фиг. 35 таб. VII). Однородное строеніе тростита позволяетъ предположить, что онъ представляетъ изъ себя промежуточное равновъсіе между фазами мартенсита и цементита+феррить.

При дальнъйшемъ нагръвании углеродистаго желъза въ моментъ критической температуры Ar₃ образуется слѣдующая болѣе устойчивая. аллотропическая структура, названная по имени лица ее открывшаго проф. Martens'a-мартенситомъ. Мартенситъ имъетъ характерное игольчатое строеніе (фиг. 14 таб. IV). Съ увеличеніемъ содержанія углерода въ желѣзѣ общій характеръ структуры не мѣняется, но возростаетъ твердость и нѣсколько мѣняется окраска при протравливаніи. Однородность строенія мартенсита позволяеть считать его твердымъ растворомъ карбида въ желѣзѣ. Чистый мартенсить получается при закалкѣ стали съ содержаніемъ углерода до 1,1%; при дальнѣйшемъ увеличеніи содержанія углерода и при повышеніи температуры до 1000° С, при условии быстраго охлажденія послѣ указанной температуры у стали появляется. новый структурный элементъ, названный Osmond'омъ aycreнитомь (фиг. 13 табл. IV). Аустенить въ чистомъ видѣ на шлифахъ стали не получается, онъ всегда представляетъ плотную массу, имъющую строение Видманштетовыхъ фигуръ, при чемъ темныя полосы этихъ фигуръ заполнены мартенситомъ. Отношение площадей, занимаемыхъ аустенитомъ и мартенситомъ, находится въ большой зависимости отъ содержанія углерода въ стали и быстроты охлажденія. Такь, при содержаніи углерода въ стали отъ 1,1% при указанной выше термической операціи появля-

¹⁰) Goerens. Metallographie. S. 167.

ются только слѣды аустенита; при 1,57% С въ стали—количества мартенсита и аустенита равны, а при 1,8% С количество аустенита составляетъ 70% площади шлифа, а остальное мартенситъ (по Osmond'y). Аустенитъ слѣдуетъ разсматривать какъ менѣе устойчивую аллотропическую фазу, соотвѣтствующую закалкѣ углеродистаго желѣза (желѣзэ ү изъ діаграммы Roseboom'a¹¹), а мартенситъ есть только видоизмѣненъе этой фазы съ начавшимся разложеніемъ на ферритъ и цементитъ.

Необходимо сказать еще нѣсколько словъ о пережогѣ углеродистаго желѣза,—послѣ охлажденія отъ температуръ около 1000° С, но при условіи продолжительности нагрѣва при этой температурѣ—въ мягкихъ желѣзѣ и стали происходитъ распаденіе зеренъ феррита съ исчезновеніемь очертанія самихъ зеренъ (фиг. 24 табл. VI), а въ болѣе твердой стали—значительное утолщеніе самой сѣтки феррита, окружающей значительныя площади перлита (фиг. 28 табл. VI). Въ рыхлыя щели меж ду зернами феррита или перлита въ періодъ высокаго нагрѣва проникаетъ кислородъ атмосферы, окисляетъ поверхность этихъ зеренъ и тѣмъ только способствуетъ нарушенію тѣсной связи между зернами, вызывая значительную хрупкость металла. Явленія первичной кристаллизаціи, которыя непосредственно слѣдуютъ за фазой аллотропическихъ измѣненій (названнсй нами вторичной кристаллизаціей), были разсмотрѣны нами въ первой части этой работы.

Измѣненіе структуры желѣза при прокаткѣ, волоченіи, штампованіи, ковкѣ, рѣзаніи и продавливаніи.

Температура, при которой оканчивается прокатка желѣза на лучпихъ изъ современныхъ заводовъ, бываетъ значительно ниже 1000° С, обычно температура окончанія прокатки весьма близка къ 850° С. На одномъ изъ южныхъ русскихъ заводовъ (именно Днѣпровскомъ) инженеромъ І. И. Ефрономъ были произведены продолжительныя наблюденія за прокаткою твердыхъ, марганцовистыхъ рельсовъ съ содержаніемъ С=0,48% —0,55% и Мп=0,92—1,11%; помощью оптическаго пиро метра г. Ефронъ опредѣлялъ температу Т начала прокатки по выходъ болванки изъ перваго ручья блюминга, когда болванка освобождалась отъ окалины, и температуру t—окончанія прокатки по выходъ изъ п.» слѣдняго ручья. Для семи рельсовъ указаннаго состава эти температуры колеблются ¹):

¹¹⁾ Т. Тихоновъ. Металлографія. Стр. 27.

¹⁾ А. Л. Бабошинъ. Записки И. Р. Т. О. 1807. Выпускъ IX – Х.

Измънение структуры желъза при механической обработкъ.

3) $T = 1220^{\circ}$.	t ==	10290	C.
(4) " 1200°	27	10000	17
5) " 1164 ⁹	1914	9640	•9
6) " 12830	977 I 37	10550	77
7) $, 1308^{\circ}$	27	10350	"

Изъ этой таблицы видно, что температура окончанія прокатки для наблюдаемыхъ рельсовъ колебалась отъ 738° до 1055°. Только одинъ рельсъ былъ оконченъ прокаткою при 738°, но по свидътельству г. Ефрона заканчивать прокатку твердаго рельса при столь низкой температурѣ для завода крайне затруднительно. За нормальную температуру окончанія прокатки слёдуеть считать 850-900° С. Указанная температура начала и окончанія прокатки такова, что изм'вненіе зеренъ желъза при ней вполнѣ возможно, но послѣднему мѣшаетъ механическая обработка металла. Для иллюстраціи послёдняго положенія обратимся къ разбору черт. 6 таб. XXIII. На этомъ чертежѣ графически изображень ранъе разсмотрън. нами общій законъ зависимости величины зерна отъ температуры нагрѣва, при чемъ по оси абсциссъ отложены величины зоренъ, а по оси ординатъ соотвѣтствующія имъ температуры. Предположимъ, что мы, начавъ прокатку при 1400° С механическою обработкою. довели величину зерна до ОН, соотвѣтствующей температурѣ В. Если послѣ этого наблюдаемое желѣзо начнетъ спокойно охлаждаться, то величина зерна согласно ранъе формулированныхъ положеній дойдетъ до нормальной величины ОЕ по кривой охлажденія BCN. Но въ дѣйствительности мы не даемъ металлу спокойно охладиться до температуры NE, а продолжаемъ прокатку металла дальше, отъ нѣкоторой среднея температуры С, при этомъ подъ вліяніемъ механическихъ усилій прокатки величина зеренъ металла снова уменьшается до нѣкотораго предѣла, равнаго абсциссѣ точки D. Затѣмъ въ промежуткѣ времени прокатки между двумя слёдующими ручьями величина зеренъ наблюдаемаго металла при условіи медленнаго остыванія вырастаеть до абсциссы точки К. Послѣ этого снова начнется продолжение прокатки, и, наконецъ, прокатка будетъ закончена при нѣкоторой температурѣ G. Послѣ этой температуры металлъ начнетъ медленно остывать, при чемъ зерна его начнутъ расти до предъла нормальныхъ по GT до величины зеренъ равной ОР. Такимъ образомъ при условіи существованія механи ческой прокатки ранёе разсмотрённый законъ измёненія величины зеренъ отъ температуры для разсматриваемаго случая выразится ломанной линіей BCDKMOPqrSGT. Если наблюдаемый образець послѣ послѣдняго ручья будетъ немедленно быстро охлажденъ отъ температуры G, го величина зерна его останется равной ОН и не достигнетъ величины ОР. Если же по выходѣ изъ послѣдняго ручья величина зерень даннаго желѣза будетъ больше нормальной, соотвѣтствующей температурѣ этого ручья, то при дальнѣйшемъ спокойномъ охлажденіи, вели-

чина зеренъ не уменьшится до нормальной, а сохранитъ свою величину Идеальнымъ случаемъ прокатки будетъ тотъ, когда величина зеренъ металла въ моментъ окончанія прокатки будетъ равна нормальной, соотвѣтствующей температурѣ окончанія прокатки (точкѣ G), но въ дѣйствительности при прокаткѣ: эту величину зерна можно получить только послѣ отжига до температуры G, а при обычныхъ условіяхъ прокатки конечная величина зерна для указанной температуры окончанія прокагки будетъ равной OP.

На практикѣ встрѣчаются случаи, когда сталь послѣ прокатки имѣ етъ величину зеренъ больше нормальной. Такъ, Howe²) приводитъ примѣръ, когда сталь (0,5% C), нагрѣтая до 1394°, затѣмъ медленно охлажденная до 963° и прокатанная при этой температурѣ, имѣетъ болѣе крупное зерно по сравненію съ той же сталью, нагрѣтой до 1339° и оттоженной при 966° C; при этомъ послѣдующія за прокаткой и отжигомъ условія охлажденія были одинаковы

Для большинства случаевъ горячей обработки желѣза вполнѣ примѣнимо извѣстное положеніе Д. К. Чернова и Sauveur'a, что "размѣръ зерна не зависитъ отъ степени механической обработки". Это положеніе безспорно въ томъ случаѣ, если степень механической обработки такова, что зерна желѣза по окончаніи механической обработки меньше нормальныхъ, то при этомъ условіи зерна, согласно ранѣе указанныхъ зависимостей, достигнутъ до нормальныхъ размѣровъ. Но если зерно, по окончаніи обработки, будетъ больше нормальнаго, то оно останется таковымъ у металла въ холодномъ состояніи и тѣмъ ухудшитъ его механическія свойства.

Для болѣе детальнаго освѣщенія вопроса объ измѣненіи въ строеныи желѣза при прокаткѣ нами при весьма любезномъ содѣйствіи администраціи Александровскаго завода Брянскаго О-ва въ Екатеринославѣ было взято по нѣсколько образцовъ прокатки проволоки по ручьямь и различныхъ сортовъ полосового желѣза; образцы брались отъ одно-о и того же куска послѣдовательно при прохожденіи его черезъ ручьи. Детальное изучение измѣнений структуры при послѣдовательномъ переходъ прокатки по ручьямъ привело къ выводу, что картина подобныхъ измѣненій структуры различныхъ образцовъ почти тождественна для всѣхъ наблюдаемыхъ случаевъ, а посему для иллюстраціи этого вопроса мы разсмотримъ картину измѣненій структуры мяткаго желѣза при послѣдовательной прокаткѣ проволоки черезъ 17 ручьевъ. Послѣдовательное измѣненіе профиля разсматриваемой прокатки проволоки сх:матически изображено на черт. 7 таб. XXV. Изъ образца каждаго калибра было сдѣлано по два шлифа, одинъ поперекъ, а другой-вдоль прокатки. Снимки съ изготовленныхъ образцовъ послъдовательно изо-

²⁾ Iron Steel and other Alloys. Crp. 255 H 265.

А. Л. Бабошинъ. З. И. Р. Т. О. 1907. Выц. IX – Х.

бражены при увеличени въ 100, на фиг. 36 таб. VIII по 69, таб. XIII включительно, при чемъ четные номера изображаютъ снимки со шли фовъ поперекъ прокатки, а нечетные—вдоль прокатки.

Послѣдовательное разсмотрѣніе шлифовъ приводитъ насъ къ слъдующимъ заключеніямъ: въ первыхъ четырехъ ручьяхъ (фиг. 36 по 43) металлъ находится въ состояніи особой тягучести, и очертаніе зеренъ, всл:дствіе высокой температуры прокатки, на шлифахъ не всегда отчетливо. Въ послѣдующихъ ручьяхъ до 17 включительно желѣзо имъ етъ явно зернистое строеніе, вальцы прокатныхъ становъ сильно дѣйствуютъ на эти зерна, вытягиваютъ ихъ въ правильные ряды по направленію прокатки. Особенно характерными шлифами для опредѣленія исправленія прокатки являются фиг. 47, 61, 59 и 65.

Въ первыхъ четырехъ ручьяхъ при прокаткѣ наблюдаемой нами проволоки весьма слабо деформировались зерна самого металла, а сжимались сначала пустоты и шлаки среди зеренъ металла. Слабой деформаціей зеренъ металла можно объяснить ту общую безпорядочность зеренъ, которую мы наблюдаемъ на шлифахъ первыхъ четырехъ ручьевъ, и вмѣстѣ съ тѣмъ это вполнѣ подтверждаетъ слова Д. К. Чернова, что обработка желѣза при сварочномъ каленіи не вліяетъ на структурное строеніе его. На основаніи полученныхъ шлифовъ и снимковъ съ нихъ былъ сдѣланъ подсчетъ числа зеренъ на поперечныхъ сѣченіяхъ шлифовъ по ручьямъ, и результирующая діаграмма такого подсчета изображена на черт. 8 таб. XXIV.

Изъ разсмотрѣнія этой діаграммы видно весьма рѣзкое измѣненіе въ площади зерна при переходѣ отъ 9 до 10 ручья. Надо полагать, что при температурѣ этихъ ручьевъ былъ законченъ интервалъ критич скихъ температуръ для даннаго металла, вслѣдствіе чего подъ вліяніемъ механической обработки зерна металла начали усиленно уменьшать свою площадь.

При переходѣ отъ 3 до 9 ручья площадь зеренъ измѣняется весьма слабо, и тѣмъ самымъ косвенно подтверждается ранѣе высказанное положеніе Д. К. Чернова относительно весьма слабаго измѣненія зерень при высокихъ температурахъ. Наоборотъ, при низкихъ температурахъ, при прокаткѣ въ послѣднихъ ручьяхъ, наблюдается сильное измѣненіе зеренъ съ сильнымъ разслоеніемъ послѣднихъ.

При разсмотрѣніи шлифовъ продольныхъ и поперечныхъ сѣченіи была обнаружена значительная неравномѣрность зерна. Почти вездъ площадь зерна у края шлифа для первыхъ ручьевъ меньше таковой же нежели у средины и для послѣдующихъ ручьевъ обратно,—площадь зерна у края шлифа больше нежели у средины. Причину такого явлснія для первыхъ ручьевъ можно объяснить вліяніемъ охлажденія желѣза валками. Съ начала прокатки подъ вліяніемъ быстраго охлажденія на поверхности прокатываемой проволоки образуются зерна съ тою ве личиною зерна, которая получилась у нихъ послѣ механической обработки, не успѣвъ дорасти до нормальной величины вслѣдствіе быстро-

ты охлажденія. Между тёмъ зерна средины прокатываемаго ручья подъ вліяніемъ высокой температуры въ промежуткахъ времени между ручьями прокатки успѣваютъ увеличить свою величину, слѣдуя ранѣе высказанному закону о нормальной величинѣ зерна для каждой температуры. Въ послѣднихъ же ручьяхъ прокатки, гдѣ температура прокатки будетъ низкой, наблюдается обратное явленіе, —величина зерень на поверхности свченія (у краевъ) нъсколько больше таковой у средины свченія. Послѣднее можно объяснить тѣмъ, что въ послѣднихъ ручьяхъ вслёдствіе низкой температуры послёдствія механической обработки оказываются наиболже рельефно на срединъ ручья, а именно: зерна на поверхности металла вслёдствіе охлажденія ихъ валками образовались ранѣе, затѣмъ въ послѣдующемъ ручьѣ они воспринимаютъ механическую обработку такого характера, которая увеличиваетъ ихъ способность сопротивляться механическимъ усиліямъ (равносильно холодной обработкъ), вслъдствіе чего они и сохраняютъ ранье полученную ими величину. Въ то же время зерна средняго съченія ручья подь вліяніемъ механической вытяжки валковъ сильно дробятся и уменьша. ютъ свою величину. Для болѣе детальнаго освѣщенія вопроса относичельно неравном врности зерна по площади ручья и по ручьямъ были изготовлены образцы шлифовъ отъ другихъ пробъ по прокаткъ проволоки того же діаметра. Образцы шлифовъ брались поперекъ и вдоль прокатки, а фотографические снимки дълались съ средины и края каждаго шлифа. Такимъ образомъ было изготовлено 68 снимковъ при общемъ увеличении равномъ 100. Для опредѣления величины подсчитывалось количество зеренъ на площади въ 300 mm.² На основании такого подсчета была построена діаграмма черт. 9 табл. XXVII на которой ломаная линія Ас относится къ срединъ наблюдаемыхъ шлифовъ, а Аккъ краю поперечныхъ сѣченій ручьевъ; ломанная Асх-относится къ срединѣ, а Ак×—къ краю продольныхъ сѣченій тѣхъ же ручьевъ.

Разсматривая ломанныя линіи Ас и Ак мы замѣчаемъ, что за исключеніемъ перваго ручья, линія Ак для воѣхъ остальныхь ручьевъ лежитъ выще Ас, т. е. зерна по краямъ шлифовъ поперечныхъ сѣченій крупнѣе зеренъ средины. По характеру линій Ас и Ак для продольныхъ сѣченій мы замѣчаемъ, что въ первомъ ручьѣ величина зеренъ въ среддинѣ нѣсколько больше, чѣмъ на краяхъ шлифа; во второмъ ручьѣ это неравенство сглаживается, а затѣмъ до 7-го ручья величина зеренъ средины меньше края. Въ седьмомъ ручьѣ величина зеренъ средины меньше края. Въ седьмомъ ручьѣ величина зеренъ средины ивается по сравненію съ таковой для края, въ девятомъ обѣ величины почти совпадаютъ; затѣмъ до 16-го ручья величина зеренъ у краевъ больше нежели у средины, а въ 17-мъ ручьѣ обратно. Вліяніе высокихъ температуръ и быстрыхъ охлажденій на структуру желѣза въ разсматриваемомъ случаѣ прокатки проволоки за малымъ исключеніемъ довольно рельефно подтверждается характеромъ разсмотрѣнныхъ линій, относящихся къ прокаткѣ въ первыхъ ручьяхъ; вліяніе механической вытяжки на структуру проволоки рельефно подтверждается въ послѣднихъ ручьяхъ (начиная съ 10). Отклоненіе послѣдняго 17-го ручья въ томъ смыслѣ, что величина зеренъ въ срединѣ оказалась больше таковой у краевъ, нужно объяснить значительнымъ дробленіемъ зерна въ послѣднемъ ручьѣ въ срединѣ съ образованіемъ пустотъ между зернами, которыя при подсчетѣ только увеличизаютъ площадь наблюдаемыхъ зеренъ.

На сл'вдующей діаграмм' (черт. 10 таб. XXVII) въ вид' линій, аналогичныхъ съ предыдущей діаграммой, изображены среднія значенія величины зеренъ для поперечныхъ съченій съ средины и края ручья (сплошная линія), и для продольныхъ-также съ средины и края каждаго ручья (линія изъ черточекъ), а затёмъ на основаніи двухъ предыдущихъ линій построена суммарная линія (линія изъ черточекъ съ точкою), выражающая общій характеръ измѣненій величины зеренъ при прокаткѣ проволоки въ зависимости отъ послѣдовательности чередующихся ручьевъ. На основании послѣдней линіи разсматриваемой діаграммы, мы приходимъ къ заключенію, что измѣненіе зеренъ при прокаткѣ въ смыслѣ уменьшенія ихъ величины слабо замѣтно въ первыхъ ручьяхъ благодаря значительной температуръ прокатки. Далъе: въ данномъ случав, начиная съ 7-го ручья и до конца прокатки, наблюдается общее уменьшение зеренъ металла при переходъ изъ одного ручья къ послѣдующему, при чемъ въ послѣднихъ ручьяхъ, вслѣдствіе сильнаго вліянія самой механической обработки на величину зеренъ обрабатываемаго металла, способствующей сохранению величины поверхностныхъ зерень и, наоборотъ, сильно уменьшающей величину зеренъ у средины свченія, — не замѣтно сильныхъ уменьшеній величины зеренъ. Нельзя не отмѣтить также того факта, что величина зеренъ на продольныхъ свченіяхъ по ручьямъ прокатки не увеличивается; слъдовательно, необходимо предполежить, что зерна въ началѣ прокатки слабо увеличиваются въ длину, затъмъ подъ вліяніемъ механическихъ усилій и сильнаго бокового давленія происходить дѣленіе ихъ на части, съ предварительнымъ переходнымъ образованіемъ шеекъ (перехватовъ) у зеренъ, о которыхъ говоритъ проф. Неуп³). У наблюдаемыхъ шлифовъ отъ прокатки полосового желъза характеръ измъненія структуры зеренъ былъ вполнѣ аналогиченъ съ предыдущимъ, при чемъ характеръ линій, выражающихъ эту зависимость, былъ близокъ къ послѣднимъ ручьямъ прокатки проволоки. Въ тонкихъ свченіяхъ полосового желѣза (1/8"×11/2") были сильно замѣтны продольныя щели по направленію прокатки. Посл'єднее можно объяснить не одинаковой величиной вытяжки верхней и нижней части свченія разсматриваемаго профиля, вслѣдствіе неправильной работы валковъ.

Изъ предыдущаго мы замътили, что величина зеренъ желъза не остается одинаковой даже для всего свченія одного и того же ручья, а вь зависмости отъ температуры и механическихъ условій прокатки сильно изм'вняетъ свою величину. Очевидно, эта разница въ величичнъ зеренъ будеть твмъ рельефнъе, чъмъ сложнъе будеть профиль изготовляемаго образца. Общая картина измъненій въ величинъ зеренъ металла по ручь. ямъ останется и у готоваго образца, если только послъдний не будетъ подвергнуть отжигу послѣ прокатки. Такая разница въ величинѣ зеренъ въ зависмости отъ температуры и условій прокатки по площади свченія образца существуетъ у всѣхъ сортовъ желѣза, вышедшихъ изъ прокат ки безь отжига, и для иллюстраціи посл'вдняго положенія въ Металлографической Лабораторіи Томскаго Технологическаго Института были изслёдованы профиля обычныхъ рельсъ, для чего съ испытуемаго рельса изготовлялась сначала общая макроструктура для сужденія объ общен структурѣ рельса, а затѣмъ рельсъ разбивался на пояса, пояса дълились на части, изъ которыхъ готовились шлифы поперекъ прокатки. Шлифы фотографировались при увеличении 120, и на кружкъ такихъ фотографій съ діаметр. 7,2 ст. опредълялось число зеренъ. Подобное двленіе на части одного изъ такихъ свченій рельса изображено на черт. 11 табл. XXVШ, а результаты общаго подсчета числа зеренъ по сѣченіямъ рельса изображены ломанными линіями 1 по VI-ую включительно на табл. XXIX. Изъ разсмотрѣнія первой ломанной линіи (число зеренъ указано на ординатахъ, а цифры на абсциссъ обозначаютъ номера шлифовъ по съчению рельса) отчетливо видно, что величина зерень стали въ срединъ головки рельса значительно больше (почти въ два раза) таковой же украевъ рельса. При переходъ головки рельса къ шейкъ, вслѣдствіе значительнаго уменьшенія сѣченія рельса и сопряженнаго съ этимъ быстраго охлажденія металла, разница въ величинъ зеренъ средины и краевъ сглаживается. На съчении шейки замътно увеличение зеренъ въ одну (правую) сторону, что цѣликомъ объясняется неравномѣрностью охлажденія рельса послѣ прокатки. Послѣднее положеніе вполнѣ подтверждается сдѣланными контрольными шлифами образцовъ взятыхъ съ лѣвой и правой стороны изъ крайнихъ точекъ, число зеренъ на фотографіяхъ которыхъ изображено цифрами на фиг. 11 таб. XXVIII.

Изъ сопоставленія послѣднихъ цихръ зеренъ на шлифахъ отчетливо видно, что правая сторона рельса послѣ прокатки охладилась быстръе лѣвой, вслѣдствіе чего и величина зеренъ у кромки меньше, нежели у лѣвой стороны. Діаграммы IV и V ясно иллюстрируютъ то положеніе, что величина зеренъ желѣза въ большихъ сѣченіяхъ наблюдаемаго образца у краевъ мельче, нежели въ срединѣ. Затѣмъ діаграмма VI показываетъ общее уменьшеніе величины зерна отъ головки къ подошвѣ рельса, что вполнѣ естественно было ожидать, такъ какъ процессъ остыванія металла и дѣйствіе механическихъ усилій при прокаткѣ наиболѣе сильно сказывается на величинѣ зерна въ меньшихъ сѣченіяхъ рельса у

Измънение структуры желъза при механической обработкъ.

его подошвы. Таким образомъ, кратко формулируя только что издоженное изслѣдованіе строенія рельсь по сѣченію, приходимъ къ слъдующимъ заключеніямъ: головка рельса обладаетъ довольно крупной кристаллизаціей, при чемъ по срединѣ ея она довольно однородна. Шейка рельса имѣетъ болѣе мелкое строеніе по сравненію съ головкой, но замѣтно уменьшеніе зерна въ правую сторону разрѣза, что вполнѣ подтверждается изслѣдованіемъ крайнихъ боковыхъ точекъ и подтверждаетъ наше предположеніе относительно неравномѣрности охлажденія рельса послѣ прокатки на стелюгахъ. Подошва рельса имѣетъ болѣе мелкое строеніе по сравненію съ головкою, что объясняется вліяніемъ быстроты охлажденія и большимъ вліяніемъ механической обработки нри прокаткѣ. Механическая обработка при прокаткѣ наиболѣе рѣзко отразилась на крайнихъ точкахъ рельса, вызвавъ медкое дробленіе зерзерна.

Въ предыдущемъ мы довольно долго остановились на разсмотрѣніи вопроса объ измѣненіи зеренъ желѣза при прокаткѣ, взявъ для детальнаго освѣщенія этого вопроса образцы отъ одного куска прокатной проволоки. Теперь разсмотримъ дальше, какъ измѣняется строеніе проволоки при дальнѣйшей обработкѣ—волоченіи. Образецъ при волоченіи былъ взятъ отъ одного мотка проволоки по мѣрѣ прохода ея при волоченіи черезъ глазокъ, но былъ пропущенъ вслѣдствіе практическихъ неудобствъ только одинъ отжигъ проволоки въ срединѣ волоченія. Химическій составъ послѣдней проволоки приблизительно одинаковъ съ химическимъ составомъ той проволоки, что была разсмотрѣна нами при фтрокаткѣ ⁴) Фотографіи съ изслѣдованныхъ образцовъ изображены при увеличеніи 150 на фиг. 70 табл. XШ по 103 табл. XIX включительно, при чемъ нечетные номера относятся къ продольнымъ сѣченіямъ изслѣдуемыхъ образцовъ, а четные—къ поперечнымъ.

Чтобы лучше уяснить себё картину, даваемую микроскопомы, мы должны разсмотрёть пріемы механической обработки, которой подверглись нами образцы.

Матеріалъ для волоченія, строеніе котораго видимъ на шлифахъ фиг. 70 и 71, поставляется заводу и является продуктомъ прокатки, что и замѣтно по оставшимся пустотамъ вдоль оси. На заводѣ передъ пускомь въ волочильную доску матеріалъ отжигается. Волочильныя доски представляютъ металлическія пластинки, снабженныя отверстіями различ ной величины. Въ эти отверстія заправляютъ кусокъ проволоки, затѣмъ захватываютъ по другую сторону доски особыми клещами, которыми и тянутъ проволоку. Но такъ какъ поперечное сѣченіе отверстія въ волочильной доскѣ менѣе сѣченія обрабатываемой проволоки, то поелѣдняя сжимается и утончается, принимая сѣченіе по формѣ и величинъ

⁴) Образны проволоки разсмотрённой при прокаткъ приналлежатъ Александровскому заведу Брянскаго О-ва, а образцы по волоченію проволоки сосёднему заводу О-ва Гантке, который беретъ проволоку на первомъ заволь.
приблизительно сходное съ отверстіемъ волочильной доски. Мы говоримъ "приблизительно", такъ какъ по выходъ изъ глазка волочильной доски, вслёдствіе прекращенія сжимающаго усилія съ одной стороны и упругости матеріала съ другой, проволока нѣсколько утолщается. Это доказывается твмъ, что если только что протянутую проволоку просунуть снова въ тотъ же глазокъ и снова начать тянуть, то усиліе будетъ больше, чёмъ требовалось-бы на треніе о стёнки глазка. Опытомъ найдено, что для желѣза требуется для вторичнаго протягиванія ¹⁰/22 первоначальнаго усилія. При волоченіи большую роль играеть форма самаго глазка и состояние его поверхности. Самой простой формой глазка является цилиндрическое отверстіе, но вм'вст'в съ тёмъ и самой невыгодной, такъ какъ вся работа, сдавливанія и уплотненія проволоки, выносится только свченіемъ глазка въ плоскости волочильной доски. Такое мгновенное измѣненіе поперечнаго сѣченія входящей проволоки можеть служить причиной сръзанія и перекусыванія. Благодаря какъ-бы соскабливанію матеріала наружной кромкой такого глазка и отсутствію участія въ волоченіи остального свченія получается выкрашиваніе этой кромки и полная негодность волочильной доски. Самой совершенной формой является глазокъ, состоящій изъ 2-хъ усвченныхъ конусовъ (фиг. 12а табл. XXVIII), сложенныхъ малыми основаніями, при чемъ средняя кромка закруглена. Здёсь отсутствуеть рёзкое измёненіе поперечнаго съченія и соскабливаніе матеріала. Изготовленіе такого глазка и необходимая тщательная его полировка представляють большія затрудненія, почему его и употребляють только для такихъ сортовъ проволоки изъ драгоцённыхъ металловъ. Обыкновенной формой глазка является форма цилиндро-коническая съ закругленіемъ средняго ребра (фиг. 12b табл. XXVIII). Итакъ, часть проволоки между клещами и волочильной доской растягивается, часть же, проходящая черезъ волочильное отверстіе, сжимается, при чемъ матеріалъ на поверхности приводится въ пластичное состояние и испытываетъ напряжение, соотвѣтствующее давленію истеченія. Обозначимъ черезъ d и d₁ діаметръ проволоки до и послѣ волоченія, черезъК_z-напряженіе растянутой части, а черезъ 8-давление на поверхности конуса волочильнаго отверстия; черезъ f-коэф. тренія между проволокой и волочильной доской (см. черт. 13 табл. XXVIII). Из условія равновѣсія можемъ написать слѣдующее равенство:

$$\frac{\pi d_1^2}{4} K_z = Z d F. \delta. \sin \alpha + Z d F. \delta. f. \cos \alpha;$$

но ZdF есть боковая поверхность устченаго конуса, слъдовательно:

Z d F =
$$\frac{d + d_1}{2}$$
 π . a. b. = $\frac{d + d_1}{4}\pi$. $\frac{d - d_1}{2 \sin \alpha} = \frac{\pi}{4} \cdot \frac{d^2 - d_1^2}{\sin \alpha}$

(гдѣ а b образующая конуса).

Подставивъ это значение получаемъ:

Anges Riberry

DOLAHALAR AGDESP

$$rac{{
m d}_1{}^2}{4}{
m K}_{
m z}=rac{\pi}{4}\,({
m d}^2-{
m d}_1{}^2)\,\,\delta.\,(1+{
m f.\,ctg}\,.\,lpha),\,$$
откуда

$$K_z = \left[\left(\frac{d}{d_1} \right)^2 - 1 \right]. \delta. (1 + f. ctg. \alpha)$$

напряженіе δ можетъ быть взято 40 klgr. m/m; уголъ $\alpha = 15^{\circ}$, коэф. тренія f = 0,1.

Для уменьшенія тренія металла о стѣнки волочильнаго отверстія проволока смазывается саломъ, масломъ, или мыльною водою.

Измѣненіе діаметровъ изслѣдуемой проволоки слѣдующее:

2)	7,12 m/m.	7) 2,62	m/m.	12)	1,33	m/m
3)	6,06	8) 2,15		g 13)	1,14	
4)	5,02	9) 1,98		14)	1,00	
5)	4,08	10) 1,76		15)	0,82	
6)	3,26	11) 1,58		16)	0,75	

Измѣненіе отношенія діаметровъ между 2 и 3 глазкомъ:

2 и 3 = 1,18	6 u $7 = 1,27$	10 и 11 = 1,11
3 и $4 = 1,2$	7 и 8 = 1,22	11 и 12 = 1,18
4 и 5 =- 1,23	8 и 9 = 1,08	12 и 13 = 1,17
5 и 6 = 1,23	9 и 10 = 1,13	13 и 14 = 1,14
14 и 15 = 1,22	15 и 16 — 1,09	

Напряженіе растяженія, испытываемое матеріаломъ проволоки при переходѣ отъ d до d₁, получаемъ приблизительно:

21	1 3	3]	Kz	= ((1, 1)	$8^{2}-$	-1).	40.	. (1	+-0,	37) =	= (1,18	32	1). 5	4,8	= 2	21,4	k kl	gr.	
31	14	ŀ	97	11117	(1,2	$2^2 -$	-1).	54,	8 =	24,1		9и	10	Kz	=(1	,132	$^{2}-1$). 5	4,8	= 1	5
4 1	1	5	,	100	(1,2	$23^{2}-$	-1)	. 54,	8 ==	28	NO THE	10 и	11	77	(1	,112	2-1), 5	4,8	=1	2,6
51	16	3	5	6.	(1,2	$25^{2}-$	-1).	54,	8=	30,4	mil	1 и	12	27	(1	,18 ²	-1). 5	4,8	=2	1,4
6 1	17	7			(1,2	$24^{2}-$	-1)	. 54,	8=	28,4	(666	12и	13	7;	(1	,17 ²	2-1). 5	4,8	=2	0,2
71	1 8	8	1119	, 6 th	(1,2	$22^{2}-$	-1)	. 5.4,	8=	26,8	(四)(四)	13 v	114	,,,	(1	,142	$^{2}-1$). 5	4,8	-= 1	6,4
81	и.	9	Ri I	19M	(1,(082+	+1)	. 54,	8=	8,8		14 1	1 15	77	(1	,22	$^{2}-1$). 5	4,8	=2	6,3
	.'11			(Her	EI.	15	и 1	6 K	Z'=	(1,0	9 ² -	-1)	54,8	3=1	0,1	klg	r.				

Подобный приблизительный подсчеть показываеть, что напряженіе, испытываемое матеріаломъ проволоки, выходить въ большинствѣ случаевъ за предѣлы упругости. Обратимся къ опытамъ, произведеннымъ проф. Hein'омъ (Z. d. V. J. 1900 г. №14). Для опыта имъ была взята прокатная проволока изъ мягкаго литого желѣза, состоявшаго исключительно изъ зеренъ феррита, величина которыхъ была одинакова, какъ въ продольномъ, такъ и въ поперечномъ сѣченіи. Образецъ былъ разорванъ на разрывной машинѣ. Оказалось, что близъ мѣста разрушенія зерна. вытянулись, при чемъ поперечное сѣченіе зеренъ уменышилось, а длина зеренъ увеличилась сравнительно съ первоначальными размѣрами. Въ результатѣ объемъ зеренъ уменьшился. Проволока, протянутая черезъ волочильную доску до 3,7 mm. въ діаметрѣ, имѣла зерна вытянутыя, прч чемъ поперечное. сѣченіе уменьшилось, длина же осталась безъ измѣненія (немного уменьшилась). Желая дать представленіе о размѣрахъ зеренъ по различнымъ направленіямъ, проф. Неіп изображаетъ зерна въ видѣ призмы съ квадратнымъ основаніемъ, площадь котораго равна площади поперечнаго сѣченія зерна, а длина призмы взята такая, чтобы объемъ призмы былъ равенъ объему зерна. Величины зеренъ, измѣренныхъ въ тысячныхъ доляхъ миллиметра, получились такія:

	Ст рэна квадрата основанія въ Н	Длина призмы.	Объемь въ Н ³ .
1)	41,5	41,5	68890
2)	14,4	77,1	16191
3)	19,0	34,5	12178

Зерна въ томъ и другомъ случав уменьшились по своимъ размърамь. Произошло ихъ дѣленіе, но по различнымъ причинамъ. При разрывѣ зерна вытягивались, когда переходили извѣстный предѣлъ, то разрывались на части. Длина зеренъ увеличилась почти вдвое. При волочении зерна подвергались главнымъ образомъ поперечному сжатію. Дёленіе зерень произошло отъ того, что матеріалъ, сжимаясь неодинаково въ различныхъ мѣстахъ, образовывалъ сначала шейки, а затѣмь окончательно отдѣлялась одна часть зерна отъ другой. Обращаясь къ шлифамъ, изготовленнымъ нами, мы наблюдаемъ слѣдующую картину. Шлифъ фиг. 70 и 71 таб. XIII. Проволока, полученная съ завода, но претянутая черезъ глазокъ для приданія круглой формы сѣченія; предварительно отожжена. Форма зеренъ феррита почти одинаковая, какъ вь продольномъ, такъ и поперечномъ сѣченіи. Увеличеніе размѣровъ зеренъ феррита по сравненію съ шлифомъ фиг. 72 и 73 таб. XIV показываеть довольно высокую температуру отжига. (Послѣдніе шлифы относятся къ проволокъ, полученной съ завода). Пустоты, оставшіяся послѣ прокатки вдоль продольной оси, сдѣлались нѣсколько меньшими по величинъ. Произошло нъкоторое уплотнение матеріала. Шлифъ фиг. 74 и 75 таб. XIV. Удлиненіе зеренъ феррита, имѣющихъ уже меньшую величину по сравнению со шлифомъ фиг. 71, еще не такъ ръзко выражено. Присутствіе пустоть становится менѣе замѣтнымъ. Шлифъ фиг. 76 и 77 таб. XIV. Здёсь уже рёзко выступаеть на сцену удлинение зерень и уменьшение ихъ величины въ поперечномъ съчении, форма котораго сильно отступаеть отъ контура зеренъ шлифа фиг. 74. Зерна феррита уже не могуть сохранить болёе или менёе правильную форму, вслёдствіе испытываемаго сильнаго бокового давленія при прохожденіи ч. резъ глазокъ волочильной доски. Такое сильное измѣненіе формы зеренъ феррита объясняется довольно значительнымъ напряжениемъ растяженія проволоки при прохожденіи черезъ это отверстіе. По Осмонду, желѣзо можетъ находиться въ 3-хъ аллотропическихъ состояніяхъ у, 3 и α. Видоизмѣненія желѣза γ и β магнитныхъ свойствъ не имѣютъ, видоизмѣненіе же желѣза α-магнитно. Переходъ желѣза γ въ β совершается около 900°. Видоизмѣненіе β, содержащее большее количество углерода, болѣе твердое и хрупкое по сравненію съ а. Различіе зеренъ феррита по твердости становится замътнымъ, начиная со шлифа фиг. 78 и 79 т. XV. Въ то время, какъ зерна феррита а являются болѣе вытянутыми и бол. гонкими, зерна 3 стремятся сохранить свою величину. Длина зеренъ 3 меньше, и они гораздо толще, и довольно ръзко выдъляются на общемъ фонъ благодаря шероховатости своей поверхности. Травленіе производилось реактивомъ Курбатова (4% раствора азотной кислоты въ амилъ-алкоголѣ). Азотная кислота дъйствуетъ тъмъ сильнъе, чъмъ тверже и менње чистъ металлъ. Поэтому зерна 3 и получились болње шероховатыми. Если обратиться къ поперечному свченію, то мы увидимъ извилистую форму съченія зеренъ, и здъсь довольно замътна разница зеренъ а и 3. Сильное поперечное сдавливание матеріала оказываетъ свое вліяніе, и отдѣлить одно зерно отъ друг. становится труднье. Еще рѣзче наблюдается разница между а и в на послѣдующихъ шлифахъ фиг. 80 и 81 таб. XV и дальше. Величина зеренъ убываетъ въ поперечномъ сѣченіи, и сильно увеличивается ихъ длина, но зерна β имѣють большую величину поперечнаго свченія по отношенію къ длинь, чѣмъ а. Зерна 3, сохраняясь при растяжении и сжати, начинаютъ страдать благодаря своей хрупкости при скольжении. При протягивании проволоки черезъ глазокъ возбуждается сильное треніе между боковой поверхностью проволоки и глазка. Сила тренія вызываеть скольженіе матеріала, лежащаго ближе къ поверхности относительно средней части. Если обратить внимание на конецъ протянутой проволоки, то всегда увидимъ вытянутую поверхность, что ясно показываетъ смъщеніе матеріала въ центральной части относительно поверхности. Разсматривал поперечныя съченія, мы наталкиваемся на слъдующее обстоятельство. Величина зеренъ замѣтно измѣняется отъ периферіи къ центру. Для большей ясности въ разницѣ по величинѣ зеренъ, лежащ. около периферіи и центра, сдъланы снимки шлифовъ съ увеличеніемъ 800 : 1 См. фиг. 88 и 89 таб. XVII. Одинъ снимокъ показываетъ размъры зеренъ около поверхности, другой въ средней части. Постараемся нъсколько выяснить себѣ причину подобнаго явленія. Разъ зерна получились меньше въ срединѣ, значитъ металлъ въ средней части болѣе вытянулся по сравненію съ наружной частью и, испытывая боковое давленіе, онъ ока-

зался болёе сжатымъ. Какъ мы уже сказали, проволока при прохожде-

ніи черезъ волочильное отверстіе испытываетъ сильное треніе. Работа силы тренія уходитъ на нагрѣваніе. Это явленіе сильно замѣтно; рабочіе принуждены бываютъ даже пользоваться руковицами. Подсчитазмъ приблизительно то количество тепла, которое выдѣлится благодаря силѣ тренія. При этомъ мы сдѣлаемъ предположеніе, что все выдѣлившееся тепло пойдетъ на нагрѣваніе проволоки. Уголъ α глазка ∞15°. Давленіе сжатія 40 klg./mm.². Коэффиціентъ тренія, принимая во вниманіе смазку проволоки передъ волочильнымъ отверстіемъ, возьмемъ 0,1. Скорость прохожденія проволоки примемъ, согласно даннымъ Кнаб бе "Производство проволоки". Боковая поверхность—

-00(-00[Ліам. проволоки въ m/m.	Боковая поверхность въ m/m. ²	Сила тренія въ klgr.	Сворость въ mtr. въ 1"	Работа въ klgr. met.
2)	7,12	$(50,7-36,7) \cdot 3,04 = 426$	170,4	0,255	43,5
3)	6,06	(36,7-25,2). $3,04=38$	152	0,3	45,6
4)	5,02	(25,2-16,7). $3,04=25,8$	123,2	0,3	36.9
5)	4,08	(16,7-10,6). $3,04=18,5$	74	0,45	33,3
6)	3,26	(10,6-6,9). $3,04=11,3$	45,2	0,6	27,1
7)	2,62	$(6,9-4,6) \cdot 3,04 = 7,0$	28 0 11	0,65	16,8
-8)	2,15	$(4,6-3,9) \cdot 3,04 = 2,1$	8,4	0,7000	5,8
9)	1,98	(3,9-3,1). $3,04=2,4$	9,6	0,75	6,7
10)	1,76	(3,1-2,4). $3,04=2,1$	8,4	0,8	6,7
11)	1,58	(2,4-1,76). $3,04 = 1,94$	⁹ 19101 7,7	0,9	6,9
12)	1,33	$(1,76 - 1,3) \cdot 3,04 = 1.4$	5,6	1,05	5,6
13)	1,14	$(1,3-1) \cdot 3,04=0,9$	3,6	1,2	4,3
14)	1	(1, -0, 67). $3, 04 = 1.01$	4	1,3	5,2
15)	0,82	(0,67-0,56). $3,04=0,33$	1.3	1,4	1,8

 $= \frac{\pi}{4} \cdot \frac{d^2 - d_1^2}{\sin \alpha}; \sin \alpha = 0,259; \frac{\pi}{4} \sin \alpha = 3,04;$

Если сдѣлать предположеніе, что все тепло идеть на равномѣрное по поперечному сѣченію нагрѣваніе проволоки, то мы получимь приблизительно слѣдующее повышеніе температуры г для каждаго случая:

Объемъ проволоки въ ст. ³	Вбуь въ klgr.	Колич. тепла.	Повышеніе температуры.
3),0,288 . 25=7,2	0,0554	0,1	0,0554. 11.r=0,1 ;r=16,5
4) 0,198 . 30=4,94	0,038	0,106	0,038 .0,11 r = 0,106;r=25,3
5) 0,13 . 30=3,9	0,03	0,086	0,03 $.0,11.r = 0,086; r = 26$
6) $0,0835$ $45=3,76$	0,0289	0,078	0,0289.0,11 r=0,078;r=24,8
(7) $0,0539.60=3.23$	0,0279	0,063	0,0279.0,11.r = 0,063; r = 23
8) 0,0363. 60 = 2,36	0,0182	0,039	0,0182.0,11.r=0,039;r=19,5
9) 0,0307. 70=2,15	0,0166	0,013	$0,0166\ 0,11.r=0,013;r=7,1$

40

Измънение структуры желъза при механической обработкъ.

1 9/ 1 10 -91L	Объемъ про въ с) ВОЛОКИ Т.³	Вѣсъ въ klgr.	Колич. тепла.	Повышеніе тем п ературы.
10)	0,0243. 75	=1,84	0,0142	0,015	0,0142.0,11 r=0,015;r=9,6
11)	0,0196. 80	=1,56	0, 012	0,015	0, 012.0, 11 $r = 0.015; r = 11.3$
12)	0,0139.90	=1,25	0,0096	0,016	$0,0096.^{(1)},11$ r = $0,016$;r = 15
13)	0,0102.105	=1,07	0,0082	0,013	0,0082.0,11.r = 0,013;r = 12,7
14)	0,0078 120	=0,94	0,0074	0,010	0,0074.0,11 r = $0,010$;r = $12,3$
15)	0,0052.130	=0.68	0,0052	0,012	0,0052.0,11 r = $0,012$;r = 21
16)	0,0044.140	=0,62	0,0048	0,005	0,0048.0,11.r = 0.005;r = 25
16)	0,0044.140	=0,62	0,0048	0,005	0,0048.0,11.r = 0.005; r = 25

Подобный приблизительный подсчеть повышенія температуры произведень въ предположеніи равномѣрнаго нагрѣванія проволоки, слѣдовательно, при мгновенномъ распространеніи тепла. Подобное предположеніе въ дѣйствительности не можетъ быть при такой довольно значительной скорости протягиванія проволоки. Если даже предположить, что тепло при прохожденіи черезъ волочильное отверстіе будетъ распространяться по закону прямой линіи съ maximum'омъ на периферіи и О около центра, то наибольшее повышеніе температуры около поверхности получимъ изъ слѣдующаго соотношенія:

 $^{2}/_{3}$ R . $\frac{\pi D^{2}}{4}$ = r $\frac{\pi D^{2}}{4}$; откуда R = $^{3}/_{2}$ r

rnegge en

или согласно подсчету maximum повышенія 26. ³/₂=39°. Посмотримъ теперь, какъ измѣняются свойства желѣза относительно сопротивленія растягивающимъ усиліямъ при нагрѣвѣ. Для этого воспользуемся дгаграммой, данной Бахомъ, вліянія температуры на сопротивленіе желѣза растяженію. См. фиг. 14 таб. XXVIII. Наиболѣе наглядною для даннаго случая является кривая уменьшенія поперечнаго сѣченія ψ и кривая растяженія φ.

Кривая ↓ измѣненія поперечнаго сѣченія при растяженіи показываеть, что вязкость желѣза съ повышеніемъ температуры сильно падаетъ. Махітит измѣненія поперечнаго сѣченія соотвѣтствуетъ ∞ 300°, что даетъ температуру синяго нагрѣва, при которой желѣзо становится хрупкимъ. Міпітит φ соотвѣтствуетъ температурѣ 160°. Кривыя соотвѣтствуютъ онытамъ, произведеннымъ надъ брусками изъ литого желѣза, которое имѣло эти свойства при комнатной температурѣ.

Сопсотивлен е рас	стяженію.	Удлинение на	, 100 mm	Поперечное	сжате.
Въ первонач. видѣ,	Въ І отожжен.	Зъ первонач. видъ.	Въ отожжен.	Въ цервонач. видъ.	Въ отожжен.
4100 klgr.	3840	26,9%/0	3 0,4°/ ₀ .	48,3%/0	58,6%/0

Если принять начальную температуру проволоки 20° и повышение ся у поверхность аго слоя на 40°, то получимъ уменьшение растяжения

для наружныхъ вслоконъ по сравнению съ среднею частью на 25.7%. и уменьшение вязкости на 6,5%. Можно предположить, что измъненіе сопротивленія желѣза въ зависимости отъ нагрѣванія и служитъ причиной неодинаковаго измёненія величины зеренъ. Разъ матеріаль въ средней части болѣе вязокъ и способенъ сильнѣе растягиваться. безусловно среднія волокна проволоки при прохожденіи черезъ волочильное отверстие деформируются болье наружныхъ, которыя задерживаются силой тренія. Образующееся вслѣдствіе этого скольжение и вліяеть на зерна 3 такъ, что является разслаиваніе матеріала. Если мы обратимъ внимание на снимки, то легко замътимъ, что наблюдаемое разслаивание матеріала всегда находится около зеренъ 3. Вначалѣ наблюдается слабая разслойка на продолжении продольной оси зерна. При дальн волочени становится зам втнымъ и разрушение самого зерна. Слабое растрескивание зерна 3 переходить въ большую продоль ную разслойку. Поперечный размёръ этой разслойки нёсколько уменьшается въ дальнъйшихъ ручьяхъ вслъдствіе значительнаго поперечнаго сжатія матеріала при прохожденіи черезъ глазокъ. Итакъ, картины нашихъ шлифовъ даютъ намъ право сдълать слъдующія заключенія относительно измѣненія структуры желѣза при волоченіи.

1) При прохожденіи черезъ волочильное отверстіе величина поперечнаго сѣченія зерна уменьшается. Присутствіе высокаго напряженія при растяженіи вліяеть на удлиненіе зеренъ. Сильное поперечное сжатіе матеріала вызываетъ раздѣленіе зеренъ по ихъ длинѣ, образуя сначала шейки.

2) Размѣры зеренъ по величинѣ не одинаковы для всего поперечнаго сѣченія. Величина ихъ возростаетъ отъ средней части къ периферіи, вслѣдствіе различія въ сопротивляемости.

3) Различная сопротивляемость зеренъ и сила тренія о глазокъ вызываетъ скольжение внутреннихъ волоконъ относительно наружныхъ, служа причиной разслаиванія матеріала. Послѣ нѣсколькихъ протяжекъ при производствѣ проволоки, которая становится жесткой и начинаеть рваться, ее отжигають, чтобы измѣнить волокнистое строеніе на зернистое и тёмъ улучшить качество матеріала. Чтобы показать, какъ измъняется строеніе матеріала при отжигѣ, нами приведены образцы отожженной и протравленной для уничтоженія окалины проволоки. Фил. 104, 105 таб. XX; причемъ первая-отожжена. Величина зеренъ зависитъ отъ температуры отжига. Въ началъ происходитъ дъление зеренъ по длинѣ, а затѣмъ ужъ только при болѣе высокой температурѣ около 900° можетъ быть образование болѣе крупныхъ зеренъ. При этомъ слѣдуеть зам'втить, если температура отжига была не достаточно высока, то разница въ величинѣ зеренъ центральныхъ и близкихъ къ периферіи наблюдается и послѣ отжига, какъ, напримѣръ, особенно рѣзко замѣтно это на торцъ проволоки, шлифъ фиг. 104. Прослъдить вліяніе протравы на образование зеренъ намъ не удалось.

Измънение структуры желъза при механической обработкъ.

Стремленіе къ удешевленію при массовомъ производствѣ и необходимость имѣть одинаковые размѣры изготовляемыхъ предметовъ привело къ штампованію. Штампованіемъ можно назвать приданіе матеріалу необходимаго вида при помощи формы путемъ давленія. Отсюда предполагается, что матеріалъ долженъ обладать пластичностью пръ сдавливаніи, но довольно часто для уменьшенія давленія работу производятъ при высокой температурѣ нагрѣва.

Относительно того, какъ измѣняется сопротизленіе желѣза сдавливанію, можно указать на опыты Daelen'а. Для погруженія бойка въ болванку на одну и ту же опредѣленную глубину тр бовалось давленіе.

При	желтомъ калении.	OH HOG	0.	021	SHO	5,14	klgr	на	1	m/m.	болванки.
29	оранжевомъ "	den mr	0.00	4.1	II.I	5,99	,,,		57	HAVEN	эн "ятроп
"	красномъ "	ана 7.9.8	H.	H.M	101	6,31	"		"		neperein
, ,,	темно-красномъ' н	аленіи	aß	6,1	4	14,90	944		77		i maonor.
77	буромъ	,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,	14.	9À1	00	16,40	77		27		n Rangono
>>	черномъ	1)	901	14.9	19.9	20,80	27		77	HOBOG!	III VICEOR
			1. 6 1.3								

Штампование нагрътато матеріала аналогично ковкъ, только соогвътствующая форма достигается при помощи углубленія въ штампъ, которое заполняется матеріаломь благодаря ударной нагрузкѣ или плавному давленію. При штампованіи ударомъ утилизируется живая сила ударяющаго приспособленія и является возможнымъ пользоваться для приведение въ дъйствие ударника паромъ, воздухомъ или простымъ приводомъ, которымъ довольно часто пользуются въ небольшихъ производствахъ, ставя приводные молота или даже рычажные. Такъ въ большом 5 количествѣ вырабатываются мелкіе предметы, напримѣръ, болты, костыли, заклепки и проч. На величину и видь зеренъ феррита сильно вліяеть температура, при которой окончена обработка. Если ковка оканчивается ниже точки Ar₁, или близко къ ней, то во все время своего образованія зерна феррита подвергаются обработкѣ, и благодаря ударамъ и сотрясеніямъ строеніе получается мелкозернистое. Этимъ объясняется, почему кузнецы продолжають наносить удары по отковываемому предмету, пока онъ не охладится ниже точки Ar₁. Если работа закончена при довольно высокой температурѣ, то зерна феррита могутъ получить свою нормальную форму вполнѣ самостоятельно. Мы сравниваемъ штампованіе въ горячемъ видѣ съ ковкой, только число ударовъ здѣсь сведено до minimum'a, напримѣръ, до одного, рѣдко до двухъ. Сюда мы, конечно, не относимъ штампованіе въ горячемъ или холодномъ видѣ плавнымъ давленіемъ, какъ, напр., штампованіе котельныхъ днищъ, чеканка, вытяжка, гидравлическая штамповка. Въ нашемъ распоряжени были только образцы штамповки въ горячемъ состояни--головки заклепокъ, и холодномъ-гвозди. Для иллюстраціи по этому вопросу возьмемъ заклепки 1/4" и 5/8" и гвозди 1/16" и 1/8".

Снимки частей головокъ заклепокъ по продольному сѣченію (см. фиг. 106 и 108 таб. XX) сдёланы по линіи, служащей продолженіемъ крайней образующей цилиндрической части тѣла. Приблизительно въ этомъ же мѣстѣ сняты образцы поперечныхъ сѣченій (см. фиг. 107 и 109 таб. XX). Какимъ образомъ деформировался матеріалъ при изготовлени головокъ заклепокъ, можно замѣтить по формѣ прослоекъ, оставшихся въ тѣлѣ заклепокъ. Продольныя волокна, оставаясь нараллельными въ стволѣ, измѣнили направленіе въ головкѣ. Они сильно раздались въ стороны по серединъ головки, сохранивъ немного свое направленіе только въ самомъ верху головки. Величина зеренъ сильно мѣняется въ различныхъ мѣстахъ головки. Въ мѣстѣ окончанія ствола еще остается нетронутой часть шаровидная, зерна которой по сравнению со стволомъ почти не измѣнились. Отъ этой выпуклости наблюдается волокнистый переходъ къ боковымъ частямъ головки. Наружная, поверхностная частъ головки, какъ верхняя часть, соприкасавшаяся со штампомъ, такъ и опорная плоскость снизу имѣютъ болѣе мелкозернистое строеніе. Часть между шаровой выпуклостью и поверхностнымъ слоемъ является какъбы сплюснутой. Такимъ образомъ находимъ, что при штамповании получается раздробленіе и измельченіе матеріала вь частяхъ, лежащихъ ближе къ поверхности, соприкасающейся со штампомъ, и сжатіе въ средней части. Наружная часть издѣлія, имѣющая мелкозернистое строеніе, является болье плотной, этимъ и объясняется появление какъ бы корки на питампованныхъ предметахъ. При штамповании въ холодномъ состояніи головокъ машинныхъ гвоздей, которыя образуются ударомъ осебаго (ойка, картина немного измѣняется. Здѣсь также замѣтно разграничение между нетронутой и деформированной частью по сферической поверхности. Строеніе ствола волокнистое, какъ результатъ волоченія, въ особенности въ тонкихъ гвоздяхъ. На фотографіяхъ фиг. 110 и 111 таб. XXI изображены продольный и поперечный разрѣзы гвоздя въ 1/8" въ діаметрѣ вблизи головки; подобные разрѣзы гвоздя въ 1/16" изображены на фиг. 112 (продольный) и 113 (поперечный) таблицы XXI. Во локна зам'ётны въ начал'ё перехода къ боковой части головки и затёмъ раздробляются. Переходъ этотъ р'Езко зам'етень на шлиф'е гвоздя 1/16". На снимкъ поперечнаго разръза головки этого гвоздя зерна не одинаковы. Съ одной стороны мы видимъ зерна продолговатыя, съ другой мелкія раздробленныя. Такую же картину мы видимъ и на шлифъ гвоздя 1/8". Между зернами видна масса пустоть. Полная головка съ наружной стороны не имъетъ плотнаго строенія внутри.

Для болѣе детальнаго выясненія вопроса объ измѣненіи структуры желѣза при штампованіи разсмотримъ еще картину подобныхъ деформацій при гидравлической и ручной клепкѣ. Съ означенной цѣлью были изготовлены образцы ручной и гидравлической клепки опытными рабо чими на одномъ изъ большихъ заводовъ юга Россіи (Александровскомъ, Брянскаго О—ва); фиг. 114 таб. XXI относится къ заклепкѣ 22 mm.

Измънение структуры желъза при механической обработкъ.

въ діам., при толщинѣ склепываемыхъ листовъ м mm. Заполненіе шва весьма плотное, характеръ деформацій весьма мелкій со слабымъ образованіемъ небольшихъ щелей по срединѣ стержня заклепки. Фиг. 115 таб. XXI относится къ ручной клепкъ при діаметръ заклепки 18m/m и той-же толщинъ склепываемыхъ листовъ. Въ послъднемъ случаъ дефор мація заклепки происходить подъ ударомъ молота, и клепка оканчива. ется при болье низкой температуръ по сравнению съ предыдущей, вслёдствіе чего тёло заклепки внутри получило значительныя пустоты (щели). Послёднія двё фотографіи весьма детально иллюстрирують об щую картину деформацій при горячемъ и холодномъ штампованіи. Характеръ деформацій у головки заклепки, костыля, гвоздя и пр. остается предыдущій безъ существенныхъ изміненій, но изміняется только всличина пустоть (щелей), которыя при горячей обработкѣ мельче, при холодной значительно шире и глубже. Стержень предмета штампованыя обычно сохраняеть ту структуру, которую онь получиль при предшествующей обработкѣ (прокаткѣ или волоченіи).

.

При обычныхъ кузнечныхъ поковкахъ овальная форма зерна мягкаго желіза подъ вліяніемъ ударовъ молота постепенно изміняетъ свою форму въ клинообразную иногда съ сильнымъ дѣленіемъ самого зерна. Значительной разницы въ деформаціи зерна желѣза при кузнечныхъ поковкахъ не наблюдалось, наобороть, характеръ этихъ деформацій былъ весьма однообразенъ и довольно ярко выраженъ на фиг. 116 таб. ХХП. Ранѣе указанная клинообразная форма зерна и дробленіе самаго зерна подъ вліяніемъ ковки отчетливо замѣтны на послѣднемъ шлифѣ.

Наконецъ, съ цѣлью изслѣдовать вопросъ объ измѣненіи структуры келѣза при рѣзаніи и продавливаніи дыръ въ Механическихъ мастерскихъ Томскаго Технологическаго Института было сдѣлано значительное количество наблюденій надъ рѣзаніемъ желѣза толщиною 1,5m/m, 8,5 m/m, 10 m/m, 15 m/m и 19 m/m и продавливаніемъ въ немъ дыръ пуансономъ діаметромъ ⁷/₁₆", ⁵/₈", ³/₄" и ⁷/₈". При рѣзаніи листовъ желѣза на обычныхъ рамныхъ ножницахъ происходитъ сильное уплотненіе металла у поверхности раздѣла. Наиболѣе сильное деформированіе металла обнаруживается у мѣста входа верхняго подвижнаго ножа ножницъ и постепенно деформированіе металла сходитъ до нуля по мѣрѣ приближенія къ нижней поверхности раздѣляемаго листа. Наибольшая величина указанныхъ деформацій при рѣзаніи листовъ на рамныхъ ножницахь въ среднемъ равна 1 m/m.

Для детальнаго освѣщенія вопроса о деформаціяхъ при пробивкѣ дыръ были сдѣланы разрѣзы пробитыхъ листовъ, снимались фотография съ общей картины обнаруженныхъ деформацій, а затѣмъ въ большомъ увеличеніи снимался характеръ деформацій при входѣ пуансона, срез немъ положеніи и выходѣ его. Изучая по полученнымъ снимкамъ измѣненіе структуры матеріала, мы наблюдаемъ слѣдующую картину: при входѣ пуансона въ листъ матеріалъ послѣдняго сначала сжимается, за-

тёмъ происходитъ сръзъ металла по кромкъ пуансона. Матеріалъ, расположенный впереди пуансона, тоже сильно сжимается, раздаваясь въ стороны. При дальнъйшемъ ходъ пуансона матеріалъ листа какъ бы течетъ. Съ противоположной стороны пробиваеваго листа кромка матрицы оказываеть на листь такое же давленіе, какъ и пуансонъ, всл'ядствіе чего скалываемый кусокъ перемѣщается. Поверхность разъединенія не располагается точно по направленію движенія пуансона, а нѣсколько наклонно къ этому направленію, что, очевидно, происходить вслъдствіе бокового перем'вщенія сжатыхъ частиць. По м'єр'є движенія пуапсона, поверхность внутренняго сцёпленія частиць уменьшается, и матеріаль, не будучи въ состоянии сопротивляться дъйствующему усилию, отрывается. Общій характерь деформацій зерень желіза при продавливаніи изображенъ фотографіями фиг. 117, 118, 119 и 120 таб. XXII, при чемъ первая даеть общій видь такихь дехормацій, а три посл'вдующія (при увеличеніи 100) характерь такихъ деформацій при входѣ, срединѣ и выходѣ пуансона. Величина подобныхъ деформацій, какъ это видно изъ разсмотрънія только что приведенныхъ шлифовъ, сильно увеличивается къ выходу пуансона, а затѣмъ было замѣчено, что величина деформацій увеличивается съ толщиною листа. Среднія значенія наблюдаемыхъ дефор. мацій въ зависимости отъ толщины листа приведены въ нижеслѣдующей таблицѣ:

Толщина желъза въ m/m.	Діаметръ пуан- сона въ дюймахъ.	Величина де- формаціи въ m/m.
1,5 m m	7/16/1	0,25 mm.
1,5 m/m.	5/8″	0,25 m/m,
8,5 m/m	an907 16 [#]	0,9 m/m.
8,5 m/m.	10011 3/4'' m RI	0,9 m m.
10 m/m.	5/8".	1 m/m
15 m/m.	pzonoo3/4"z simm	1,4 m/m.
15 m/m.	no otri/s"off.s	1,4 m/m.
19 m/m.	orrazo7/8" moza	2 m/m.

Изъ приведенной таблицы видно, что величина деформацій растетъ съ толициною листа и въ среднемъ колеблется около ¹/₁₀ толицины послъдняго. Несомнѣнно также, что на величину деформацій оказываетъ вліяніе и величина зазора между пуансономъ и діаметромъ матрицы. Для изслѣдованія послѣдняго вопроса былъ продѣланъ рядъ опытовъ съ желѣзомъ толициною 9 mm., въ которомъ пуансономъ ³4" въ діаметрѣ пробивались послѣдовательно дыры при зазорѣ въ матрицѣ ¹/₂, 1, 1 ¹/₂ и 2 mm., для чего діаметръ пуансона оставался постояннымъ, а увеличивался послѣдовательно діаметръ матрицы. Изъ опытовъ выяснилось, чте величина деформацій съ зазоромъ растетъ: такъ при величинѣ зазора

между пуансономъ и діаметромъ матрицы 1/2 и 1 m/m величина деформацій въ среднемъ равна 0,9 m/m, при зазорѣ въ 11/2 m/m величина деформацій—1,1 m/m, при 2 m/m—1,5 m/m. При зазор'ь въ 1/2 и 1 m/m кромки пробиваемыхъ листовъ гладкія, а при дальнѣйшемъ усличении зазора нижняя кромка пробиваемаго отверстія имѣеть большія. рванины (фиг. 120 табл. XXII). Очевидно, что наивыгоднъйшій зазоръ между діаметрами матрицы и паунсона находится въ предълахъ 1/2 и і m/m. Для уничтоженія полученныхъ деформацій обычно дыры разсверливаются на толщину деформацій, или листы до клепки подвергаются отжигу. Отжигь, какъ показали наши наблюденія, возстанавливаеть зерна нарушенной структуры, а главное онъ, повидимому, способствутъ отдѣленію деформированной части отъ здоровой. Такъ фиг. 120 таб. XXII довольно ясно иллюстрируеть подобное дѣленіе деформированной части отъ здоровой послъ отжига. На величину деформацій металла при продавливании отверстий оказываеть большое вліяніе и форма самого куансона. Для изслёдованія этого вопроса были изготовлены пуансоны діаметромъ въ 1/2" (фиг. 121 таб. XXII), при чемъ у пуансона предварительно не дълался средній направляющій конусь, и уголь у ръжущей кромки пуансона быль 75°. Такой пуансонъ при продавливании давалъ рваныя дыры, проходилъ отверстіе съ большимъ трудомъ и отъ слишкомъ большого осевого давленія лопнулъ діаметрально (см. фиг. (121). Дальше былъ изготовленъ пуансонъ съ среднимъ направляющимъ конусомъ, съ небольшой ръжущей кромкой кольцомъ по окружности пуансона (при чемъ уголъ заостренія у этой кольцевой кромки былъ 75', а ширина кольцевой кромки у основанія его 2,5 m/m), но средняя часть пуансона, на которой находился направляющий конусъ, была плоской с (см. фиг. 121). Означенный пуансонъ работалъ немного лучше предысдущаго, рванины кромокъ отверстія были меньше, но рѣжущая кольцевая кромка, вслідствіє сильнаго распора, быстро обломалась. Третій пуансонъ былъ излотовленъ съ угломъ заостренія у рѣжущихь кромокъ - 65° и съ значительной коничностью къ направляющему центру, и этотъ пуансонъ оказался въ работъ плохимъ, давалъ рваныя отверстія и наконецъ, вслёдствіе сильнаго центральнаго давленія, самъ разрушился (см. фиг. 121). Лучшій результать во всёхъ отношеніяхъ получился для пуансона того же діаметра съ среднимъ направляющимъ конусомъ, по съ угломъ у рѣжущихъ кромокъ равнымъ 87°. Такимъ образомъ, на основаніи посл'яднихъ опытныхъ наблюденій можно заключить, что при сутствіе направляющаго конуса у пуансона для уменьшенія деформацій пробиваемаго металла и для сохраненія самого пуансова необходимо; такой направляющій конусь у пуансона способствуеть болже равном врному распредвлению давления металла на стержень пуансона, ибо металлъ во время своего истеченія въ періодъ продавливанія, подъ вліяніемъ направляющаго конуса и общей коничности торцевой поверхности послѣдняго, наиболѣе сильно перемѣщается сначала отъ центра пуансона къ периферіи подъ д'яйствіемъ направляющаго конуса, а затъ́мъ подъ вліяніемъ коничности рѣжущихъ кромокъ пуансона отъ периферіи къ центру, въ результатѣ чего наибольшее уплотненіе выдавливаемаго кружка металла происходитъ по нѣкоторой средней кольцевой поверхности, вслѣдствіе чего рѣжущія кромки пуансона находятся въ болѣе благопріятныхъ условіяхъ работы, и деформаціи продавливаемаго металла у кромокъ отверстія имѣютъ наименьшую величину. Зазоръ между пуансономъ и матрицей при послѣднихъ опытныхъ наблюденіяхъ былъ около ½ mm.

Въ предыдущемъ мы разсматривали вопросъ объ измѣненіи структуры желѣза при различныхъ процессахъ механической обработки. Теперь постараемся освѣтить ту связь, которая въ дѣйствительности существуетъ между строеніемъ даннаго металла и его механическими свойствами. На тѣсную связь между механическими свойствами и структурой металла еще въ 1868 году указывалъ Д. К. Черновъ, который говорилъ, что "при производствѣ стальныхъ издѣлій всегда стремятся получить зерно возможно мельче, въ особенности, если изготовляемые предметы должны имѣть большую вязкость и большое сопротивленіе, такъ какъ многочисленные опыты доказали, чѣмъ кристалличнѣе строенъ образца, чѣмъ кристаллы крупнѣе и правильнѣе, тѣмъ меньше оказываетъ сталь сопротивленіе разрыву, и тѣмъ меньше ея вязкость".

Такъ какъ крупно кристаллическое строеніе различныхъ сортовъ желѣза наблюдается при нагрѣвѣ въ предѣлахъ критическихъ точекъ и выше ихъ, при условіи медленнаго и спокойнаго охлажденія послѣ такого нагрѣва, то на основаніи предыдущаго слѣдуетъ, что желѣзо посль подобной термической обработки не можеть имъть хорошихъ механическихъ свойствъ. Если желѣзо со значительнымъ содержаніемь углерода нагрѣто до интервала критическихъ точекъ и затѣмъ быстро охлаждено, то оно явно измѣняетъ свои механическія свойства, и это измѣненіе механическихъ свойствъ будетъ тѣмъ интенсивнѣе, чѣмъ выше температура нагрѣва, и чѣмъ больше содержаніе углерода въ немъ. Такой процессъ термической обработки углеродистаго желѣза извѣстенъ въ техник подъ названіемъ закалки. Интенсивность степени закала зависить не только отъ химическаго состава данной стали, но и отъ условій производства самаго процесса закалки. Такъ, на интенсивность закалки сильно вліяетъ температура нагръва испытуемаго тъла, температура ванны, соотношение объемовъ занимаемыхъ образца и ванны, свойства закаливающей жидкости и цёлый рядъ мелкихъ причинъ, иногда весьма трудно поддающихся учету. При закалкъ сталь претерпъваетъ внутреннее структурное измівненіе, и вмість съ тімъ сильно измівняются и механическія свойства стали. При полной закалкъ въ средъ. быстро отнимающей тепло у стали, въ послёдней задерживается высшая структурная форма ся аллотропическаго измёненія аустенить (если содержаніе углерода больше 1,1%) или мартенсить; но если закаливаю-

Измънение структуры желъза при механической обработкъ.

щая среда слабо воспринимаетъ тепло (масло) или сама значительно подогр'вта (расплавленный свинецъ), то въ испытуемомъ образив фиксируется промежуточная структура: тростить или сорбить. Первый случай отвѣчаетъ закалкѣ въ водѣ или ртути и носитъ названіе полной закалки, а второй случай (въ маслѣ или свинцѣ), — называется иногда отрицательной закалкой. Процессъ закалки стали вообще сопровождается всегда появленіемъ внутреннихъ напряженій между частицами даннаго образца. Причину такихъ внутреннихъ напряженій можно объяснить слёдующимъ образомъ: образецъ при закалкъ охлаждается неравномѣрно. Внутренняя часть его еще сохраняеть тепло, когда верхняя оболочка уже охлаждена. Поэтому внутренняя часть бываетъ сжата наружною, которая стремится расшириться. Подобную картину легко провѣрить на опытѣ: для этого достаточно длинный и закаленный пруть разрѣзать по длинѣ его пополамъ, и сейчасъ же будеть наблюдаться замѣтное искривленіе половинокъ его, какъ слѣдствіе указанныхъ выше внутренныхъ напряженій. Подобные опыты были произведены Howe⁵) и Barba⁶). Внутреннее напряжение иногда при закалкв достигаеть столь значительныхъ размъровъ, что образецъ послъ закалки лопается или легко ломается. Величину внутреннихъ напряженій можно значительно уменьшить, подвергнувъ образецъ послѣ закалки медленному нагръву (отжигу) при температурахъ между 200-600°, при чемъ хрупкость и твердость стали, подъ вліяніемъ такого отжига, уменьшаются, но вмёстё съ тёмъ увеличивается и вязкость. Подобный отжигь, надо полагать, возстанавливаеть нарушенное равновѣсіе между частицами металла и тъмъ ослабляетъ величину внутреннихъ напряженій между частицами даннаго образца.

Твердость закаленной стали увеличивается съ содержаніемъ главнымъ образомъ углерода и растетъ съ температурою нагрѣва. Такъ, если для опыта взять длинный стальной прутъ и нагрѣвъ его для закала производить съ одного конца, то наибольшею твердостью будетъ обладать данный образецъ послѣ закала въ мѣстѣ наивысшаго нагрѣва; при чемъ и изломъ даннаго образца послѣдовательно измѣняетъ свою структуру отъ крупнокристаллическаго до мелко-зернистаго, находящагося въ мѣстѣ наивысшей температуры.

По вопросу объ измѣненіи механическихъ свойствъ различныхъ сортовъ углеродистаго желіѣза при различныхъ процессахъ термической обработки, въ томъ числѣ и закалкѣ, были произведены весьма обстоятельныя опытныя изслѣдованія Бринеллемъ⁷), предпринятыя имъ на заводѣ Фогорста и представленныя этимъ заводомъ на Парижской выставкѣ 1900 г.

⁵) Howe. The Metallurgy of Steel. S. 51.

⁶⁾ Тагѣевъ. Однородность рельсъ. Стр. 101.

^{*}) Тагѣевъ. Однородность рельсъ. Стр. 188.

Всѣ испытанные образцы, числомъ 403, подраздѣляются на 4 группы. Въ каждую группу входятъ по нѣсколько серій образцовъ различнаго содержанія углерода.

Группа І	. $C = 0.84^{0}/_{0}$.
ропость завелии стали восШце соптрово	C = $0,39^{0}/_{0}$.
surry III.es. i.io.co.u.u.s	. $C = 0,20^{0}/_{0}$.
" IV	. $C = 0.09^{0}/_{0}$.

Образцы діам. 18 mm. были выточены изъ круглаго желѣза 32 mm., прокатаннаго съ одного нагрѣва изъ брусковъ 5½"×5½", прокатанныхъ, въ свою очередь, изъ болванокъ 8"×8" и 10"×10".

Затѣмъ каждый сортъ стали, въ числѣ 13 образцовъ, подвергался 13 различнымъ способамъ обработки:

I. Безъ дальнѣйшей обработки (прокатка въ горячемъ состояніи). П. Отжигъ при температурѣ: 350°, 750°, 850°, 1000°, 1100° и 1200°.

Ш. Закалка въ водѣ + 20°,	
температура закала	750°
а) безъ отпуска	
б) съ отпускомъ до	3500
в) съ отпускомъ до	550°
г) съ отпускомъ	650°
Тоже закалка въ водѣ + 20°.	
температура закала	850°
Тоже закалка въ водѣ + 20°	
температура закала	1000%

Закалка въ маслѣ + 80°

температура закалки 850° и 1000°, а) безъ отпуска и съ отпускомъ до темп., б) 350° и в) 550°.

IV. Закалка въ свинцѣ + 550°

температура закалки 750°, 850° и 1000°. (См. таб. XXX).

Прежде всего обратимъ вниманіе на то обстоятельство, что закалка оказываетъ дѣйствительный эфектъ только съ 850°, температура 750° является еще недостаточною.

Въ этомъ случав наибольшій эфектъ получилъ образецъ 0,09% С. Сопротивленіе его значительно увеличилось: на 60%, а удлиненіе уменьшилось на 40%.

Сопротивленіе же прочихъ группъ едва измѣнилось, нѣсколько увеличиваясь. Удлиненіе же:

> Группы III уменьшилось на 33% П 14% I увеличилось на 15%.

50

MHOLLER

and a

Если бы эти измѣненія зависѣли отъ превращенія углерода и желѣза, то они шли бы въ обратномъ порядкѣ, будучи наиболѣе замътны для самой твердой стали, т. е. группы I, и наименѣе для образца С=0,09%. Измѣненія для группы I скорѣе аналогичны эфекту умѣреннаго отжига, такъ какъ даютъ наибольшее увеличеніе и сопротивле нія, и удлиненія. Все это указываетъ на то, что при 750° закалка—не дѣйствуетъ, а получившіяся измѣненія слѣдуетъ приписать чисто физическимъ причинамъ, возникающимъ при закалкѣ внутреннимъ напряженіямъ, дѣйствіе которыхъ къ тому же совершенно уничтожается при повторномъ нагрі́ьвѣ до 350°.

Полнаго д'вйствія закалка достигаетъ при температурахъ 850° и 1000°, въ однихъ случаяхъ при первой, въ другихъ-при второй.

Сопротивленіе разрыву во всѣхъ случаяхъ закалки повышается. Отпускъ, какъ дѣйствіе противоположное закалкѣ, возстановляетъ до нѣкоторой степени свойства оттоженной стали и выдѣляетъ въ структурѣ изъ мартенсита жедѣзо α. Повышенное закалкой сопротивленіе обыкновенно понижается, и кривыя зависимости имѣютъ видъ нисходащихъ вѣтвей аbc (фиг. 14а таб. XXVШ). Эти кривыя имѣютъ на первый взглядъ аномальныя вѣтви ad.

Присутствіе вѣтвей ad не можетъ быть объяснено вліяніемъ элементовъ, отъ которыхъ зависитъ эфектъ закалки, выражаемый вѣтвью abc, т. е. превращеніемъ углерода и желіѣза и соотвѣтственно—структуры. Подъ вліяніемъ этихъ превращеній, кривая abc делжна быть продолжена далѣе по направленію ad', а кривыя b₁, c₁ и b₂, c₂—по направленію къ d₀ и d₁. Повидимому, нѣкоторая неизвѣстная причина, проявляющаяся при закалкѣ въ водѣ, препятствуетъ естественному ходу кривыхъ abc и понижаетъ сопротивленіе въ тѣмъ большей степени, чѣмъ тверже сталь. Для образцовъ группы I это сопротивленіе падаетъ до о, для грдуппы II д. вельтины d, для группы III до d¹¹¹.

Образцы группы I изъ твердой стали при закаля въ вод в при 850° и 1000° получились настолько хрупкими, что не выдержали правки для исправленія коробленія, полученнаго при закалк и лопнули. Только для самаго мягкаго сорта С=0,09% вѣтвь а¹¹¹ d¹ и поднимается вверхъ. Такимъ образомъ, та-же причина, которая въ твердой стали понижаетъ сопротивленіе по сравненію съ сопротивленіемъ просто оттоженной стали (группа I), а въ стали мягкой (группа Ш) и полутвердой (группа II) препятствуетъ повышенію—въ самомъ мягкомъ образцѣ С=0,09% —повышаетъ сопротивленіе.

Это явленіе можетъ быть объяснено появленіемъ, вслѣдствіе быстраго охлажденія, внутреннихъ напряженій, въ нѣкоторыхъ случаяхъ уменьшающихъ сопротивленіе, а въ нѣкоторыхъ случаяхъ могущихъ повысить его.

Для болѣе детальнаго выясненія результатовъ опытныхъ изслѣдованій Бриннеля инженеръ Тагѣевъ даетъ рядъ діаграммъ, приведек-

ныхъ на таб. ХХХ, иллюстрирующихъ наглядно результать опытныхъ изслѣдованій, но въ общемъ на основаніи только что приведенныхъ изсл'вдованій и данныхъ Howe 8) можно прійти къ заключенію, что закалка вообще повышаетъ сопротивление разрыву. Но въ томъ случањ, когда содержание углерода и быстрота охлаждения достигають высшихъ предѣловъ, сопротивленіе разрыву при закалкѣ быстро падаетъ"). Такъ по даннымъ Howe сталь съ содержаніемъ С=0.50% при закалк/з въ водѣ увеличиваетъ сопротивленіе на 47%. Сталь съ содержаниемъ 0,75% С послѣ закалки отъ всякой температуры всегда даетъ пониженіе сопротивленія разрыву, которое послѣ весьма быстрой и сильной закалки можеть быть даже сведено до нуля, т. е. образець разрушится самъ во время самаго процесса погруженія въ закаливающую среду. Большое вліяніе оказываеть на изм'вненіе механическихъ свойствъ стали при закалкв та среда, въ которой производится процессъ закалки. Такъ, наибольшей интенсивности закалка достигается употребленіемъ для закаливающей ванны ртути, затёмъ слёдуеть вода, масло, сало, деготь и, наконецъ, расплавленные металлы, какъ, напримъръ, свинецъ.

Закалка въ маслѣ при всякомъ содержаніи углерода всегда даетъ повышеніе сопротивленія разрыву и увеличиваетъ предѣлъ упругости. При чемъ относительно измѣненія предѣла упругости стали при закалкѣ необходимо замѣтить слѣдующее, что предѣлъ упругости находится въ тѣсной связи съ сопротивленіемъ разрыву и при закалкѣ стали претерпѣваетъ тѣ же измѣненія, какъ и сопротивленіе на разрывъ.

Процентное удлиненіе стали при закалкѣ всегда уменьшается. Такъ изъ 81 примѣра данныхъ Ноwе удлиненіе при закалкѣ въ водѣ уменьшилось на 63%, въ маслѣ на 45%.

Дъ́йствіе отжига на углеродистое желѣзо вообще обратно дѣ́йствію закалки. Опытныя изслѣдованія Бриннеля доказывають, что вліяніе отжига начинаеть сказываться даже при температурѣ 350°, при которой уже замѣтно увеличеніе сопротивленія разрыву, удлиненія въ предѣлѣ упругости. При нагрѣвѣ отжига до 750°—замівтно паденіе первоначальнаго предѣла упругости и удлиненія, которые остаются все же выше первоначальныхъ свойственныхъ закаленной стали. Подобное паденіе механическихъ свойствъ стали при отжигѣ до 750° надо объяснить появленіемъ аллотропическаго измѣненія въ строеніи стали. Отжигъ до 1000° повышаетъ еще болѣе механическія свойства металла и особенно предѣлъ упругости. Дальнѣйшій отжигъ, вызывая крупную кристаллизацію металла, способствуетъ уменьшенію предѣла упругости и удлиненія, но сопротивленіе разрыву уменьшается весьма слабо; при чемъ общія величины этихъ механическихъ коэффиціентовъ будутъ больше первоначальныхъ, свойственныхъ неотожженной стали. Такъ, изъ опыт-

⁸) Howe. The Mettallurgy of Steel. S. 33.

⁹⁾ Howe. The Mettallurgy of Steel. S. 33.

енното у стали съ водорка. получито бруска становится Чънб больщо будеть содер-	Предѣлъ упругости.	Пачало замътнаго растяженія.	Сопротив- леніе разрыву.	Удлиненіе.
Групна І	44	19	8	11
" II	44	20	2	12
" III	40	28	3	15
" IV	48	26	2	39

ныхъ изслѣдованій Бриннеля слѣдуетъ, что равномѣрный отжигъ до 1000° слѣдующимъ образомъ улучшаетъ въ % качество стали ¹⁰):

Изъ разсмотрѣнія различныхъ случаевъ закалки и отжига стали ясно замѣтна тѣсная связь между структурою испытываемаго металла и его механическими свойствами. Но съ другой стороны и обратно по кривой разрыва даннаго бруска при извѣстномъ навыкѣ можно получить представленіе о структурѣ испытываемаго бруска.

Несомнѣнно, что сопротивленіе разрыву зависить оть силы сцѣпленія между зернами металла, или оть сцѣпленія массь самихь зерень, если изломъ произойдеть внутри послѣднихъ. Сила сцѣпленія пропорціональна величинѣ поверхности излома, которая будеть тѣмъ больше, чѣмъ мельче зерна. Такимъ образомъ, чѣмъ мельче зерно, тѣмъ вышъ предѣлъ упругости и тѣмъ больше разрывное усиліе.

Разрывающее усиліе въ началѣ испытанія, надо полагать, равномѣрно распредёляется между всёми элементами структуры испытуемаго образца, и всё элементы этой структуры въ относительно равной степени участвують въ воспринятіи удлиненія и дають въ суммѣ общее удлиненіе бруска. До нѣкотораго предѣла нагрузки испытуемаго бруска наблюдается пропорціональность между удлиненіемъ и нагрузкою брука; сл'ёдовательно, въ этомъ предёлё упругихъ измёненій удлиненія основныхъ зеренъ даннаго металла и связующихъ ихъ веществъ между собою рваны. Въ мягкихъ сортахъ желѣза и стали основная масса структуры состоить изъ зеренъ феррита, и цементирующимъ слоемъ является перлить. При испытании брусковъ на разрывъ изъ мягкихъ сортовъ углеродистаго жедъза полное равенство получаемыхъ удлиненій между основными зернами структуры и ихъ цементирующимъ веществомъ наблюдается только до известнаго предъла, а затъмъ зерна феррита начинають получать замѣтно быстрое удлиненіе, безъ измѣненія нагрузки бруска по сравненію съ удлиненіемъ цементирующаго слоя, и на діаграмм' разрыва даннаго бруска получается характерный горизонтальный уступъ (см. фиг. 15 А. таб. XXV). Съ увеличеніемъ содержанія углерода въ испытуемомъ брускѣ, т. е. съ уменьшениемъ

¹⁰⁾ Тагѣевъ. Однородность рельсъ. Стр. 112.

Т. И. Тихоновъ.

самостоятельно существующаго структурнаго элемента феррита, постепенно пропадаеть горизонтальный уступъ на діаграммахъ разрыва. По опытнымъ изслъдованіямъ Charpy, этотъ горизонтальный уступъ въ діаграммѣ разрыва бруска совершенно исчезаеть у стали съ содержаніемъ углерода 0,09%, и кривая разрыва испытуемаго бруска становится болѣе крутой (см. черт. 15 В. таб. ХХУ). Чѣмъ больше будетъ содержать углерода испытуемый образець, тёмъ больше у него будетъ самостоятельнаго выдѣлившагося перлита, и тѣмъ круче будетъ кривая разрыва бруска. Закалка стали способствуетъ уничтоженію зеренъ феррита и перлита съ образованіемъ мартенсита, при чемъ и кривая разрыва для такой стали весьма близка къ прямой съ изломомъ. (См. фиг. 15 С. таб. XXV). Отжигъ подобной стали способствуетъ появленію или переходныхь элементовъ, тростита и сорбита, или первоначальной структуры съ преобладаніемъ перлита. Въ результатъ діаграмма разрывныхъ усилій для отожженнаго бруска стали не будетъ имъть излома, а будетъ имѣть крутой поворотъ (изображено пунктиромъ) (фиг. 15 C. Tad. XXV).

Такимъ образомъ, по характеру діаграммы разрывныхъ усилій испытуемаго образца можно съ большой долей въроятности опредѣлить его главные структурные элементы, ферритъ, перлитъ и мартенситъ.

Раныпе мы разсматривали вопросъ объ измѣненіи структуры желѣза при прокаткѣ, ковкѣ и волоченіи и замѣтили, сильное измѣнение структуры металла при подобной механической обработкѣ, но такъ какъ тѣсная связь между структурою металла и его механическими свойствами несомнѣнно существуетъ, то естественно предполагать и сильное вліяніе механической обработки указаннаго типа на механическія свойства металла. Для опредѣленія этой зависимости производились неоднократно опытныя изслѣдованія. Такъ, Фернбернъ¹¹) приводить испытанія, произведенныя Клейемъ на желѣзодѣлательномъ заводѣ "Mersey Steel Works", которыя состояли въ томъ, что одно и т оже желѣзо проваривалось и прокатывалось послѣдовательно нѣсколько разъ. Нѣсколько милбарсовъ № 1 сваривались вмѣстѣ и прокатывались, изъ полученнаго милбарса № 2 составлялся пакетъ, сваривался и снова прокатывался и т. д.

По испытаніи каждаго изъ прокатанныхъ №№ получились слѣдующіе коэффиціенты крѣпости:

Милбарсъ № 1-30,8	Милбарсъ № 5-40,3	Милбарсъ № 9-40,3
" 2—37,1	" 6—43,4 max	. , 10-38,0
3-41,8	, 7-41,8	" 11-36,5
anoi "openes 4-41,8/77	. der "A at 8-40,3 an	" 12-30.8

11) Фербертъ. Желѣзо, стр. 251.

А. Гаврилэнко. Механическая технологія. Стр. 80.

54

Наибольшій коэффиціенть крѣпости получился при 6-ой прокаткѣ, затѣмъ началъ уменьшаться.

Такимъ образомъ, посл'ёдовательныя проварки и прокатки желъза увеличиваютъ коэффиціентъ крѣпости до извѣстнаго предѣла, а потомъ онъ начинаетъ уменьшаться..

Такое же вліяніе на крѣпость желѣза оказываеть и ковка. Она уплотняеть металлъ и повышаеть его живое сопротивленіе. Вслѣдствіе этого, мелкія детали, которыя могуть быть прокованы лучше, имѣють большую прочность, чѣмъ крупныя. Въ крупныхъ же деталяхъ на поверхности металлъ лучше прокованъ, и потому онъ здѣсь всегда прочнѣе, чѣмъ внутри. Такъ, напр., на американскомъ пароходѣ Dolphin сломался на пробномъ плаваніи валъ. Образцы, вырѣзанные изъ вала, при испытаніи, дали слѣдующіе результаты:

ы, коэффиціенть кръпости наявняется ке упругости повышается очень сильно ся визьость	Предбли упр. кгр. на 🗍 мм.	Коэффи ціенть крѣ- пости на 🗌 мм.	Удлиненіе ⁰ / ₀ .
Изъ центра вала	23,9	$37,9 \\ 56,2$	2
Съ поверхности вала	22,5		18

У стали при ковкѣ коэффиціенть крѣпости измѣняется не такъ сильно. По одытамъ Веклева на заводѣ Baldwin Locomotiw Works, въ Филадельфіи, надъ литой сталью получились слѣдующіе результаты:

вается стъ 25% до 40%, крбност плото статора статора ва 80-125% св не-ев 5-4	Коэффи- ціенть кр'в- пости кгр. на мм.	Удлиненіе ⁰ / ₀ .	Изломъ.
Болванка съ кв. съчен. 125 мм. въ сторонъ Волванка прокованная до тол- щины 180 мм То же до 145 мм	35,7 35,6 34,7 35.0	13 16 18 20	Кристалли- ченъ. Частью кри- сталличенъ.
n = 120 = 120	35,1	20	шелковистыи.

Изъ таблицы видно, что коэффиціентъ крѣпости измѣняется мало, но вязкость металла, а слѣдовательно, и живое сопротивленіе сильно возростаетъ.

По опредѣленію измѣненія механическихъ свойствъ металла при холодной обработкѣ тоже неоднократно производились опытныя изслѣдованія. Такъ, Консидере¹²) приводитъ слѣдующія данныя, характеризующія, до нѣкоторой степени, вліяніе холодной обработки:

¹²) M. Considerés. L'emploi du fer et de l'acier. Crp. 118.

инынальновной для радоницати инынальновной для прокатки далоното вельный прокарга, и прокатки жельз иности до извъстиято прогбала, а литом	Предѣлъ упруг. кгр. на: Мм.	Коэффи- ціентъ крѣ- пости кгр. на _ мм.	Удлиненіе.
Очень мягкая сталь	25,3	42,5	26,5
То же, пресс. гидр. пресс. 6 тоннъ на 🗌 сант.	35,7	44,6	17,0
Сталь для судостроенія	29,6	52,5	18,0
состоянии отъ 10 до 945 мм	42,3	54,5	11,5
жельзный листь	22.8	37,4	15,0
состояни отъ 8 до 7,1 мм	41,6	46,9.	7,0

Какъ видно изъ этой таблицы, коэффиціентъ крѣпости измѣняется не очень значительно, предѣлъ же упругости повышается очень сильно, но вмѣстѣ съ этимъ уменьшается вязкость.

Холодная прокатка примѣняется въ большихъ размѣрахъ въ Соединенныхъ Штатахъ Сѣверной Америки для выработки приводныхъ валовъ. Главнымъ образомъ подобной обработкѣ подвергается самое чистое, мягкое, пудлинговое желѣзо.

Многочисленныя изслёдованія проф. Торстона ¹³) надъ обработаннымъ такимъ образомъ желёзомъ привели его къ слёдующимъ заключеніямъ.

Крѣпость при растяженіи увеличивается отъ 25% до 40%, крѣпость при изгибѣ на 50-80%.

Предѣлъ упругости повышается на 80-125%.

Живое упругое сопротивление значительно увеличивается.

Полное живое сопротивленіе, однако, уменьшается до 50%, такъ что увеличеніе упругости и крѣпости получается за счетъ вязкости; поэтому прокатанное въ холодномъ состояніи желѣзо примѣнимо только въ тѣхъ случаяхъ, когда напряженія матеріала не могутъ выйти изъ предѣла упругости.

Кромѣ указанныхъ измѣненій, холодная прокатка сообщаетъ желѣзу гладкую, блестящую поверхность, совершенно совободную отъ окалины. Желѣзо можетъ быть прокатано съ большой точностью въ размѣрахь (на заводѣ Johnes and Laughlins Pittsburgh), валы прокатываются съ точностью до 1/1000", не требуя дальнѣйшей обработки.

Изъ разсмотрѣнія вышеприведенныхъ таблицъ ярко замѣтно вліяніе на механическія свойства желѣза общихъ условій механической обработки, но съ другой стороны механическія свойства желѣза весьма сильно измѣняются съ измѣненіемъ его химическаго состава, а посему

13) Thorston. Report on cold-rolled iron and steel. Pittsburgh 1878.

Юптнеръ для выраженія коэффиціента разрыва даетъ такую формулу: $\mathbf{R} = \mathbf{A} + \frac{2}{3} \mathbf{C} \cdot \frac{4}{7} \mathbf{L} + \frac{1}{7} \mathbf{Mr},$

гдѣ А—величина, зависящая отъ обработки, коэффиціентъ обработки. Необходимо замѣтить, что эта формула даетъ только приблизительные результаты, ибо въ ней не принято во вниманіе % содержаніе другихъ элементовъ, какъ-то: фосфора, сѣры, хрома и др., замѣтно измѣняющихъ механическія свойства желѣза ¹⁴).

Хотя формула Юптнера и имѣетъ приблизительный характеръ, но при примѣненіи ея на практикѣ, она вполнѣ подтверждаетъ многія наблюденія техники. Такъ, по опредѣленію инженера А. Бабошина, изъ значительнаго количества разсмотрѣнныхъ имъ рельсъ, проработавшихъ на пути, оказывается, что лучшими качествами отличались тѣ рельсы, у которыхъ коэффиціентъ механической обработки былъ на большій. А. Бабошинъ¹⁵) разсмотрѣнные имъ рельсы дѣлитъ на три группы:

I группа—рельсы, снятые съ пути, безъ всякихъ повреждений послѣ долголѣтней службы.

II группа-рельсы со смятыми головками и износившіеся.

Ш группа-рельсы лопнувшіе въ пути и съ трещинами.

Результаты наблюденій инженера Бабошина сведены въ слѣдующую таблицу:

NêNê ⊖Q	Сопрогивленіе разрыву и предѣлъ упругости. Верхъ Середина головки. головки.		Отношені упруго ти т вленік въ	эпредѣла и в сопро- разрыву °/0-	Коэфф обрабо	иціентъ отки А.	глан озголод глан озголод
рельсовъ.			Верхъ Середина головки. головки.		Верхъ головки.	Середина головки.	Верхъ головки.
14-2	83-31	83-33	37	40	24	24	vionne 16 min
15-3	70 - 34	70 - 32	49	46	22	22	According to 1.5
281	7029	56 - 33	42	59	25	30	Изъ I гр.
36-3	80 - 27	82 - 36	33 4	44	28	10q0 1:1 ,13	10504 (8
Среднія	76-30	73-34	40	47	25	22	16100107070805
10-2	73-26	.74 - 28	36	38	13	18	entificano mano m
20-2	74-27	74-34	37	46	18	18	PILISENCED
22 - 4	70 - 29	69 - 31	42	44	17	17	Mar II ED
25 - 5	70 - 23	73 - 19	33	26	16	18	1156 II IP.
Среднія	72 - 26	73-28	37	38	17	18	erroquiova,
20-1	81-36	82 - 38	44	47	22	22	Turne official
212	74 - 29	71 - 32	39	45	28	27	and decension
21-4	66 - 38	68 - 34	58	50	12	13	. Fur handler of
26 - 4	72 - 33	50 - 45	46	89	11	(11)	Изъ III гр.
29-1	83-31	69-35	37	50	28	14	NC BEALING
Среднія	75-35	68-37	45	56	20	?	

14) См. Металлические сплавы. Т. Тихоновъ. 2-е изд. 1910 г.

15) Изслѣдованіе рельсовой стали. Извѣст. Инотит. Путей Сообщ. 1906 г. Ст. 3.

Такимъ образомъ, лучшими качествами отличались тѣ рельсы, у которыхъ коэффиціентъ механической обработки достигалъ наибольшей величины, въ среднемъ для первой группы рельсъ—25.

Въ рельсахъ II группы (смятыхь) коэффиціенть обработки значительно понижается, въ среднемъ до 17.

Всѣ рельсы, испытанія которыхъ приведены въ таблицѣ, довольно близки по химическому составу (С около 0,5 и Mn около 1%) и имъютъодинаковое крупное зерно перлита въ структуръ. Среднее отношение предѣла упругости къ сопротивленію разрыву для средины головки у рельсъ II-й группы (сминаемыхъ)—38%, а то же отношение для хорс-шихъ рельсъ первой группы равно 47%, и подобная зависимость предъла упругости съ коэффиціентомъ разрыва находится въ тъсной связи съ ранѣе приведенными значеніями коэффиціента механической обработки. Только у рельсъ III-й группы, хрупкихъ, ломавшихся раньше срока мы не видимъ такой зависимости коэффиціента механической обработки, предъла упругости и коэффиціента разрыва, при чемъ для нѣкоторыхъ изъ нихъ отношеніе предѣла упругости къ сопротивленію разрыву превышаетъ таковое же для 1-й группы, а отсюда необходимопредположить, что основная причина недоброкачественности рельсъ Ш-й группы кроется въ случайныхъ причинахъ побочнаго харакгера, сопровождавшихъ или производство рельсъ (мъстная закалка, не правильное охлаждение на стелюгахъ, неоднородность нагръва и проч.) или же въ причинахъ, проявившихся во время службы рельса въ пути и неногмально измёнившихъ временное сопротивление разрыву въ средият головки рельса.

Весьма интересны по результатамъ изслѣдованія рельсовой комиссіи Министерства Путей Сообщенія ¹⁶) по вопросу о связи между структурой рельсовъ и ихъ службой въ пути. Общія заключенія по этому вопросу означенной комиссіи таковы:

а) Редьсы, хорошо служившіе въ пути (пропускавшіе много грузовъ и снятые безъ всякихъ поврежденій) подъ микроскопомъ имѣютъмелкозернистое строеніе.

 Рельсы плохіе, снятые въ пути всёдствіе смятія, обладають крупнозернистымъ строеніемъ.

с) Рельсы хрупкіе, лопнувшіе въ пути послѣ прохода небольшого количества грузовъ, также очень часто обладаютъ крупнозернистымъ строеніемъ.

По вычисленіямь инженера Бабошина средняя величина зерна для доброкачественныхь, прослужившихь долго и снятыхь съ пути безь замѣтныхъ поврежденій, въ среднемъ была равна 0,0019 mm²; средняя же величина плохихъ, крупнозернистыхъ рельсовъ равнялась 0,0195 mm²¹⁷).

¹⁶ и ¹⁷) Изслялованіе рельсовой стали. Извѣстія Механичесхой Лабораторіи Института Инженеровъ Путей Сообщенія. 1906 Стр. 239—246 Такос саключеніе рельсовой комиссів не является повымь въ техникѣ, ибо аналогичные выводы были неоднократно сдѣланы и раньшэ^{1*}) и явно вытекаютъ изъ ранѣе цитированнаго нами общаго положенія Д. К. Чернова относительно зависимости качествъ обработанной стали отъ структуры послѣдней.

Въ свою очередь та же комиссія замѣтила, что крупная кристаллизація стали наиболѣе свойственна сминаемымъ рельсамъ съ низкимъ. пр. цѣломъ упругости, а такое совмѣстное соединеніе этихъ двухъ факторовъ есть явный признакъ плохой механической обработки.

На основании ранѣе разсмотрѣнной общей картины измѣнения структуры желѣза при прокаткѣ мы невольно приходимъ къ заключенію, что для полученія мелкаго зерна у обрабатываемаго металла необходимопрокатку его окончить возможно ниже по температурѣ, но въ извъстныхъ предѣлахъ послѣдней, когда не наступило еще замѣтное разслосніе между зернами металла, но съ другой стороны температура окончанія прокатки не должна быть выше или близкой къ той критической (точка "b" Чернова), при которой прерывается прямая пропорціональность величины зерна отъ температуры нагрѣва. Но такъ какъ положеніе критическихъ точекъ, при которыхъ наблюдается ярко замътный ростъ. величины зерна отъ температуры нагрѣва, весьма сильно зависитъ отъ химическаго состава желѣза, а именно положеніе критическихъ точекъ. тёмъ выше, чёмъ чище желёзо, то отсюда слёдуетъ, какъ важно въ каждомъ частномъ случав знать положение критическихъ точекъ и сообразно съ этимъ выбирать температуру окончанія прокатки. Такъ раньшебыло указано, что марганецъ сильно понижаеть положение критическихъ точекъ и совмъстно съ углеродомъ суживаетъ интервалъ критическихъ точекъ, то отсюда явно слѣдуетъ, что марганцовистые рельсы, для полученія мелкой кристаллизаціи, необходимо прокатывать призначительно низшей температурѣ, чѣмъ рельсы, содержащіе мало мар-

Не вдаваясь особенно подробно въ опредѣленіе положенія предѣльныхъ точекъ окончанія прокатки для полученія мелкозернистаго продукта, весьма хорошаго по своимъ механическимъ свойствамъ,—я позволю себѣ привести двѣ выдержки изъ писемъ въ выше названную Рельсовую Комиссію весьма извѣстныхъ инженеровъ практиковъ г. Артура Юза и г. Ясюковича, Директора Распорядителя Южно-Русскаго Металлургическаго О-ва¹⁹).

Въ письмѣ г. Юзъ указываетъ на то, что высокое качество стальныхъ рельсовъ болѣе ранней выдѣлки объясняется низкой температурой, при которой оканчивалсь тогда прокатка; это обстоятельство было слу-

¹⁸) R. Sob. "Steel rails: relations between structure and durability" The Metallographist. 190?. No 3.

нихъй безъ пузырей дуубаловнихъ раковник) сладъния

дгарият. 190 ?. № 3. ¹⁹. Изслѣдованія рельсовой стати. Извѣстія Механической Лабораторіи Института Инженеровъ Путей Сообщенія. 1906. Стр. 304 и 308. чайнымъ сдёдствіемъ того, что при переходё отъ желёзныхъ рельсовъ къ прокаткё стальныхъ рельсовъ заводы вынуждены были пользоваться прежними слабыми машинами. Въ виду сего прокатка шла медленно, а теменература, при которой рельсъ оставлялъ валки, была значительно ниже той, которая наблюдается при прокаткѣ на современныхъ силъныхъ машинахъ. Прокатка при низкой температурѣ сопровождается образованіемъ мелкато зерна. Прокатка при высокой температурѣ—вызываетъ образованіе крупнаю зерна; величина же зеренъ существенно вліяетъ на сопротивленіе рельса изнашиванію.

Далѣе указывается, что процессъ Кеппа, практикуемый въ Америкѣ для перекатки рельсовъ тяжелыхъ типовъ, изъятыхъ изъ службы вслѣдствіе износа, въ боліѣе легкій типъ, вполнѣ подтверждаетъ этотъ взглядъ; при перекаткѣ при низкой температурѣ зерно получается всегда мельче. Съ тою же цѣлью практикуется въ Америкѣ пріемъ Кенне ди-Моррисона, состоящій въ томъ, что передъ проходомъ послѣднихъ валковъ, рельсы задерживаются на особо устроенныхъ траверсахъ, пока не достигаютѣ низкой температуры.

Г. Ясюковичъ въ своемъ письмѣ высказываетъ следующіе взгляды: Какъ изъ результатовъ изслъдованій, произведенныхъ комиссіей такъ и изъ раб, тъ инженера Миллера на баварскихъ дорогахъ, выяснилось съ очевидностью, что между продолжительностью службы рельсовъ въ пути, ихъ химическимъ составомъ и механическимъ испытаніемъ рельсовъ и ихъ образцовъ-ясной и непосредственной связи не имъется. Не смотря на постоянныя измѣненія техническихъ условій пріемки рельсовъ, какъ у насъ, такъ и за-границей, оказалось невозможнымъ предупредить пріемку и укладку рельсовъ неудовлетворительныхъ въ путевой службь. Признавая безусловно, что долженъ существовать механическій контроль для того, чтобы не могли попадать на службу зав'їдомо негодные рельсы, инженеръ Ясюковичъ полагаетъ, что благодаря постоянству употребляемыхъ въ передѣлкјѣ матеріаловъ-химическій составъ рельсовой стали не долженъ быть предоставленъ контролю. Но такъ какъ съ другой стороны опытами дознано, что мелкозернистая сталь съ высокимъ предѣломъ упругости при возможно меньшемъ отношении сопротивления разрыву къ предълу упругости лучше сопротивляется износу и вообще обладаеть лучшими и болье надежными механическими качествами, чёмъ крупнозернистая сталь съ низкимъ предъломъ упругости и съ высокимъ отношеніемъ сопротивленія разрыву и предълу упругости, то все внимание и контроль должны быть обращены на эти обстоятельства. Эта цёль достигается путемъ надлежащей механической и главнымъ образомъ термической обработки возможно плотныхъ (безъ пузырей и усадочныхъ раковинъ) стальныхъ болванокъ. Полученіе плотныхъ болванокъ, по мнѣнію инженера Ясюковича, не представляется трудной задачей. Равнымъ образомъ, чёмъ полнѣе механическая обработка касается различныхъ частей болванокъ-тъмъ однообразнѣе и совершеннѣе будетъ строеніе металла. Но для полученія мелкозернистой стали необходима еще соотвѣтстввующая термическая. обработка. Оказывается, что нагрібтая сталь обладаеть тремя критическими гочками, при переходѣ черезъ которыя путемъ охлажденія или нагрѣванія-сложеніе стали подвергается перестройкѣ съ выдѣленіемъ или поглощеніемъ теплоты. Для мягкой стали съ содержаніемъ. углерода менње 0,2%--эти критическія точки 860°, 740°, 650° по Цельзію, для рельсовой стали, содержащей 0,45-0,55% углерода, три критическія точки сливаются въ одну и лежатъ около 700-725° Ц. Слъдовательно, если окончить прокатку выше критической температуры, то рельсъ, охлаждаясь до температуры воздуха, долженъ пройти черезъ. свою критическую точку и здёсь подвергнуться перестройнув сложения. Эта перестройка сопровождается увеличениемъ зернистости стали. Поэтому надобно окончить прокатку ниже извѣстной температуры; въ такомъ случаѣ строеніе стали при охлажденіи уже не измѣняется, и зерноостанется такимъ, какимъ оно получено при имѣющейся въ нашемъ. распоряжении переработкъ металла. Такимъ образомъ, ръшающее значеніе получаеть заканчиваніе прокатки при температурі около 700° Ц.

Далѣе г. Ясюковичъ выясняетъ—какимъ образомъ слѣдуетъ организовать производство, чтобы рельсы выходили изъ вальцовъ при низкой температурѣ, и какъ обставить контроль, чтобы рельсы выходили изъ вальцовъ при надлежащей температурѣ.

Что касается перваго вопроса, то въ настоящее время существуетъ два метода, которыми достигается выходъ рельса изъ послѣднихъ ручьевъ достаточно охлажденнымъ. Первый способъ, американскій, Кеннеди—Маррисона, состоитъ въ задержкѣ рельсовой полосы передъ послѣднимъ ручьемъ для того, чтобы она остывала до надлежащей температуры. Этотъ способъ, примѣнявшійся еще въ 1887 г. на Путиловскомъ заводѣ, не требуетъ никакихъ особыхъ устройствъ и можетъ быть примѣненъ на любомъ заводѣ при условіи, чтобы надлежащая температура рельса до пронуска черезъ послѣдній ручей контролировалась какимълибо пирометромъ.

Однако, г. Ясюковичъ находитъ, что методъ этотъ не настолько цълесообразенъ, чтобы его можно было рекомендовать нашимъ заводамъ, и по слѣдующимъ соображеніямъ.

Измѣненіе строенія находится въ цѣсной зависимости отъ степени механической обработки. Въ послѣднемъ ручьѣ металлъ обжимается очень слабо, не болѣе чѣмъ на 5%; такого слабаго обжима недостаточно, чтобы повліять на измѣненіе на значительную глубину строенія стали, которое получалось во время охлажденія отъ температуры выше критической; обжимъ въ послѣднихъ ручьяхъ вліяетъ на измѣнені9 строенія головки на глубину не болѣе 3—6 мм. Всего лучше это подтверждаютъ опыты St. Martin'а въ Англіи. В ъодномъ случаѣ рельсъ былъ задержанъ на 1¾ минуты передъ проходомъ послѣдғяго ручья, а во вто-

ромъ случав онъ былъ задержанъ на двв минуты до впуска въ первый ручей и съ пропускомъ затёмъ безостановочно черезъ вов ручьи. Въ первомъ случав микрофотографіи строенія стали, взятой изъ середины головки и въ разстоянии 3 мм. отъ поверхности, показали, что центръ головки имѣетъ крупнозернистое строеніе, а вблизи поверхности головки-мелкозернистое. Во второмъ-же случав-мелкозернистое строение было обнаружено, какъ въ срединъ головки, такъ и около поверхности. Такимъ образомъ, американскій пріемъ Кеннеди-Моррисона не обезпе чиваетт, необходимаго мелкозернистаго строенія головки. Поэгому надлежить рельсовую болванку пускать въ прокатку при такой температурѣ, чтобы она выходила изъ послѣдняго ручья в ъвидѣ рельса съ температурой ниже критической, и, слъдовательно, контроль надъ раціональной термической обработкой долженъ быть перенесенъ съ конца на начало прокатки. Температура болванокъ, поступающихъ въ прокатку, должна измъряться какимъ-либо пирометромъ, и наиболъе практичными оказываются для сего св'ятовые (оптическіе) пирометры Wanne'a, Hase, Mesuré и Nowl,Lejeune и проч.

Перегрѣва болванокъ можно избѣжать, отказавшись отъ подогрѣва ихъ, что достигается пропускомъ болванокъ черезъ колодцы Gjers'a.

Что же касается сорбитнаго способа обработки матеріаловъ, заключающагося въ мѣстномъ охлажденіи (закалкѣ) рельсовыхъ головокъ, то его, по словамъ г. Ясюковича, не слѣдуетъ рекомендовать заводамъ, такъ какъ Stead, предложившій этотъ пріемъ заявилъ, что хорошіе результаты получались только при обработкѣ малыхъ образцовъ; при обработкѣ же длинныхъ образцовъ удовлетворительные результаты не достигались.

Въ концѣ своего письма г. Ясюковичъ вскользь критикуетъ сорбитный способъ изготовленія рельсь, который состоить въ томъ, что рельсь, вышедшій изъ прокатки, погружается головкою въ воду, вслівдствіе чего сперва происходить закалка, а затёмъ отпускъ стали отъ имёющейся въ головкъ теплоты, вслъдствіе чего головка рельса получаеть сорбитную структуру. Подобный способъ полученія рельсъ съ весьма твердой, но и вязкой головкой былъ предложенъ S. Stead и W. Richards 20) и по своимъ результатамъ полученія закалки головки стали вполнѣ напоминаетъ закалку стали въ маслъ, но въ виду чисто практическихъ затрудненій, а именно, невозможности полученія равном Врной закалки головки рельса, широкаго распространенія это изготовленіе рельсовъ не получило. Но нельзя отрицать полезности сорбитнаго способа въ примѣненіи къ предметамъ кованнымъ, обработку которыхъ Stead для означенной цёли предлагаеть вести слёдующимъ образомъ: нагрёвъ предметь до температуры нѣсколько выше Ar₃, до возможно полнаго превращенія углерода, необходимо предметь охладить на воздухѣ или пря-

²⁰⁾ Journal of Jron and Steel Jnst. 1903. p. II. crp. 66.

мо закалить, а затъмъ отжечь до температуры ниже Ar₃ и охладить на воздух В²¹).

Механическія преимущества сорбитной структуры видны изъ слѣдующаго сопоставленія двухъ образцовъ:

чніх продыль упругости, кака обновно интерской обработки мелівах. Зо протатли голягова, крок в облачних і	Предѣлъ упру г ости klg	Сопротивле- ніе разрыву klg.	Удлиненіе ⁰ / ₀ .
Нагрѣвъ въ 1150° и охлажденіе въ печи (перлитовая структура) Нагрѣвъ до 1150° и охлажденіе на	39,901	81,162	17
воздухѣ (сорбитовая структура).	53,260	99,979	12

Таково измѣненіе механическихъ свойствъ средней по твердости стали при обработкѣ ея сорбитнымъ способомъ.

Такимъ образомь наши предыдущія разсужденія объ измѣненія структуры металла при прокаткъ и о зависимости механическихъ свойствъ металла отъ структуры послёдняго приводятъ насъ къ общему заключенію, что для сообщенія хорошихъ механическихъ свойствъ данному металлу необходимо прокатку и горячую обработку его оканчивать при опредѣленной температурѣ. Благотворное вліяніе этой температуры на механическія качества жельза доказано рядомъ лабораторныхъ изсл'ёдованій и признано изв'ёстными лицами, стоящими во глав большихъ промышленныхъ предпріятій. На заводахъ, изготовляющихъ отвѣтственные предметы прокаткой (рельсы) организуется тщательный контроль за нагрѣвомъ прокатываемыхъ болванокъ, при чемъ въ большинствѣ случаевъ нагрѣвъ болванки для прокатки производится за одинъ пріемъ, и прокатка рельса производится за одинъ нагрѣвъ. Строго наблюдается температура не только окончанія прокатки, но и начальный нагръвъ болванки, такъ какъ сильно перегрътая болванка, вслёдствіе своей крупной кристаллизаціи, не можетъ дать хорошаго рельса и во время самой прокатки не успъетъ достаточно охладиться. Для полученія равном'врнаго нагр'вва болванокъ нагр'ввъ ихъ производять въ томильныхъ колодцахъ, чаще всего съ дополнительнымъ отопленіемъ.

Температура окончанія прокатки должна находиться въ критическомъ интервалѣ и ни въ коемъ случаѣ не должна быть близкой къ температурѣ, названной Д. К. Черновымъ точкой "b", когда желѣзо замѣтно легко принимаетъ крупно-кристаллическое строеніе съ прекращеніемъ прямой пропорціональности между темпертаурою нагрѣва и величиною зерна.

²¹⁾ The Jron and Steel Metal. 1904. № 2.

Въ данное время нерѣдко при полученіи весьма отвѣтственныхъ заказовъ заводоуправленіе получаетъ довольно широкія указанія относительно химическаго состава (въ смыслѣ отклоненія отъ одной опредѣленной нормы химическаго состава), но съ другой стороны строгія, опредѣленныя условія механическихъ испытаній, которыя сводятся главнымъ образомъ къ опредѣленію предѣла упругости, какъ основного показателя результатовъ механической обработки желѣза.

Для контроля за температурою прокатки рельсовь, кромѣ обычных ь термоэлементовь и свѣтовыхь пирометровь, въ послѣднее время начинають употреблять особый магнитный приборь, основанный на томъ свойствѣ, что сталь выше критической точки не магнитна и пріобрѣтаеть это свойство только ниже этой критической точки. Такой приборь даетъ возможность автоматически сортировать рельсы на прокатанные выше критической точки и ниже ея, т. е. на рельсы съ крупно и мелко зернистымъ строеніемъ. Этотъ способъ можетъ со временемъ оказаться весьма полезнымъ при производствѣ рельсовъ, но съ конструктивной стороны онъ пока еще мало разработанъ. Такимъ образомъ, не отрицая большого вліянія химическаго состава желѣза на его механическія свойства²²), надо признать, что условія механической обработки имѣютъ громадное вліяніе на измѣненіе механическихъ свойствъ желѣза.

Подъ вліяніемъ механической обработки элементы одного и того же профиля получаютъ различную структуру и различныя механическія свойства Такимъ образомъ желѣзо послѣ прокатки выходитъ изъ ручья валковъ структурно не однороднымъ по сѣченію, и для иллюстраціи подобной картины раньше нами было разсмотрѣно с/ѣченіе рельса. Неоднородность структуры находится въ прямой зависимости отъ сложности прокатываемаго профиля, но съ другой стороны, надо полагать, что неоднородность металла сильно зависитъ и отъ промежуточныхъ профилей калибровъ, на что необходимо обратить усиленное вниманіе при калибровкѣ валковъ.

Итакъ, въ зависимости отъ сложности изготовляемаго профиля желѣзо послѣ прокатки по одному и тому же сѣченію является структурно не однороднымъ, но кромѣ этого оно и поступаетъ въ профиля калибровочныхъ валковъ и проходитъ ихъ химически неоднороднымъ, подъ вліяніемъ ликваціи металла въ болванкахъ, на что ясно указываетъ химическій анализъ рельсовъ, сдѣланный инженеромъ Бабошинымъ ²³) и приведенный въ слѣдующей таблицѣ:

²²) Бол'є цопробно о вліянія химическихъ элементовъ на механическія качества желѣза разобрано во ІІ й главѣ "Металлическіе Сплавы" Т. Тихоновъ. 1910 г. ²³) Изслъдованіе рельсовой стали. Извъстія Механической Лабораторія Инсти-

тута Инженеровъ Путей Сообщенія. Стр. 6.

Измънение структуры желъза при механической обработкъ.

6COBЪ.	Угле общій	родъ С об.	Углеродъ к р. Углеродъ за- бидный Ск' кала С зак.		Фосфо	оръ Р.	Кремвій Si.			
Ne.Ne pen	На поверх. головки.	Въ сере- динћ головки.	На поверх. головки.	Въ сере- динћ головки.	На поверх. головки.	Въ сере- данѣ головки.	На поверх. головки.	Въ сере динть головки.	На поверх. головки.	Въ сере- динѣ головки.
11 0	0.005	0 590			0.014	0.500	hango	i n or	1200.000	OULE
14-2	0,605	0,736	0,264	0,236	0,341	0,500	L. my Rd	mea a	section	aonom
22 - 6	0,604	0,718	0,295	0,310	0,309	0,408		-	-	-
13-1	0 400	0,418	0,086	0,082	0,314	0.336	0,094	0,112	LUL <u>I</u> NG	10 note
9-4	0,304	0,386	0,209	0,327	0,095	0,059	0,107	0,144	1111	<u>non.0</u> 01
9 - 3	0.373	0,582	0,195	0,373	0,178	0.209	0.101	0.209	No <u>Lin</u> X	as <u>c</u> ri
14 - 7	0.210	0.310	ner oa	POT CARE	-	montan	1997/010	NY CON	1/1/12/61	1211
22 - 1	0,255	0,268	the part of the	Minn	NI LL	no <u>cic</u> n	0,247	0,230	(<u>121</u>)	107-01
22 - 7	MAN HE	0.290	ST un to	1161 161	NO CARDO	n a rr oi	0,185	0.165	0.224	0,201
19 - 4	T TRANS	0,160	W the	280	int o a vit		U.	lion-	0.485	0,489
22 - 5	0,350	0,410	n n a a aa	and the state	a t ra di	an Turi ni	nelle re iti		11	_
14 - 5	0.355	0.370				2.00				
20 - 4	0.273	0.360	L OSCILL			ou ch	naurus			_
37 - 1	0.250	0.380	19910H		HP SETO	HIH.	01909	dr.9PR	100 44	
-on via	,	0.000	Tox ar	RIFRIN	a nina	EO FFIL	Y RIG	H. SWE	T.86	MPRT

Изъ нея можно усмотрѣть, что количество общаго углерода всегда меньше на поверхности головки, чѣмъ въ серединѣ ея, при чемъ разница иногда весьма значительная.

Для уничтоженія замѣтныхъ вліяній ликваціи желѣза принимается рядъ предосторожностей при изготовлении металла и самихъ болванокъ изъ него, а у готовыхъ болванокъ неръдко отръзаютъ верхнюю треть, не употиебляя ея для изготовленія отвѣтственныхъ профилей. Химическій состань желѣза несомнѣнно вліяеть на структуру его элементовь, слѣдовательно, оснвоная цѣль современнаго инженера практика дать химически неоднородному желёзу, поступающему въ прокатку, путемъ измѣненія условій механической обработки одинаковое структурное строеніе (мелкозернистое) по сѣченію профиля (иногда весьма сложной формы) является весьма трудной задачей, и для достиженія этой цѣли необходимо принять не только цѣлый рядъ указанныхъ выше мѣръ предосторожности въ смыслѣ точнаго опредѣленія температуры начала и конца прокатки , но необходмио и въ дальнвишемъ по окончаніи проктаки металла поставить его въ такія условія, чтобы металлъ не имълъ бы возможности мънять свою структуру. Металлъ покидаетъ послѣдній ручей калибровочныхъ валковъ съ значительно высокой температурой нагръва, вслъдствіе чего способенъ принимать мъстный закаль, если только мѣстныя условія благопріятствують этому, а посему необходимо дать возможность горячимъ готовымъ профилямъ (полосамъ) медленно и равном врно охладиться, защищая ихъ для этого отъ случайныхъ сквозняковъ и мъстныхъ охлажденій. Устройство особыхъ

65

помѣщеній, предназначенныхъ для равномѣрнаго охлажденія горячихъ полосъ послѣ прокатки, особенно необходимо рекомендовать для мѣстностей съ рѣзкими колебаніями температуры.

Горячій готовый профиль (полоса) посл'в прокатки при остывании даже въ весьма благопріятныхъ условіяхъ въ смыслѣ равномѣрности охлажденія его, вслёдствіе неравномёрности распредёленія массы металла по свченію и неравном врности охлажденія частей профиля въ калибровочныхъ валкахъ, —всегда по охлаждении въ холодномъ состоянии является покоробленнымъ по длинъ. Для уничтоженія подобныхъ коробленій приходится сообщать профилю (полосѣ) остающіяся деформаціи въ холодномъ состояніи путемъ ударовъ кувалдами или путемъ особыхъ нажимныхъ механизмовъ. Производство такихъ остающихся деформацій всегда сопровождается нарушеніемъ ранье полученной структуры металла и вызываеть появление дополнительныхъ внутреннихъ напряженій, порой весьма вредно вліяющихъ на механическія качества металла. Для уничтоженія только что указанныхъ вредныхъ вліяній холодной правки готовыхъ полосъ, необходимо подобное исправление вести въ горячемъ состояніи, когда частицы металла еще довольно эластичны; затёмъ для уничтоженія величины коробленія полосы необходимо послёдней въ горячемъ состояни сейчасъ же послё окончанъя прокатки при помощи особыхъ приспособленій (опытнымъ путемъ изготовленныхъ шаблоновъ или подвижныхъ механизмовъ) давать кривизну обратную той, которую получаетъ холодная полоса, вслъдствіе вышеукзаанныхъ причинъ; въ послёднемъ случаё размёръ холодной правки и ея вредныя посл'ядствія могуть быть сведены до minimum'а.

Заканчивая обзоръ измѣненія структуры желѣза при горячей обработкѣ необходимо отмѣтить еще одинъ интересный фактъ, замѣченный Charpy ²⁴) и провѣренный Le Châtelier ²⁵) и заключающійся въ томъ, что сталь при наклепкѣ при температурѣ 600—700° С обнаруживаетъ склонность къ крупной кристаллизаціи, вслёдствіе чего она, будучи отожжена при этой температуръ, дълается очень хрупкой. Склюнность наклепаннаго металла къ крупной кристаллизации Le Châtelier иллюстрируеть на образцахъ штампованной аллюминіевой посуды, которая начала подвергаться перерожденію. Въ послѣднихъ образцахъ авторъ замѣтиль зернистое строеніе, особенно ярко замѣтное по сосѣдству съ мѣстомъ начавшагося перерожденія. Наблюденій подобнаго же характера, иллюстрирующихь то явленіе, что наклепанные металлы воооще, а въ томъ числѣ и желѣзо находятся въ структурно неустойчивомъ равновъсіи, поэтому достаточно незначительнаго толчка (температуры или химическаго воздѣйствія), чтобы вызвать переходъ въ устойчивое состояніе съ появленіемъ явной кристаллизаціи, въ посліднее время сдъ-

²⁴) R. de Métall. 1910. 655.

²⁵) R. de Mètall. 1911. Nº 4. 364.

лано достаточно²⁶), но считать затронутый вопросъ вплонѣ исчерпаннымъ еще невозможно.

Объ измѣненіи структуры желѣза при холодной обработкѣ можно составить вполнѣ опредѣленное представленіе по ранѣе разсмотрѣнной картинѣ измѣненія структуры желѣза при волоченіи, ибо общій характеръ этой картины не мѣняется для большинства случаевъ холодной обработки; измѣненіе механическихъ свойствъ желѣза при холодной обрабтокъ иллюстрируется ранъе приведенными таблицами опытныхъ наблюденій; но для полноты общей картины измѣненія структуры желёза въ холодномъ состоянии необходимо сказать нёсколько словъ объ измѣненіи структуры желѣза подъ вліяніемь повторныхъ нагрузокъ. Надъ послѣднимъ вопросомъ работало много экспериментаторовъ, такъ вь 1858 г. Велеръ по порученію прусскаго правительства предпринялъ рядъ опытовъ надъ д'Ействіемъ повторительныхъ нагрузокъ, а въ 1871 г. опубликовалъ результаты своихъ наблюденій. По даннымъ Велера слъдуетъ, что число повторительныхъ нагрузокъ, которыя можетъ выдержать испытываемый образець, увеличивается по м'вр' того, какъ величина нагрузокъ уменьшается, но кромѣ этого число нагрузокъ зависить не отъ одной только ихъ абслоютной величны, но также и отъ предѣловъ, между которыми измѣняются эти нагрузки.

Подъ дѣйствіемъ повторительныхъ нагрузокъ желѣзо и сталь мотутъ быть разрушены, даже въ томъ случаѣ, если каждая изъ отдѣльныхъ нагрузокъ не въ состояніи разорвать металла. Но съ другой стороны всегда существуетъ извѣстная величина напряженія, повтореніе которой металлъ можетъ выдержать произвольно большое число разъ.

Дальнѣйшіе опыты, произведенные Бекеромъ и Баушингеромъ, вполнѣ подтвердили общія заключенія изъ изслѣдованій Велера. Интерзсенъ тотъ фактъ, что металлъ подъ дѣйствіемъ повторительныхъ нагрузокъ не теряетъ своей крѣпости и вязкости, такъ, разрушенные повторительными нагрузками образцы при испытаніяхъ на разрывныхъ машинахъ обнаруживаютъ свою прежнюю крѣпость и вязкость. Нужно допустить, что разрушающее дѣйствіе повторительныхъ нагрузокъ распространяется на весьма тонкій, наиболѣе слабый слой поперечнаго сѣченія, по которому металлъ разрывается съ явнымъ развитіемъ кристаллизаціи. Такое соображеніе вполнѣ подтверждается тѣмъ фактомъ, что при повторительныхъ нагрузкахъ желѣзо и сталь рвутся безъ всякихъ удлиненій, совершенно какъ хрупкіе металлы.

Такая же картина излома нерѣдко наблюдается при поломкѣ вагонныхъ осей, бандажей и т. п. предметовъ, и причина такихъ изломовъ, въ большинствѣ случаевъ, надо полагать, кроется въ вліяніи на металлъ повторительныхъ нагрузокъ.

26) Журналь Русскаго Металл. О-ва. 1910. Ст. 979.

⁶⁷

Причину такого разрушенія металла подъ дъйствіемъ повторительныхъ нагрузокъ можно объяснить слёдующимъ образомъ: желёзо, какъ мы видёли раньше, подъ вліяніемъ механической обработки всегда имветъ нвсколько повышенный предблъ упругости, величина котораго и опредъляется на разрывныхъ машинахъ для разсчета различныхъ деталей машинъ. Дёйствіе повторительныхъ нагрузокъ, какъ показали опытныя изслъдованія Баушингера²⁷), стремится понизить этоть искусственно приподнятый предълъ упругости и привести его къ естественной величинь, при которой дъйствующая нагрузка даеть въ наиболве слабыхъ мвстахъ по свчению работающей машинной детали толчекъ къ образовании явной кристаллизации, слъдствіемъ чего является мъстное ослабление силы сцъпления зеренъ металла (ибо величина ихъ возросла) и поломка самой детали. Цёлымъ рядомъ опытовъ Баушингеръ старался опредѣлить естественную величину предѣла упругости и получиль ее для жельза равной 12,6 klg. на кв. мм., а для мягкой стали 14,9 klg. на кв. мм., величины весьма близкія къ тёмъ, которыя были даны ранъе Велеромъ, какъ безопасныя напряженія для производства большого числа повторительныхъ нагрузокъ.

Итакъ, резюмируя основныя положенія изъ всего вышесказаннаго, мы приходимъ къ слѣдующимъ заключеніямъ:

1) Углеродистое желѣзо при условіи весьма медленнаго охлажденія послѣ плавленія способно принимать явно- кристаллическую форму. Наиболѣе часто углеродистое желѣзо кристаллизуется въ формѣ октаэдра и значительно рѣже въ формѣ куба. При наличіи всѣхъ вышеприведенныхъ условій наиболѣе ярко выраженныя формы кристаллизации у углердоистаго желѣза наблюдаются при содержаніи углерода около 2%. Углеродистое желѣзо способно въ нѣкоторыхъ случаяхъ воспринимать кристаллическое строеніе даже при весьма быстромъ охлажденіи отъ высокихъ температуръ и при существованіи внѣшнихъ условій, стѣсняющихъ образованіе кристалловъ.

2) При отсутствіи весьма медленнаго охлажденія и подъ вліяніемъ усилій механической обработки частицы углеродистаго желѣза не мо гутъ выдѣлиться вь ғидѣ ярко выраженныхъ кристаллическихъ формъ, а пріобрѣтаютъ овальныя, но въ большинствѣ случаевъ отчетливо выраженные контуры.

3) При постепенномъ нагрѣваніи растетъ величина отдѣльныхъ зеренъ у углеродистаго желѣза. Первое замѣтное измѣненіе величины зэренъ у углеродистаго желѣза появляется около 300°. Мягкое желѣзо, нагрѣтое до послѣдней температуры и обработанное при ней, имѣетъ не только болѣе крупную кристаллизацію по сравненіи съ сырымъ, нэ нагрѣтымъ металломъ, но обладаетъ и большею хрупкостью съ значи-

²⁷ Ueber die Veränderung der Elasticitätsgrenze. Mittheilungen aus dem Mechanisch. Laboratorium in München Heft. XIII. 1886.

тельнымъ уменьшеніемъ вязкости. Посл'єднее свойство мягкаго желъза, —изм'єнять свою структуру и механическія свойства самого металла, изв'єстно въ техникѣ подъ названіемъ: "синяго нагрѣва". Температура синяго нагрѣва мягкаго желѣза близка къ 300° С, но изм'єненіе механическихъ свойствъ металла зависитъ не только отъ температуры синяго нагрѣва, но отъ механической обработки металла при этой температурѣ, подъ вліяніемъ которой и происходитъ характерное изм'єненіе механическихъ свойствъ самого металла. Изм'єненіе роста зеренъ мягкаго желѣза при синемъ нагрѣвѣ не сопровождается зам'єтнымъ выдѣленіемъ или поглощеніемъ тепла, вслѣдствіе чего не удается зарегистрировать эту характерную точку, пользуясь услугами пирометра.

4) При дальнъйшемъ плавномъ нагръвании при температуръ свыше 600° углеродистое желѣзо замѣтно измѣняетъ свое внутреннее строеніе, при чемъ такое измѣненіе структуры желѣза сопровождается замътнымъ измъненіемъ тепла и легко регистрируется пирометремъ подь названіемъ критическихъ точекъ Ar₁, Ar₂ и Ar₃. Первая изъ критическихъ точекъ Ar, соотвѣтствуетъ началу (при нагрѣвѣ) аллотропческихъ измѣненій частицъ желѣза, а именно переходу частицъ Fea въ Feβ; вторая Ar₂—переходу частицъ Feβ въ Feγ и третья точка Ar₃—со. отвѣтствуетъ концу аллотропическихъ измѣненій указаннаго характера. Положение вышеназванныхъ критическихъ точекъ у углеродистаго желѣза сильно зависить отъ содержанія углерода въ послѣднемъ, а именно: Аг, для болѣе мягкихъ сортовъ желѣза почти совсіёмъ не замѣтно, для болѣе же твердыхъ достигаетъ значительной величины. По мъръ увеличенія содержанія углерода вь желъзь положеніе критическихъ точекъ Ar₁ и Ar₂ приближается къ положенію точки Ar₃, и въ твердыхъ сортахъ стали неръдко всъ три точки совпадютъ. Чъмъ больше содержитъ желѣзо углерода, тѣмъ ниже по температурѣ положензе критическихъ точекъ. Одинаково съ углеродомъ на положение критическихъ точенъ дъйствуетъ и марганецъ. Положение критическихъ точекъ для одного и того же сорта желъза при нагръвании будетъ всегда нвсколько выше, чёмъ при охлаждении, и эта разница будетъ тёмъ замътиве, чёмъ выше первоначальный нагрёвъ желёза, отъ котораго происходить наблюдаемое охлаждение.

5) Величина отдѣльныхъ зеренъ углеродистаго желѣза при нагріѣвѣ постепенно растетъ, но наиболѣе интенсивный ростъ зеренъ желѣза начинатеся съ началомъ появленія критической точки Ar₁. Величина отдѣльныхъ зеренъ углеродистаго желѣза находится въ прямой зависимости отъ температуры нагрѣва, и, по мнѣнію Howe, каждой данной температурѣ соотвѣтствуетъ опредѣленная величина зерна; если существуетъ зерно больше нормальнаго для данной температуры, то оно не возвращается вновь къ нормальной величинѣ. Прямая пропорціональность между величиной зерна желѣза и ссотвѣтствующей температурой нагрѣва существуетъ только до извѣстнаго предѣла нагрѣва; въ предѣлахъ до 1000° С для мягкихъ и среднихъ сортовъ желѣза по твердости (по содержанію углерода); при дальнѣйшемъ нагрѣвѣ зерно желѣза растетъ быстрѣе соотвѣтствующаго прироста температуры нагрѣва, вслѣдствіе чего желѣзо быстро переходитъ въ стадію крупной кристаллизаціи, съ появленіемъ плохихъ механическихъ свойствъ у металла.

6) Причина роста зеренъ желѣза при нагрѣваніи кроется въ диффузіи веществъ между сосѣдними зернами (кристаллами) черезъ пленку связующей ихъ эвтектики. Сама же диффузія послѣдняго характера появляєтся вслѣдствіе неодинаковой оріентировки осей кристалловъ (зеренъ), благодаря чему частицы двухъ смежныхъ кристалловъ неодинаково растворяются въ связующей ихъ эвтектикѣ, въ результатѣ чего появляется одностороннее давленіе и поступательное перемѣщеніе частицъ одного кристалла (зерна) въ сторону другого, при чемъ послѣдній начинаетъ расти за счетъ перваю.

7) При продолжительномъ нагръваніи при температурів около 640—670° С въ структурів углеродистаго желівза замівчается явленіе коалесцепціи, т. е. взаимное перемівщеніе и притяженіе частицъ себів подобныхъ. Подъ вліяніемъ коалесцепціи при продолжительномъ нагрівваніи и охлажденіи эвтектической стали въ критическомъ интервалів происходитъ полное обосбленіе структурныхъ элементовъ, и наблюдается, по выраженію Osmond'а, картина структурнаго равновістя.

8) При высокомъ сварочномъ нагръвъ механическія усилія прокаг. ки весьма слабо измёняють величину зерень желёза, которая, главнымъ образомъ, зависить отъ температуры нагрѣва. При дальневищемъ понижении температуры нагръва и подъ вліяніемъ механическихъ усилій прокатки, зам'ётно сильное изм'ёненіе формы и величины зерна желѣза; сначала зерна вытягиваются по направленію прокатки, и затѣмъ происходить ихъ д'вленіе на части вдоль прокатки подъ д'вйствіемъ боковыхъ давленій, какъ результата дъйствія прокатныхъ валковъ. Вели чина зеренъ прокатываемаго желъза не остается одинаковой по площади свченія ручьевъ прокатки, а именно: для первыхъ ручьевъ прокатки при бол высокой температур нагр ва площадь зерна у поверхности ручья меньше таковой у центра съченія ручья. Въ последнихъ ручьяхъ прокатки наблюдается обратная картина, —зерна желъза у поверхности ручья крупнѣе, нежели у середины послѣдняго. Причина перваго явленія заключается въ томъ, что подь вліяніемъ быстраго охлажденія валкомъ горячаго металла съ поверхности зерна металла сохраняютъ ту величину, которую они получили послів механической обработки, не успъвъ дорасти до нормальной величны (по температуръ) вслъдствіе быстраго охлажденія. Между тъмъ зерна средины прокатываемыхъ первыхъ ручьевъ подъ вліяніемъ высокой температуры нагрѣва успъвають увеличить свою величину, слъдуя ранъе указанному закону о нормальной величинѣ зерна для каждой температуры. Въ послѣднихъ же ручьяхъ прокатываемаго желъза при болъе низкихъ температурахъ нагрѣва зерна съ поверхности ручья, вслѣдствіе охлажденія валками и механическихъ усилій послѣднихъ, становятся болѣе устойчивыми и сохраняютъ свою ранѣе полученную форму; между тѣмъ какъ зерна съ средины послѣднихъ ручьевъ, имѣя большую температуру нагрѣва по сравненію съ поверхностными, подъ вліяніемъ механической вытяжки валковъ сильно дробятся и измѣняютъ свою величину.

9) Величина зеренъ желѣза не является постоянной для всѣхъ точекъ сѣченія готоваго профиля, а весьма сильно мѣняется съ характеромъ измѣненія рельефа самаго профиля. Въ мѣстахъ наибольшаго сѣченія разсматриваемаго профиля величина зеренъ также имѣетъ большую величину, и, наоборотъ, въ тонкихъ сѣченіяхъ профиля зерна имѣютъ меньшую величину, и на формѣ ихъ весьма сильно замѣтно вліяніе механическихъ усилій прокатки. Быстрое и неравномѣрное охлаждение металла послѣ прокатки только увеличиваетъ неравномѣрностъ величины зерна по профилю, и обратно—спокойное и равномѣрное охлажденіе металла послѣ прокатки способствуетъ возстановленію равно мѣрности величины зерна.

10) При волоченій величина зеренъ обрабатываемаго желѣза въ поперечномъ сѣченіи профиля уменьшается. Присутствіе высокаго напряженія при растяженіи вліяетъ на удлиненіе зеренъ. Сильное поперечное сжатіе матеріала вызываетъ раздѣленіе зеренъ по ихъ длинѣ, образуя сначала шейки. Размѣры зеренъ по величинѣ неодинаковы для всего поперечнаго сѣченія. Величина ихъ возрастаетъ отъ средней части къ периферіи, вслѣдствіе различія въ сопротивляемости. Различная сопротивляемость зеренъ и сила тренія о глазокъ вызываетъ скольженіє кнутреннихъ волоконъ относительно наружыхъ, служа приччеой разслаиванія матеріала.

11) При штампованіи сильное изм'вненіе формы и расположенія зеренъ желёза наблюдается въ обрабатываемомъ концё предмета, при чемъ стержень послъдняго обычно сохраняетъ ту структуру, которую онъ получилъ при предшествующей обработкъ (прокаткъ или волоченіи). Продольное расположеніе волоконъ, свойственное стержню обрабатываемаго предмета въ срединъ головки, мъняется на извилистое съ расщепленіемъ зеренъ и съ зам'ятнымъ образованіемъ трещинъ. Величина зеренъ сильно м'вняется въ различныхъ м'встахъ головки, при чемъ въ мъсть окончанія ствола остается нетронутой шаровидная часть, зерна которой по сравненію со стволомъ стержня почти не измѣнились, но отсюда уже наблюдается волокнистый переходъ къ боковымъ частямь головки. Наружная поверхностная часть головки, какъ верхняя часть, соприкасавшаяся со штампомъ, такъ и опорная плоскость снизу имъють болье мелкозернистое строеніе. Часть же между шаровой выпуклостью и поверхностнымъ слоемъ является какъ-бы сплюснутой На ве. личину зеренъ и на общій характеръ ихъ деформацій имѣетъ громадное вліяніе температура обработки и характеръ самой обработки. Чвиъ
температура обработки выше, и чёмъ плавнёе производится самое деформированіе обрабатывеамаго тёла, тёмъ однороднёе структура об работаннаго конца, и меньше трещинъ между отдёльными зернами въ головкѣ.

12) При кузнечныхъ горячихъ поковкахъ овальныя зерна обрабатываемаго куска желѣза пріобрѣтаютъ клинообразную форму съ направленіемъ продольной оси зерна согласно дѣйствія внѣшнихъ ударныхъ усилій, при чемъ наблюдается и дѣленіе отдѣльныхъ зеренъ на болѣе мелкія части.

13) При рёзаніи и пробиваніи отверстій наблюдается характерное деформированіе раздёляемыхъ кромокъ металла, при чемъ при рёзаніи величина этихъ деформацій бываетъ толщиною около 1 m/m, а при пробивкѣ отверстій около ¹/₁₀ толщины обрабатываемаго предмета. На величину деформацій при пробиваніи отверстій оказываетъ замѣтное вліяніе форма пуансона и величина зазора между послѣднимъ и матрицей, а именно: при величинѣ указаннаго зазора въ предѣлахъ отъ ¹/₂ до 1 m/m. деформаціи обрабатываемаго металла имѣютъ наименыпую величину, но пуансонъ при соблюденіи величины послѣдняго зазора долженъ имѣть средній направляющій конусъ и рѣжущія кромки, съ угломъ близкимъ къ 87°. Дополнительный отжигъ рѣзанныхъ кромокъ или пробитыхъ отверстій способствуетъ возстановленію зеренъ нарушенной структуры, а главное онъ, повидимому, слособствуетъ отдѣленію деформированной части металла отъ здоровой.

14) Механическія свойства испытуемаго металла (желѣза) находятся въ тѣсной связи съ химическимъ составомъ и съ его структурой, которые въ свою очередь находятся въ тѣсной связи съ предшествующей термической и механической обработкой металла. По характеру кривой разрыва испытуемаго бруска съ большой долей вѣроятности можно судить о структурномъ строеніи бруска.

15) Послѣдовательная проварка и прокатка желѣза увеличиваютъ коэффиціентъ крѣпости послѣдняго до извѣстнаго предѣла, а потомъ онъ начинаетъ уменьшаться. Подобное же вліяніе оказываетъ на крѣпость желѣза и ковка, при чемъ для стали коэффиціентъ крѣпости при ковкѣ измѣняется слабѣе, нежели для желѣза. При холодной обработкѣ коэффиціентъ крѣпости измѣняется не очень значительно, предѣлъ же упругости повышается очень сильно, но вмѣстѣ съ тѣмъ уменьщается вязкость металла.

16) Наибольшею долговѣчностью службы отличаются тѣ издѣлія изъ углеродистаго желѣза, для которыхъ коэффиціентъ механической обработки имѣетъ наибольшую величину (по формулѣ Юптнера).

17) Для полученія мелкозернистаго строенія, а, слѣдовательно, и для полученія углеродистаго желѣза съ хорошими механическими свойствами, необходимо горячую прокатку желѣза оканчивать при температурахъ ниже критическаго интервала (около 700° С) и во всякомъ случав ниже той температуры, при которой происходитъ прекращение прямой пропорціональности между величиною зерна и соотвѣтствующей температурой нагрѣва. Для уничтоженія недочетовъ прокатки необходимо правку профилей (полосъ) вести въ горячемъ состояніи.

Краткое описаніе атласа фототипій.

таблица І.

Фиг. 1. Магнитный желѣзнякъ съ горы Благодать на Уралѣ. Явно кристаллическія формы магнитнаго желѣзняка найдены въ пустотахъ послѣдняго.

Фиг. 2. Часть наружной корки весьма медленно охлажденнаго сплава углеродистаго желѣза (С=2,27%). Направленіе осей кристаллизаціи рельефно замѣтно у средины куска, причемъ къ периферіи послѣдняго оси кристаллизаціи постепенно пропадаютъ.

Фиг. 3. Концы осей кристаллизація на наружной верхней коркѣ углеродистаго сплава желѣза № 1 (С=1,8%, Si=0,30%, Mn=0,15%, Ph=0,026, S=0,022%. См. стр. 6).

Фиг. 4. Шлифъ съ сѣченія кристалла Д. К. Чернова, причемъ на правленіе сѣченія шлифа перпендикулярно главной оси кристалла. Содержаніе углерода въ желѣзѣ указаннаго кристалла равно 0,78%.

Таблица II.

Фиг. 5. Кристаллъ углеродистаго желѣза, полученный Д. К. Черновымъ въ усадочной пустотѣ 100 t болванки мягкой стали. Отливка этой болванки была произведена въ металлическую изложницу, на которой находилась земляная форма для прибыльной части. Вслѣдствіе незначительной теплопроводности земляныхъ стѣнокъ прибыли металлъ застылъ въ ней весьма медленно; въ усадочной пустотѣ прибыли этой болванки были найдены Д. К. Черновымъ отчетливые кристаллы углеродистаго желѣза, и наибольшій изъ нихъ изображенъ на фиг. 5. Кристаллъ двойной, причемъ длина большого кристалла достигаетъ 39 ст., вѣсъ же—8½ ф.

аль на воло в стаблица III.

Off. W. TEMBAN HERBERS HERBERS OF THE COUNTRY OF THE OFFICE OFFIC

Фиг. 6. Шлифъ изображаетъ сѣченіе одного изъ кристалловъ Д. К. Чернова по направленію перпендикулярному длинной оси кристалла. На полѣ шлифа отчетливо замѣтно выдѣленіе феррита (бѣлыя полосы), окруженнаго перлитомъ. Выдѣленія феррита содержатъ довольно значительное количество шлаковъ, механически въ нихъ замѣшанныхъ (черныя пятна на бѣлыхъ полосахъ феррита). Фиг. 7. Шлифъ изображаетъ сѣченіе сплава № 5, приготовленнаго Н. Бѣляевымъ на Путиловскомъ заводѣ. Направленіе сѣченія шлифа перпендикулярно наружной коркѣ. На шлифѣ зерна феррита (бѣлыя полосы) окружены зернами перлита. Химическій составъ указаннаго сплева былъ таковъ: 0,62% С; 0,51%Si; 0,14% Mn; 0,024% Рh и 0,019% S. Сплавъ былъ приготовленъ въ шамотномъ тиглѣ и послѣ плавленія охлаждался весьма медленно (приблизительно около 60 час.).

Фиг. 8. Шлифъ изображаетъ сѣченіе сплава № 8, приготовленнаго на Ижевскомъ заводѣ при условіи весьма медленнаго охлажденія (углерода въ сплавѣ 0,55%). Бѣлыя полосы на шлифѣ—ферритъ, ъ темныя—перлитъ.

Примѣчаніе. Фототипіи фиг. 2, 3. 4, 5, 6, 7 и 8 заимствованы изъ атласа книги Н. Т. Бѣляева "Кристаллизація, структура и свойства стали при медленномъ охлажденіи".

Фиг. 9 и 10. Видманштетовая структура метеоритовъ. Параллелограммы, прямоугольники и треугольники названной структуры отчетливо видны на приведенныхъ шлифахъ.

Фиг. 11. Шлифъ изображаетъ внутреннее строеніе одного изъ кристалловъ магнитнаго желівзняка отъ куска, изображеннаго на фиг. 1.

Таблица IV.

Фиг. 12. Чугунъ съ содержаніемъ 3,35% С; 0,28% Si и 0,41% Мы при среднемъ по быстротѣ охлажденіи. Цементитъ (бѣлыя полосы на шлифѣ) выдѣлился въ плоскостяхъ спайности кристалловъ.

Фиг. 13. Шлифъ изображаетъ строеніе аустенита, причемъ бѣлыя поля на шлифѣ—аустенитъ, а темныя полосы на нихъ—мартенситъ, продуктъ начавшагося распаденія аустенита.

Фиг. 14. Изображаеть строеніе мартенсита при большомъ увеличеніи. Признаки строенія Видманштетовой структуры на фиг. 11, 12, 13 и 14 отчетливо замѣтны.

Фиг. 15. Изображаетъ строеніе мягкаго ковкаго желѣза. Зерна феррита на шлифѣ имѣютъ овальную форму и цементированы между собою перлитомъ, а черныя полосы представляютъ остатки шлаковъ.

Фиг. 16. Шлифъ изображаеть строеніе мягкой литой стали, причемъ зерна имѣютъ предыдущую овальную форму, но связующій ихъ элементъ (перлить—черная масса на шлифѣ), вслѣдствіе большаго содержанія углерода по сравненію съ предыдущимъ мягкимъ желѣзомъ, занимаетъ на шлифѣ большую площадь.

Фиг. 17. Инструментальная сталь средней твердости. Перлитовая масса шлифа (темныя поля на шлифѣ) равномѣрно пронизана сѣткою (бѣлою) изъ феррита. Сталь безъ термической обработки, содержитъ углерода около 0,46%.

таблица V

Фиг. 18. Шлифъ изображаетъ строеніе богатой по содержанію углерода стали томлянки. Зерна перлита имѣютъ явно волокнистое строеніе, и въ качествѣ связующаго ихъ элемента выдѣлился цементитъ, твердая зеркальная (бѣлая) поверхность котораго отчетливо вы ражена на фототипіи.

Фиг, 19. изображаетъ строеніе томасовскаго чугуна послѣ отжига въ теченіе 108 часовъ въ древесномъ углѣ. Строеніе цементита (бѣлыя поля на шлифѣ) отчетливо выдѣляется среди волокнистыхъ зеренъ перлита. Темныя вкрапленія на шлифѣ принадлежатъ углероду отжига. Шлифы фиг. 18 и 19 имѣютъ рельефную полировку.

Фиг. 20 и 21. Оба шлифа представляють строеніе котельнаго же лѣза, причемъ второй шлифъ изображаетъ строеніе этого желѣза послѣ обработки при "синемъ нагрѣвѣ", а первый—безъ обработки. На второмъ шлифѣ—рельефно замѣтно увеличеніе зеренъ феррита послѣ обработки котельнаго желѣза при "синемъ нагрѣвѣ" по сравненію съ строеніемъ того же желѣза въ необработанномъ видѣ.

Фиг. 22 и 23 изображають измѣненіе въ строеніи мягкаго, ковкаго желѣза послѣ продолжительнаго нагрѣва его въ кузнечномъ горнѣ въ теченіе 4 и 5 дней, причемъ ежедневно горнъ работалъ около 8 часовъ. По мѣрѣ увеличенія продолжительности указаннаго нагрѣва овальныя зерна феррита растутъ по величинѣ, на поверхности ихъ и между ними (темныя пятна на шлифѣ) появляются скопленія окисловь желѣза.

піноритову аконта да Таблица VI. то стояжадови 88 лиф.

Фиг. 24. Шлифъ изображаетъ с. р. эте предыдущаго мягкаго, ковкаго желѣза послѣ нагрѣва его въ кузне...о... торнѣ въ продолженіе 7 дней по 8 часовъ ежедневно. Зерна феррита (оълыя овальныя пятна на шлифѣ) замѣтно выросли по величинѣ. Окисленіе металла по сравненію съ предыдущимъ сильно увеличилось, и окислы желѣза располагаются въ видѣ мощныхъ (черныхъ) сплошныхъ полосъ. Прямолинейное расположеніе окисловъ желѣза можно объяснить тѣмъ, что окисленіе металла наиболѣе интенсивно распространялось по наиболѣе слабымъ мѣстамъ его,—по слѣдам съма мелкихъ остатковъ отъ шлаковъ, выдавленныхъ изъ металла п каткѣ по направленію послѣдней.

Фиг. 25, 26, 27 и 28 изображають строеніе инструментальной стали средней твердости (углерода 0,95%) при послѣдовательной термической обработкѣ. У сырой стали (фиг. 25) зерна перлита (темныя пятна на шлифѣ) тѣсно связаны цементитомъ (бѣлая сѣтка на шлифѣ) При нагрѣвѣ до 700° С цементитовая сѣтка начинаеть постепенно пропадать (фиг. 26), и зерна перлита нѣсколько измѣняютъ свое строеніе; при дальнѣйшемъ нагрѣвѣ въ концѣ критическаго интервала зерна перлита и цементита совмѣстно образуютъ новую аллотропическую форму мартенситъ, иглы котораго отчетливо видны на фиг. 27. Наконецъ, фиг 28 изображаетъ строеніе той же стали при пережогѣ, причемъ сталь явно пріобрѣтаетъ Видманштетову структуру.

Фиг. 29. изображаетъ строеніе мягкаго литейнаго чугуна при обычномъ охлажденіи. Ферритовая эвтектика чугуна (бѣлая масса на шлифѣ) изобилуетъ выдѣленіемъ графита (черныя щели на шлифѣ).

Таблица VII

Фиг. 30. Фототипія даеть ясную картину измѣненія въ строеніи мягкаго литейнаго чугуна предыдущаго химическаго состава подъ вліяніемъ продолжительнаго отжига. Выдѣленія графита занимаютъ большую площадь на шлифѣ по сравненію съ фиг. 29.

Фиг. 31 относится къ шлифу ковкаго чугуна, у котораго ферритовая эвтектика (бѣлыя поля на шлифѣ) раздѣлилась на самостоятельныя зерна (овальной формы) феррита, а углеродъ въ формѣ углерода отжига является скученнымъ (черныя пятна и кружки на шлифѣ).

Фиг. 32. Фототипія изображаетъ строеніе литейнаго чугуна при процессь отобливанія его. Направленіе лучей закала отчетливо замѣт но на шлифѣ (прямыя бѣлыя полосы) съ зеркальными выдѣленіями на нихъ цементита, причемъ эти лучи закала постепенно пропадаютъ въ оставшейся неотоѣленной массѣ мягкаго литейнаго чугуна (темное пятно на шлифѣ). Указанный чугунъ содержитъ 4,03% С; 1,13% Si и 0,60% Mn.

Фиг. 33 изображаетъ строеніе перлита при большомъ увеличеніи. Бѣлыя нити состоятъ изъ цементита, а промежутки между ними заполнены ферритомъ. Сталь содержитъ 0,45% С, была нагрѣта до 800° С и медленно охлаждена до 700° С. Рельефная полировка.

Фиг. 34. Зернистый перлить при большомъ увеличении; овальныя возвышающіяся зерна состоять изъ цементита, а заполняющая промежутки между ними масса изъ феррита. Сталь содержить 1,24% С. Рельефная полировка.

Фиг. 35. Тростить при большомъ увеличении. Сплошная масса тростита (бѣлыя поля на шлифѣ) на своей поверхности имѣетъ зачатки гранулей (иглъ) мартенсита, въ который при дальнѣйшемъ нагрѣваніи троститъ и переходитъ. Сталь содержитъ 0,45% С, была нагрѣта до 825° С и медленно охлаждена до 690° С, а затѣмъ закалена въ водѣ комнатной температуры.

Таблица VIII.

Фиг. 36—41 изображають послѣдовательное измѣненіе структуры весьма мягкаго желѣза при прокаткѣ проволоки вь первыхъ трехъ ручь-

78

яхъ, причемъ четные номера фигуръ относятся къ поперечнымъ съченіямъ образцовъ, а нечетные-къ сѣченіямъ вдоль прокатки. Зерна фер рита наблюдаемыхъ образцовъ имѣютъ типичную овальную форму, и замѣтнаго измѣненія этой формы подъ вліяніемъ прокалки не наблюдается, такъ какъ температура прокатки еще значительно высока. ахизоэринахэм амэнний адой анором андэа отэр энтэндцэв, анандэт, эмээнн он кэтоангудаац н В Таблица IX.

Фиг. 42-47 изображають измѣненіе въ строеніи мягкаго желѣза въ 4, 5 и 6 ручьяхъ прокатки. Характеръ измѣненія зеренъ феррита въ 4 и 5 ручьяхъ прокатки остается предыдущій, но въ 6-мъ ручьѣ, вслѣдствіе замѣтнаго охлажденія металла, овальныя зерна феррита начинають вытягиваться вдоль прокатки, что довольно отчетливо замътно на шлизатеми протянута черезъ изаеона и и прицания си кругово 47. чения. Форма зеренъ феррита почти одинаковая, какъ въ пропольном фѣ фиг. 47.

лінора» (от лиф) аконродоной и азыт (17 лиф) Таблица Х.

Фиг. 48-53 изображають дальнёйшее измёненіе въ строеніи мягкаго желѣза при прокаткѣ проволоки въ 7, 8 и 9 ручьяхъ. Зерна феррита продолжають вытягиваться по направленію прокатки; направленіе такого удлиненія зеренъ феррита весьма отчетливо видно на шлифахъ, взятыхъ вдоль прокатки. По мъръ вытягиванія зеренъ феррита происходить ихъ дробление на части съ предварительнымъ образованиемъ порехватовъ (См. фиг. 51).

подок выначество стаблица ХІ. в стотоун онеготурно. Пон

Фиг. 54—59 представляють измѣненіе строенія того же мягкаго желѣза при дальнѣйшей прокаткѣ проволоки въ 10, 11 и 12 ручьях .. Общій характеръ измѣненія формы зеренъ феррита вполнѣ напоминаетъ предыдущую картину такого измѣненія въ 8 и 9 ручьяхъ, но только подъ вліяніемъ продольныхъ усилій прокатки волокна не успѣвають достаточно вытягиваться и начинають замётно рваться съ образованіемъ пустоть внутри металла. (См. черныя пятна на шлифахъ фиг. 55, 56, 57, 58 и 59).

Таблица XII.

Фиг. 60-65 относятся къ 13, 14 и 15 ручьямъ прокатки желѣза въ вышеназванную проволоку. Характеръ измѣненія формы зеренъ феррита подъ вліяніемъ прокатки вполнѣ аналогиченъ съ общей картиной предыщей таблицы, но отличается только тёмъ, что зерна феррита замётно сильнъе рвутся вдоль прокатки, вслъдствіе чего пустоть внутри металла наблюдается больше по сравненію съ предыдущимъ.

Таблица XIII

Фиг. 66—69 изображаютъ измѣненіе структуры мягкаго желѣза при прокаткѣ проволоки въ двухъ послѣднихъ ручьяхъ, въ 16 и 17-мъ. Температура окончанія прокатки весьма близка къ началу критическаго интервала, вслѣдствіе чего зерна феррита подъ вліяніемъ механическихъ усилій прокатки весьма сильно дробятся и разрушаются по плоско стямъ спайности другъ съ другомъ, что довольно отчетливо замѣтно на фиг. 67. Затѣмъ въ послѣднемъ поперечномъ сѣченіи проволоки (фиг. 68), вслѣдствіе разрыва волоконъ (зерень) феррита, замѣтны большія пустоты внутри металла (черныя пятна на шлифѣ).

Фиг. 70 и 71 изображають строеніе проволоки, полученной съ завоца послѣ прокатки до волоченія. Проволока предварительно отожжена и затѣмъ протянута черезъ глазокъ для приданія ей круглой формы сѣченія. Форма зеренъ феррита почти одинаковая, какъ въ продольномъ (фиг. 71), такъ и поперечномъ (фиг. 70) сѣченіи.

таблица XIV.

Фиг. 72 и 73 изображаютъ строеніе проволоки, полученной съ завода послѣ трокатки, но безъ отжига и безъ протягиванія черезъ глазокъ. Зерна феррита, какъ въ поперечномъ сѣченіи (фиг. 72 и въ дальнѣй шемъ четные номера), такъ въ продольномъ (фиг. 73 и въ дальнѣйшемъ нечетные номера) замѣтно меньше по величинѣ по сравненію съ предыдущими фототипіями (фиг. 70 и 71 табл. ХШ), что свидѣтельствуеть о томъ, что температура отжига данной проволоки была веьма значитель ной. Присутствіе пустотъ внутри металла, вслѣдствіе разрыва зеренъ, весьма замѣтно на полѣ шлифа.

Фиг. 74, 75, 76 и 77 представляють строеніе проволоки въ поперечномъ и продольномъ сѣченіи послѣ первыхъ двухъ вытяжекъ. Пустоты между зернами металла подъ вліяніемъ боковыхъ давленій при проходѣ черезъ глазокъ волочильной доски немного уменьшились по сравненію съ таковыми для прокатанной проволоки (фиг. 72 и 73), но вмѣстѣ съ тѣмъ и зерна феррита начинаютъ интенсивно вытягиваться по направленію волоченія проволоки (сравн. фиг. 75 и 77).

Таблица XV.

Фиг. 78—83 изображають общую картину измѣненія формы зерень проволоки при дальнѣйшемъ волоченіи. Здѣсь уже рѣзко замѣтно постепенное удлиненіе зеренъ и уменьшеніе ихь по величинѣ въ поперечномъ сѣченіи. Зерна феррита, какъ видно, не могуть сохранить свою ранѣе полученную овальную форму, вслѣдствіе сильнаго боковаго давленія при прохожденіи черезъ глазокъ волочильной доски. Кромѣ этого зерна феррита при проходѣ черезъ волочильную доску не успѣваютъ вытягиваться и рвутся, образуя внутри металла пустоты (черныя поля на шлифахъ). Между зернами металла происходитъ замѣтное скольженіе, сопровождающееся нѣкоторымъ разрушеніемъ самихъ зеренъ, что весьма отчетливо замѣтно на шлифахъ по направленію волоченія.

Таблица XVI.

Фиг. 84 по 87, 90 и 91 представляють дальн'в йшее изм'внение зерень проволоки въ сл'вдующихъ глазкахъ волочильныхъ досокъ. Общая картина изм'внения зеренъ феррита проволоки остается вполнъ одинаковой съ таковой же предыдущей таблицы, но только ранъе начавшееся разрушение зеренъ зам'втно возрастаетъ съ каждымъ новымъ глазкомъ волочильной доски, всл'вдствие чего число пустотъ (черныхъ пятенъ на шлифахъ) внутри металла постепенно возрастаетъ.

Таблица XVII.

Фит. 88 и 89. При разсмотрѣніи сѣченія проволоки послѣ прохожденія ея черезъ глазокъ волочильной доски была обнаружена неравномѣрная величина зеренъ феррита у периферіи и въ центрѣ сѣченія проволоки, а именно: зерна феррита въ срединѣ сѣченія меньше нежели у периферіи. Для болѣе детальной иллюстраціи указанной картины измѣненія зеренъ феррита по сѣченію проволоки изготовлены снимки 88 и 89, причемъ первый взятъ ближе къ поверхности проволоки, а второй съ средины сѣченія ея. Оба послѣдніе снимки относятся къ одному и тому же сѣченію проволоки съ фиг. 86 и 87. На снимкахъ таблицы XVII отчетливо замѣтна общая картина неравномѣрности зеренъ пэ величипѣ у средины и периферіи проволоки, а кромѣ этого довольно ярко представлена общая картина деформированія и разрушенія самихъ зеренъ феррита проволоки при волоченіи.

Таблица XVIII и XIX.

Фиг. 92—103 изображають дальнѣйшее измѣненіе структуры желѣзной проволоки въ слѣдующихъ глазкахь волочильныхъ досокъ до послѣдней включительно. Общая картина иллюстрируемыхъ деформацій внутри металла при дальнѣйшемъ волоченіи его будетъ одинаковой сь ранѣе разсмотрѣнной. Отличіемъ будетъ только то, что въ послѣднихъ глазкахъ волочильныхъ досокъ будетъ происходить замѣтное сжатіе ранѣе образовавшихся пустотъ внутри металла (Сравн. послѣдовательнэ фиг. 95, 97, 99, 101 и 103), хотя полнаго уплотненія металла не достигается и въ послѣднемъ глазкѣ волочильной доски, на что весьма ясно указываютъ имѣющіяся пустоты въ поперечномъ сѣченіи проволоки изъ послѣдняго глазка волочильной доски (черныя пятна на фиг. 102).

81

оо., эпожатоно эонтакая ат Таблица XX. втем нивидее упжеМ. (этхво

Фиг. 104 и 105. Проволока при волоченіи, пройдя черезъ нѣсколько глазковъ волочильныхъ досокъ, пріобрѣтаетъ значительную жесткость и хрупкость, и для дальнѣйшаго волоченія ее необходимо предварительно отжечь. Для иллюстраціи картины измѣненія строенія проволоки псслѣ такого отжига въ срединѣ волоченія (послѣ 5' глазка волочильной доски) приведены фиг. 104 и 105, причемъ первая фототипія изображаетъ строеніе проволоки послѣ незначительнаго отжига, а вторая—безъ отжига. Отжигъ вызвалъ увеличеніе зеренъ, но вслѣдствіе незначительности высоты нагрѣва неравномѣрность въ величинѣ зеренъ центральныхъ и близкихъ къ периферіи сѣченія сохранилась и послѣ отжига, что отчетливо замѣтно на фиг. 104.

Фиг. 106—109 изображають строеніе тѣла заклепки, причемъ фиг. 106 и 108 сняты вдоль оси заклепки: первая въ срединѣ головки самой заклепки, а вторая—въ цилиндрическомъ стержнѣ ея. Фиг. 107 и 109 относятся къ тѣмъ же мѣстамъ заклепки, къ которымъ относятся и фиг. 106 и 108, но сняты въ направленіи перпендикулярномъ длинѣ заклепки. При сравненіи фиг. 108 и 109 съ 106 и 107 замѣтно сильное уменьшеніе величины зеренъ феррита въ головкѣ заклепки, по сравненію со стержнемъ ея, а кромѣ этого въ головкѣ заклепки замѣтно и значительное дробленіе зеренъ металла съ образованіемъ пустотъ внутри послѣдняго[°] (см. на фиг. 106 черныя пятна).

Таблица XXI.

Фиг. 110 и 111 представляютъ строеніе машиннаго желѣзнаго гвоздя въ ¼[°] въ продольномъ и поперечномъ сѣченіи вблизи головки. Между зернами металла наблюдается значительное количество пустотъ (черныя пятна на шлифахъ).

Фиг. 112 и 113 иллюстрирують строеніе машиннаго гвоздя въ ¹/₁₆" въ продольномъ и поперечномъ сѣченіяхъ вблизи головки гвоздя. Общій характеръ строенія зеренъ металла вполнѣ одинаковъ съ таковымъ же какъ и для гвоздя въ ¹/₈", но зерна значительно мельче, а затѣмъ на фиг. 112 рельефно замѣтно направленіе измѣненія зеренъ при образованіи шляпки (головки) гвоздя.

Фиг. 114. Макроструктура заклепочнаго шва для заклепки 22m/m и толщины склепываемыхъ листовъ 8m/m при гидравлической клепкѣ.

Фиг. 115. Макроструктура заклепочнаго шва для заклепки 18m/m и толщины склепываемыхъ листовъ 8 m/m при ручной клепкѣ опытными котельщиками одного изъ большихъ заводовъ юга России. При сравнении двухъ послѣднихъ макроструктуръ замѣтно, что при ручной клепкѣ разслоеніе металла внутри заклепки значительно глубжэ по сравненію съ гидравлическою клепкою. Общій же характеръ расположенія зерень въ тёлё головки заклепки вполнё напоминаеть строеніе головокъ ранёе разсмотрённыхъ гвоздей.

Таблица XXII.

Шлифъ фиг. 116 изображаетъ строеніе мягкаго желѣза послѣ значительной кузнечной ковки его. Овальныя зерна феррита подъ вліяніемъ ударовъ кувалды приняли клинообразную форму по наибольшему направленію дѣйствія усилій на зерна или по наименьшимъ направленіямъ сопротивленій деформаціямъ зеренъ.

Фиг. 117, 118, 119 и 120 иллюстрирують общую картину деформацій жел'взныхъ листовъ при продавливаніи въ нихъ отверстій пуансономъ; причемъ первая—даеть общую картину такихъ деформацій, а три посл'вдующія—при входь, среднемъ положеніи и выходъ пуансона. Величина подобныхъ деформацій, какъ видно, къ выходу пуансона постепенно растетъ, а зат'вмъ деформированная часть металла подъ вліяніемъ отжига отдѣляется отъ здоровой, что весьма рельефно замѣтно на фиг. 120.

Фиг. 121 изображаетъ внѣшнюю форму пуансоновъ и ихъ разруше. ніе при опытахъ по изученію вопроса о вліяній формъ пуансона на величину деформацій пробиваемаго листа. Правый на фототипіи пуансонъ имѣлъ уголь заостренія у рѣжищихъ кромокъ 65° и обладалъ среднимъ направляющимъ конусомъ. Дыры, пробиваемыя этимъ пуансономъ, имѣли рваныя кромки, а затъмъ самъ пуансонъ во время работы сильно разрушился (часть отъ его головки лежитъ въ срединѣ между пуансонами). Слѣдующій налѣво отъ разсмотрѣннаго пуансонъ не имѣлъ направляющаго конуса, уголъ у рѣжущихъ кромокъ его былъ 75°. Пуансонъ даваль рваныя отверстія и самъ разрушился. Третій налёво-имёль уголъ у рѣжущихъ кромокъ равнымъ 87° и былъ снабженъ направляю. щимъ конусомъ; въ работъ этотъ пуансонъ оказался наилучшимъ,-давалъ меньшія деформаціи металла у кромокъ пробиваемыхъ имъ листовъ. Наконецъ четвертый пуансонъ, крайній налѣво, имѣлъ небольшой направляющій конусь на гладкомъ торцѣ, снабженномъ кольцевой рѣжущей кромкой на конусъ съ угломъ заостренія 75° и шириною самой кромки у основанія ея около 2,5m/m. Рѣжущая кромка этого пуансона быстро разрушилась.

Примичание. Условныя обозначенія подъ фототипіями 100 : 1, 150 : 1 и т. п. обозначають увеличенія въ 100, 150 и т. д. разъ.

ЗАМЪЧЕННЫЯ ОПЕЧАТКИ.

Страницы.	Строки.	Напечатано.	Слѣдуеть читать.
7	3 снизу	Металлографія	Т. Тихоновъ. Металлографія
18	1 снизу	ферритовая	Дементитовая
19	1 сверху	ферритовая	цементитовая
19	8 снизу	измѣняются	измѣняется
20	20 сверху	точчкѣ	точкѣ
21	14 снизу	fe b	Fe_{β}
25	1 сверху	образца	образцы
26	II снизу	ехлажденія	охлажденія
31	7 сверху	всл:дствіе	вслѣдствіе
77	23 сверху	8 таб. XXIV	8 таб. XXVI
35	14 сверху	зерна	на
46	9 сверху	пуапсона	пуансона
65	18 снизу	употиебляя	употребляя
70	20 сверху	обосбленіе	обособленіе
72	22 сверху	слособствуетъ	способствуетъ





Фиг. 5. 🗙 1/2.



Фиг. 10. 10:1.

Фиг. 11. 100:1.



Фиг. 12. 100:1.



Фиг. 13. 1000:1.



Фиг. 14. 1000:1.



Фиг. 15. 100:1.



Фиг. 16. 100:1.



Фиг. 17. 100:1.



Фиг. 18. 100 ; 1







Фиг. 20. 100:1.



Фиг. 21. 100:1.



Фиг. 22. 100:1.



Фиг. 23. 100:1.



Фиг. 28. 100:1.

Измѣненіе структуры желѣза при механической обработкѣ. Т. И. Тихоновъ.

Фот. П. Павлова.



Фиг. 34. 1000:1.

Фиг. 35. 1000:1



Фот. И. Павлова.



Фот. П. Павлова.



Измѣненіе структуры желѣза при механической обработкѣ. Т. И. Тихоновъ.

Фот. П. Иавлова.



Измѣненіе структуры желѣза при механической обработкѣ. Т. И. Тихоновъ.

Фот. П. Павлова.



Фот. П. Павлова.



Фот. П. Павлова.







Фот. И. Павлова.





Фиг. 89. 800:1.



Фот. П. Павлова.



Фот. П. Павлова.



Фот. И. Павлова.





Фиг. 119. 100:1.



Фиг. 120. 100:1.



Фиг. 121.














Namomening compyknypten speensa upn mexammeckon obpadomkrz

JII. Filmscomoby.

Таблица ХХХ.

