

Проф. Н. М. АБРАМОВЪ.

Завѣдующій Станціей Испытанія Матеріаловъ при Алексѣевскомъ Донскомъ Политехническомъ Институтѣ.

---

# ИСПЫТАНІЕ МЕТАЛЛОВЪ.

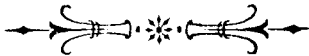
---

Краткое руководство для студентовъ при практическихъ занятіяхъ  
по испытанію матеріаловъ.

---

2-е ИЗДАНИЕ

исправленное и дополненное.



НОВОЧЕРКАССКЪ.  
Типографія В. И. Бабенко.  
1912.

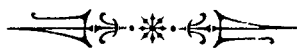
МАТЕРІАЛЫ ДЛЯ КУРСА  
**„МЕХАНИЧЕСКОЕ ИСПЫТАНІЕ МАТЕРІАЛОВЪ,**  
сооруженій и ихъ частей  
и  
условія приѣмки матеріаловъ“.

---

(На Международной Строительно-Художественной Выставкѣ въ Сиб. 1908 г. по отдѣлу спеціальной литературы и учебныхъ пособій за 1-е изданіе присужденъ **Похвальный Листъ**).

---

ОТДѢЛЪ IV.  
Испытаніе металловъ.



Н. М. Абрамовъ.

МАТЕРІАЛЫ ДЛЯ КУРСА  
**„МЕХАНИЧЕСКОЕ ИСПЫТАНІЕ МАТЕРІАЛОВЪ,**  
сооруженій и ихъ частей  
И  
УСЛОВІЯ ПРИЕМКИ МАТЕРІАЛОВЪ“.

(На Международной Строительно-Художественной Выставкѣ СІВ. 1908 г.  
по отдѣлу специальной литературы и учебныхъ пособій присужденъ  
**Похвальный листъ**).

**ОБЩІЙ ПЛАНЪ ИЗДАНІЯ:**

ОТДѢЛЪ I. *Введеніе въ курсъ механическихъ испытаній матеріаловъ.*

\* Выпускъ I. Историческій очеркъ развитія вопроса объ испытаніи матеріаловъ. Общія указанія объ образцахъ и о производствѣ испытаній—СІВ. 1906 г. Ц. 80 к.

\* Выпускъ II. Главнѣйшія техническія свойства матеріаловъ. Основные способы и правила однообразнаго испытанія матеріаловъ.—Новочеркасскъ. 1909 г. Ц. 1 р.

Выпускъ III. Теоретическіе основы науки объ испытаніи матеріаловъ. Главнѣйшія испытательныя машины и приборы и методы повѣрки ихъ. (Готовится къ печати).

\* ОТДѢЛЪ II. *Испытаніе цементовъ. СІВ. 1906 г. Ц. 1 р. 75 к.*

\* ОТДѢЛЪ III. *Испытаніе каменныхъ матеріаловъ СІВ. 1907 г. Ц. 1 р.*

\* ОТДѢЛЪ IV. *Испытаніе металловъ 2-е изданіе. Новочеркасскъ 1906 г. Ц. 75 к.*

ОТДѢЛЪ V. *Испытаніе дерева и другихъ матеріаловъ.*

ОТДѢЛЪ VI. *Испытаніе земляныхъ предметовъ, сооружений и ихъ частей.*

Каждый изъ отдѣловъ II—V состоитъ изъ двухъ частей: въ первой описаны главнѣйшіе способы испытаній данного матеріала, а во второй—дополнительныя свѣдѣнія объ этомъ матеріалѣ и разнаго рода разъясненія, дополненія и замѣчанія о методахъ его испытанія. Звѣздочкой отмѣчены отдѣлы, вышедшіе изъ печати.

Складъ изданія у автора: Станція Испытанія Матеріаловъ при  
Донскомъ Политехническомъ Институтѣ. Новочеркасскъ.

# СОДЕРЖАНИЕ.

	Страница.
Содержаніе . . . . .	V—IX
Предисловіе . . . . .	XI—XIII
Главнѣйшія замѣченныя опечатки . . . . .	XV

---

## ЧАСТЬ I.

Главнѣйшіе методы и приборы для испытанія металловъ.  
(1—72).

### ГЛАВА I.

<b>Общія замѣчанія и указанія . . . . .</b>	<b>1—12</b>
§ 1. Краткія свѣдѣнія о желѣзныхъ матеріалахъ и ихъ полученіи . . . . .	3
§ 2. Главнѣйшія свойства различныхъ сплавовъ желѣза Чугунъ (4).—Сварочный и литой металлъ (5).—При- мѣси (6).—Свойства желѣза и стали (7).	4
§ 3. Краткія свѣдѣнія о свойствахъ нѣкоторыхъ дру- гихъ металловъ . . . . .	9
Мѣдь (9).—Сплавы мѣди (10).—Цинкъ (11).—Олово, свинець (11).	
§ 4. Краткія общія указанія объ испытаніи металловъ и нѣкоторыя данныя о нормахъ и техническихъ условіяхъ . . . . .	11

### ГЛАВА II.

<b>Испытаніе на разрывъ . . . . .</b>	<b>13—24</b>
§ 1. Общія замѣчанія и основныя положенія . . . . .	13

Значеніе результатовъ опытовъ на разрывъ (13).—  
 Форма и размѣры образцовъ при опытахъ на разрывъ. За-  
 конъ подобія. Расчетная длина (13).—Машины для испыта-  
 нія металловъ на разрывъ. Захваты для закрѣпленія образ-  
 цовъ (15).—Замѣчанія объ опредѣленіи удлиненія (17).

<b>§ 2. Общій ходъ производства испытанія на сопротивле- ніе разрыву</b> . . . . .	21
--	----

### ГЛАВА III.

<b>Опредѣленіе упругихъ свойствъ металловъ при растя- женіи</b> . . . . .	24—35
---	-------

<b>§ 1. Общія замѣчанія и описанія измѣрительныхъ при- боровъ</b> . . . . .	24
---	----

Общее описаніе прибора Баушингера (25). Зеркальный приборъ системы Мартенса (27).—Зеркалодержатель (28).—Пластины (28).—Конструкція (28).—Теорія (29).—Установка прибора (31).—Наблюденіе (31).

<b>§ 2. Общій ходъ производства опыта и относящихся къ нему вычисленій</b> . . . . .	32
Примѣръ расчета (33).—Производство учебн. опыта (31).	

### ГЛАВА IV.

<b>Испытаніе металловъ на твердость</b> . . . . .	35—48
---	-------

<b>§ 1. Общія свѣдѣнія о методахъ испытанія</b> . . . . .	35
---	----

Классификація способовъ (35).—Испытаніе твердости керномъ (36).—Опредѣленіе твердости склерометрами (способъ Мартенса) (37).—Испытаніе твердости по способу Кирша (39).—Изслѣдованіе твердости по способу Феніля (39). Методъ Бринеля (шариковая проба) (41).—Способъ Людвига (усовершенствованныя пробы конусомъ-керномъ) (43).—Способъ Шора (опредѣленіе твердости склероскопомъ, или ребондиметромъ) (44).

<b>§ 2. Производство испытанія твердости металловъ по способу Бринеля</b> . . . . .	44
---	----

Нѣкоторыя подробности о методѣ Бринеля (44).—Приборы для производства Бринелевской шариковой пробы металловъ на твердость (46).—Общій ходъ производства опыта (47).

### ГЛАВА V.

<b>Испытаніе металловъ на сгибаніе при статическомъ дѣйствии силъ</b> . . . . .	49—58
---	-------

<b>§ 1. Общія замѣчанія и описаніе приборовъ, служащихъ для производства опытовъ</b> . . . . .	49
--	----

Прессъ Амслера (49).—Спеціальний приборъ Амслера силою въ 2 тонны для испытанія на изгибъ нормальныхъ чугунныхъ образцовъ (51).

§ 2. Общій ходъ производства опыта и соотвѣтствующихъ ему вычисленій . . . . . 51

**ГЛАВА VI.**

**Испытаніе металловъ на скручиваніе . . . . . 58—64**

§ 1. Общія замѣчанія и описаніе машинъ для производства опытовъ . . . . . 58

Описаніе машинъ Амслера для производства опытовъ на скручиваніе металловъ (59).

§ 2. Описаніе общаго хода производства опыта съ металлами и относящихся къ нему вычисленій . . . . . 62

Порядокъ производства опыта (62).— Вычисленіе модуля упругости при крученіи (сдвигѣ) (62).

**ГЛАВА VII.**

**Испытаніе хрупкости металловъ (ударныя пробы) . . . 64—79**

*Общія замѣчанія . . . . . 64*

*Приборы для производства ударныхъ пробъ . . . . . 65*

Приборъ Guillery (62).

**ГЛАВА VIII.**

**Общія свѣдѣнія о другихъ испытаніяхъ и специальныхъ пробахъ металловъ . . . . . 70—72**

Испытаніе на сжатіе (70).—Перерѣзываніе и продавливаніе дыръ, технологическія пробы (71).—Спеціальныя опыты (71).

---

**ЧАСТЬ II.**

**ПРИЛОЖЕНІЯ.**

(73—120).

I. Схема получения продуктовъ желѣзной промышленности . . . . . 75—77

II. Методы механическихъ испытаній металловъ и сплавовъ рекомендованныя V-мъ Конгрессомъ Международнаго Общества Испытанія Матеріаловъ . . . . . 79—90

I. Общія положенія . . . . . 79

	Страница.
<b>II. Методы</b> . . . . .	79
<b>A. Испытанія сопротивленія</b> . . . . .	79
а) <i>Общія замѣчанія</i> (79).—б) <i>Испытаніе постепенно возрастающей нагрузкой</i> (80).—Машины съ приспособленіями (80).—Образцы (80).—Производство опытовъ (81).—с) <i>Испытаніе при ударномъ дѣйствіи нагрузки</i> (83).—Приборы для ударной пробы (83).—Исполненіе опытовъ (83).	
<b>B. Заводскія (технологическія) пробы</b> . . . . .	84
а) <i>Пробы на сгибаніе до соприкасанія сторонъ, на сгибаніе по лекалу и на турье</i> (84).—б) <i>Кувалочныя пробы</i> (85).—Пробы на расплющиваніе (85).—Пробы на сплющиваніе (85).—Пробы на продавливаніе (85).—Пробы на увеличеніе діаметра дыръ (86).	
<b>III. Специальныя правила для испытанія матеріаловъ съ опредѣленнымъ назначеніемъ</b> . . . . .	86
<b>A. Желѣзныя и стальныя издѣлія, прокатныя и кованныя</b> . . . . .	86
Общія замѣчанія (86).—Желѣзнодорожные рельсы (87).—Оси и бандажи (87).—Мостовое желѣзо (87).—Котельное желѣзо (87).—Желѣзо для судостроенія (88).—Проволока (88).—Металлическіе канаты (89).	
<b>B. Чугунъ</b> . . . . .	89
<b>C. Мѣдь</b> . . . . .	89
<b>D. Другіе металлы и сплавы</b> . . . . .	90
<b>III. Инструкція для изготовленія нормальныхъ образцовъ на разрывъ при пріемкѣ металловъ</b> . . . . .	91—95
Круглыя образцы (91).—Плоскіе образцы (92).—I Таблица для опредѣленія расчетной длины по площади сѣченія (94).—II Таблица для опредѣленія площади сѣченія по длинѣ (95)	
<b>IV. Машины для испытанія металловъ на разрывъ</b> . . . . .	96—106
Описаніе машины Мора и Федергаффа . . . . .	96
Краткое описаніе машины Амслера силою въ 50 тоннъ . . . . .	98
Разрывная машина (99).—Насось (100).—Приспособленія къ машинѣ (100).	
Краткое описаніе машины Вердера . . . . .	101
Машина Вердера (101).—Приспособленія для опредѣленія сопротивленія растяженію (103).—Приспособленія для опредѣленія сопротивленія сжатію (104).—Приспособленіе для опредѣленія сопротивленія изгибу (105).—Приспособленіе для опредѣленія сопротивленія крученію (105).—Катучій кранъ (105).	
<b>V. Классификація типовъ изломовъ при испытаніи на разрывъ стали, и желѣза, предложенная инж. Пельмскимъ</b> . . . . .	107—109
<b>VI. Образецъ журнала опыта для опредѣленія упругихъ свойствъ металла при растяженіи</b> . . . . .	110

VII. Таблица чиселъ твердости по Фешплю . . . . .	111—112
VIII. Ребондимеръ или склероскопъ . . . . .	113—114
IX. Приборъ „Альфа“ для опредѣленія твердости металловъ по способу Бринеля . . . . .	115
X. Таблицы чиселъ твердости по Бринелю . . . . .	116—119
I. Таблица для опредѣленія твердости посредствомъ опытовъ вдавливанія шарика діаметромъ 10 мм. по способу Бринеля . . . . .	116
II. Таблица поверхности шарового сегмента для опредѣленія твердости по Бринелю при діаметрѣ шарика равномъ 10,319 мм. . . . .	118
XI. Образецъ журнала записи опытныхъ данныхъ при скручиваніи металловъ . . . . .	120

---



# ПРЕДИСЛОВІЕ

(ко 2-му изданію).

Основы науки объ испытаніи матеріаловъ выработывались главнымъ образомъ при экспериментальномъ изученіи металловъ, а потому способы ихъ испытанія при современныхъ успѣхахъ этой отрасли знаній отличаются чрезвычайнымъ разнообразіемъ. Въ позднѣйшее время развитіе машиностроительной промышленности въ связи съ прогрессомъ инженерно-строительнаго дѣла, вызвало усиленное потребленіе металловъ и дало толчекъ къ постановкѣ цѣлой группы новыхъ вопросовъ по испытанію при пріемкѣ этого рода матеріаловъ. Наконецъ успѣхи металлургіи дали лабораторіямъ для сужденія о качествѣ металла много совершенно новыхъ результатовъ испытаній. Все это вмѣстѣ взятое является причиной того, что самая техника испытаній металловъ въ зависимости отъ ряда специальныхъ условій практическаго и теоретическаго характера, благодаря работамъ международной и національныхъ комиссій по установленію однообразныхъ наиболѣе рациональныхъ методовъ испытанія, вступила теперь въ новую фазу. Методы испытанія металловъ оказались какъ бы въ неустойчивомъ равновѣсіи: нѣкоторые старые методы какъ будто до нѣкоторой степени потеряли свое значеніе, а новые, чуть не ежегодно появляющіеся, еще не вполне изучены и еще не всѣми признаны.

Не смотря на такое, неблагоприятное для составителя книги, состояніе вопроса объ испытаніи металловъ, я вынужденъ повторить изданіе выпущеннаго мною въ 1907 г. краткаго руководства и распроданнаго къ началу 1911 года, главнымъ образомъ, въ виду необходимости дать слушателямъ моихъ лекцій пособие при практическихъ занятіяхъ въ лабораторіи, а отчасти удовлетворяя все повторяющимся запросамъ практиковъ-инженеровъ. При этомъ я описываю изъ новыхъ методовъ лишь тѣ, которые пользуются теперь наибольшимъ довѣріемъ или являются наиболѣе интересными. Въ то же время я повторяю изъ прежняго изданія всѣ старые методы, ибо хотя, какъ сказано, практическое значеніе нѣкоторыхъ изъ нихъ и находится подъ сомнѣніемъ, однако по моему мнѣнію болѣе чѣмъ вѣроятно, что при свѣтѣ результатовъ новыхъ методовъ эти старые пріемы получатъ новое быть можетъ не менѣе важное, чѣмъ прежде значеніе, тѣмъ

болѣе, что они даютъ возможность при извѣстныхъ условіяхъ наглядно убѣждаться въ правильности основныхъ положеній и выводовъ теорій сопротивленія матеріаловъ.

Наиболѣе цѣннымъ съ этой точки зрѣнія изъ числа новыхъ является методъ металлографической. Однако, именно, этотъ методъ я не описываю, и не потому, что не считаю его разработаннымъ и заслуживающимъ довѣрія, а потому что онъ не относится къ категоріи механическихъ испытаній. Это послѣднее обстоятельство, въ связи съ тѣмъ, что металлографія дала возможность металлургіи рѣшить многіе вопросы, передъ которыми часто были безсильны методы механическаго испытанія металловъ, побудило многихъ противопоставлять одинъ другому механической и микрографической способы изученія металловъ. Наболѣе же ярые приверженцы металлографіи, натолкнувшись на кажущуюся иногда расходимость между результатами этихъ двухъ методовъ, не рѣдко готовы были совершенно отвергнуть значеніе механическихъ испытаній. Однако, сказать, что можно микрографическимъ изученіемъ металловъ замѣнить механическія ихъ испытанія, было бы такой же ошибкой, какъ сказать, что тамъ, гдѣ работаетъ гистологъ съ микроскопомъ, нѣтъ мѣста для работы фізіолога. Весьма интересная задача изученія измѣненія структуры вообще, а въ частности при деформацияхъ, отлична отъ изученія деформаций самихъ по себѣ и тѣхъ заксовъ, какимъ онѣ подчиняются. Поэтому, признавая всѣ отрасли научныхъ знаній равноцѣнными, нужно сказать, что микрографической методъ изученія металловъ не можетъ убить механическое испытаніе ихъ. Напротивъ, каждый изъ нихъ, будучи совершенно самостоятельнымъ и дополняя другъ друга, развивается въ тоже время при поддержкѣ другого. А потому можно смѣло надѣяться, что пройдетъ еще нѣсколько лѣтъ и старые методы механическаго испытанія металловъ при свѣтѣ новыхъ данныхъ металлографіи получатъ, какъ я уже сказалъ, можетъ быть даже большее, чѣмъ прежде значеніе.

Необходимо еще замѣтить, что въ настоящемъ выпускѣ, какъ и въ старомъ изданіи, описано главнымъ образомъ испытаніе желѣзныхъ матеріаловъ, каковыя преимущественно и встрѣчаются въ инженерной и технической практикѣ.

Что касается внѣшней стороны руководства, то сохраняя принятое во всѣхъ выпускахъ настоящаго курса дѣленіе на двѣ части, I-ю содержащую все существенно важное и II-ю, содержащую разнаго рода приложенія и примѣчанія, въ этомъ 2-мъ изданіи по сравненію съ 1-мъ мною сдѣланы слѣдующія измѣненія: съ одной стороны текстъ I-й части исправленъ и значительно дополненъ, согласно новымъ даннымъ лабораторной практики, а съ другой стороны описанія универсальныхъ машинъ, какъ не относящихся по существу къ испытанію металловъ, отнесены во II-ю часть въ число приложеній. Кромѣ того значительно увеличено число поясняющихъ текстъ рисунковъ \*).

\*) Въ I-мъ изданіи было 77 стр. текста и 9 рисунковъ, въ настоящемъ 2-мъ изданіи является 120 стр. текста и 58 рисунковъ.

Къ сожалѣнію ввиду спѣшности изданія въ текстѣ оказались опечатки. Извиняясь за это, прошу исправить ихъ, и особенно весьма серьезную опечатку на стр. 54.

Въ заключеніе, принимая во вниманіе, что первое изданіе нашло себѣ примѣненіе какъ въ высшихъ техническихъ школахъ въ качествѣ учебника, такъ и на практикѣ въ качествѣ полезнаго, по отзывамаъ пользовавшихся имъ лицъ, руководства и пособія, мнѣ остается только пожелать, чтобы и настоящее 2-е изданіе встрѣчено было также радушно, какъ и первое.

Новочеркасскъ.  
Февраль. 1912 г.

**Проф. инж. п. с. Н. М. АБРАМОВЪ.**  
Завѣдующій Станціей Истѣтанія Матеріаловъ при Алексѣевскомъ Донскомъ Политехническомъ Институтѣ.



## Главнѣйшія замѣченныя опечатки \*).

Страница.	Строка.	Напечатано:	Должно быть:
5	5 снизу	углерода, вообще	углерода вообще
7	14 сверху	зависииости	зависимости
12	3 снизу	общствомъ	обществомъ
13	11 сверху	пспытаніи	испытаніи
23	2 снизу	пверхности	поверхности
29	рис. 21	у правой крайней буквы <i>g</i> нѣтъ значка <i>g</i> сверху	<i>g</i>
41	3 сверху	аналогичные	аналогичныя
49	2 сверху	статистическомъ	статическомъ
53	10 снизу	пролетѣ	пролета
54	17 снизу	$\gamma = \frac{G\omega}{V}$	$\gamma = \frac{V}{G\omega}$
55	6 сверху	перезывающей	перерѣзывающей
61	4 снизу	діаграммой	діаграммнымъ
62	2 сверху	помѣченный	помѣченнымъ
64	6 снизу	сила $\omega$ не	сила не
66	8 сверху	имѣеть	имѣютъ
83	7 снизу	отъ	изъ
84	9 снизу	должно	должна
87	10 снизу	производитъ	производить
96	5 снизу	равно-	равновѣ-
96	4 снизу	вычагъ	рычагъ
102	4 сверху	1	1

\*) Въ составленіи этого перечня любезно принимала участіе Старшій Лаборантъ Станція Испытанія Матеріаловъ при А. Д. П. П. инст.-мех. П. П. Дьяковъ, оказавшій мнѣ помощь и при чтеніи корректуры, за что приношу ему благодарность.

# Часть I.

## Главнѣйшіе методы и приборы для испытанія металловъ.

Глава I. Общія замѣчанія и указанія.

- » II. Испытаніе на разрывъ.
  - » III. Опредѣленіе упругихъ свойствъ металловъ при растяженіи.
  - » IV. Испытаніе твердости металловъ.
  - » V. Испытаніе металловъ на сгибаніе при статическомъ дѣйствіи силъ.
  - » VI. Испытаніе металловъ на скручиваніе.
  - » VII. Испытаніе хрупкости металловъ (ударныя пробы).
  - » VIII. Общія свѣдѣнія о другихъ испытаніяхъ и специальныхъ пробахъ металловъ.
-

## ГЛАВА I.

### Общія замѣчанія и указанія.

#### § 1. Краткія свѣдѣнія о желѣзныхъ матеріалахъ и ихъ полученіи.

Наиболѣе часто встрѣчающіеся въ чисто инженерной практикѣ металлы суть чугуны, желѣзо—сварочное и литое и сталь. Всѣ эти матеріалы, являясь результатами такъ называемой желѣзодѣлательной промышленности, занимающейся обработкой разныхъ желѣзныхъ рудъ, по своему химическому составу представляютъ сплавы чистаго желѣза съ углеродомъ. Кромѣ того, въ качествѣ примѣсей въ продуктахъ желѣзной промышленности находятся фосфоръ, сѣра, кремній и марганецъ, съ которыми чистое желѣзо очень легко соединяется. Наконецъ, съ цѣлью полученія такъ называемыхъ специальныхъ сортовъ стали примѣшиваютъ никкель, хромъ, ванадій, вольфрамъ и т. д. Въ зависимости отъ состава и количества всѣхъ указанныхъ примѣсей, а также отъ способа обработки сплава желѣза съ ними находятся физическія и техническія свойства желѣзныхъ матеріаловъ.

Наибольшее значеніе и вліяніе оказываетъ *углеродъ*, а потому и самое количество его въ сплавѣ опредѣляетъ родъ желѣзнаго матеріала. Такъ обыкновенно сплавъ, содержащій

отъ 2	—	6%	углерода	считаютъ	за	<i>чугунъ</i> ,
»	0,6	—	2%	»	»	<i>сталь</i> ,
»	0,1	—	0,5%	»	»	<i>железо</i> .

Общепотребительными *железными рудами* считаютъ красныя, магнитныя и бурые желѣзняки.

Путемъ выплавки въ доменныхъ печахъ съ помощью угля получаютъ *чугунъ*, раздѣляемый обыкновенно на сорта:

- 1) литейный, или сѣрый,
- 2) передѣльный и его разновидность, ковкій чугуны, а также
- 3) зеркальный и разные сплавы съ марганцемъ, кремніемъ и т. п.

Литейный чугуны, соотвѣтственнымъ образомъ переплавленный, идетъ непосредственно на изготовленіе путемъ литья чугунныхъ отливокъ.

Изъ передѣльнаго чугуна путемъ соотвѣтственной обработки получаютъ такъ называемое *ковкое железо*, служащее для выдѣлки *сварочнаго* металла и *литого* металла.

Къ сварочному металлу относятся:

- 1) Кричное желѣзо,
- 2) Кричная сталь,
- 3) Пудлинговое желѣзо,
- 4) Пудлинговая сталь,

а также получаемыя изъ нихъ цементная и тигельная сталь, служащая для полученія разныхъ специальныхъ сортовъ стали.

Литой металлъ по способу обработки раздѣляется на Бессемеровскій, Томасовскій и Мартеновскій. Если литому металлу путемъ отливки непосредственно изъ печей придаютъ опредѣленную форму, то получается такъ называемое фасонное стальное литье.

Болѣе полно и наглядно получение желѣзныхъ матеріаловъ рисуетъ помѣщенная въ приложеніяхъ «Схема полученія продуктовъ желѣзной промышленности», изданная отдѣломъ по испытанію и освидѣтельствуванію заказовъ Министерства Путей Сообщенія и составленная инженеромъ при отдѣлѣ С. Л. Жуковскимъ \*).

## § 2. Главнѣйшія техническія свойства разныхъ сплавовъ желѣза \*\*).

Какъ уже сказано, желѣзо въ той формѣ, въ какой оно является необходимымъ для техническихъ цѣлей, представляетъ изъ себя не чистый металлъ, а сплавъ металлическаго желѣза съ углеродомъ и цѣлымъ рядомъ другихъ металловъ, какъ напримѣръ, марганецъ, или металлоидовъ, какъ напримѣръ, кремній, фосфоръ, сѣра. Особенно важная роль выпадаетъ въ этомъ сплавѣ на долю углерода, большее или меньшее количество котораго въ сплавѣ является, какъ видѣли выше, характернымъ для того или другого сорта металла отчего зависитъ то или иное практическое примѣненіе различныхъ сортовъ желѣзныхъ матеріаловъ, которые раздѣляютъ на двѣ основныхъ группы, а именно: 1) чугуны и 2) сварочное и литое желѣзо.

*Чугунъ* находитъ чрезвычайно широкое примѣненіе въ машиностроеніи, какъ матеріалъ для машинныхъ станинъ, рамъ и т. п., а также для изготовленія колоннъ, трубъ благодаря тому, что въ расплавленномъ состояніи его очень легко отлить въ любую форму, и онъ легко поддается обработкѣ.

Характернымъ для чугуна является содержаніе углерода, которое, какъ видѣли выше, достигаетъ въ немъ 2—3 и даже болѣе процентовъ (въ нѣкоторыхъ сортахъ даже 7<sup>0</sup>/<sub>10</sub>) и который заключается въ немъ въ формѣ графита или химически связаннаго углерода.

Высокое содержаніе углерода обуславливаетъ его характерныя свойства, такъ какъ въ зависимости отъ величины процентнаго количества

\*) См. часть II. Приложение I.

\*\*) Здѣсь описаны наиболѣе характерныя техническія свойства желѣза, общія же техническія свойства его, какъ строительнаго матеріала описаны въ Отд. I. См. *Н. М. Абрамовъ*. — «Введеніе въ курсъ механич. педит. матер.». Выпускъ II. Гл. II. § 1—6.

углерода онъ бываетъ болѣе или менѣе твердъ и обладаетъ меньшей способностью къ деформаци чѣмъ желѣзо. Сопротивленіе чугуна разрыву колеблется въ предѣлахъ отъ 1200 до 1500 килограммовъ на квадратный сантиметръ, сопротивленіе сгибанію между 3000 и 3600 килограм., сопротивленіе сжатію между 6000 и 8000 килограм. на квадратный сантиметръ. Какъ продольныя, такъ и поперечныя деформаци обыкновенно очень малы и не достигаютъ даже одного процента. Кромѣ того чугунъ характеренъ еще тѣмъ, что у него, не существуетъ ни предѣла пропорціональности, ни предѣла упругости и его даже можно считать какъ бы не упругимъ. Равнымъ образомъ у чугуна не наблюдается предѣла текучести, а потому при испытаніи чугуна на разрывъ ограничиваются временнымъ сопротивленіемъ, величина котораго и служитъ масштабомъ для сужденія о качествѣ разныхъ сортовъ. Изломъ чугуна обыкновенно крупнозернистый.

Такимъ образомъ можно сказать, что главнѣйшія техническія свойства чугуна суть:

- 1) хрупкость, обусловливающая разрушеніе его безъ видимыхъ деформаций,
- 2) Отсутствие предѣла пропорціональности и предѣла упругости, вслѣдствіе чего въ чугунѣ всегда появляются остаточныя деформаци,
- 3) Плохое сопротивленіе растяженію и перелому и высокое по сравненію съ первыми сопротивленіе сжатію.

Послѣднее свойство обусловливаетъ примѣненіе чугуна исключительно въ сжатыхъ частяхъ конструкцій и машинъ.

Въ противоположность чугуну, *сварочный и литой металлъ*, т. е. такъ называемое желѣзо, хорошо сопротивляется разрыву и сгибанію, поэтому наиболѣе рачіональнымъ является примѣненіе желѣза въ растянутыхъ частяхъ конструкцій.

Техническія свойства желѣза и стали зависятъ отъ количества примѣсей и способа обработки какъ термической, такъ и механической. Относительно послѣдней надо замѣтить что большая механическая обработка повышаетъ предѣлъ упругости и отчасти сопротивленіе разрыву и одновременно уменьшаетъ относительное удлиненіе. Особенно сильно сказывается вліяніе механической обработки на сварочномъ металлѣ. Отличительной особенностью сварочнаго желѣза является замѣтная разница въ величинѣ сопротивленія дѣйствию механическихъ усилій вдоль и поперекъ прокатки. Особенно ясно сказывается это на удлиненіи.

Что касается обычныхъ въ желѣзныхъ матеріалахъ примѣсей, то первенствующее вліяніе на техническія свойства ихъ, какъ уже и выше замѣчено, оказываетъ углеродъ.

Именно, при увеличеніи количества углерода вообще увеличивается крѣпость желѣза, но уменьшается его вязкость, ковкость и способность свариваться. При количествѣ углерода, превосходящемъ 0,5%, желѣзо пріобрѣтаетъ способность закаливаться, т. е. твердѣть при быстромъ охлажденіи. Свойство это является одной изъ отличительныхъ особенностей стали.



Остальные указанные выше элементы, обыкновенно являющиеся болѣе или менѣе нежелательными, но въ то же время неизбѣжными примѣсями, вообще говоря, вліяють слѣдующимъ образомъ:

*Фосфоръ*—увеличивая твердость металла, дѣлаетъ его хрупкимъ и ломкимъ въ холодномъ видѣ (хладноломкость).

*Сѣра*—въ противоположность фосфору дѣлаетъ желѣзо красноломкимъ, т. е. хрупкимъ въ горячемъ состояніи. Кромѣ того сѣра способствуетъ изнашиваемости металла при дѣйствіи на него стирающихъ усилій, на примѣръ въ рельсахъ.

По указаннымъ причинамъ фосфоръ и сѣра считаются вредными примѣсями.

Что касается вліянія *кремнія* и *марганца*, то оно обуславливается скорѣе не абсолютнымъ ихъ количествомъ, а соотношеніемъ съ другими примѣсями и особенно съ углеродомъ.

Особенно интересно вліяніе такихъ примѣсей какъ хромъ, никкель, вольфрамъ, ванадій и т. д. Прибавка нѣкотораго количества этихъ металловъ къ стали придаетъ ей или большую твердость, или же способность легче поддаваться обработкѣ до закалки. Послѣ закалки такіе сплавы стали получаютъ вообще большую твердость, чѣмъ сталь обыкновенная.

Изъ всѣхъ примѣсей, придающихъ стали такія особыя свойства, ванадій, повидимому съ теоретической точки зрѣнія, является особенно интересной: онъ придаетъ стали вязкость и облегчаетъ ея обработку, а послѣ закалки придаетъ ей чрезвычайную твердость, что весьма полезно, напр., для инструментальной стали. Поэтому можно сказать, что прибавка ванадія къ стали какъ бы улучшаетъ ея качества: увеличеніе временнаго сопротивленія и предѣла упругости весьма значительны, а удлиненіе и суженіе остаются при этомъ весьма достаточными. Характерная же способность ванадія та, что присутствіе его равномерно увеличиваетъ сопротивленіе желѣза при увеличеніи температуры отъ 100° до 700° С., тогда какъ обыкновенно при нагрѣваніи металла отъ 0° сопротивленіе его, увеличиваясь и достигнувъ максимума примѣрно при 200° С., при дальнѣйшемъ увеличеніи температуры уменьшается и при 400° С. становится меньше первоначальнаго \*).

Хромъ хотя и придаетъ стали твердость, но въ ущербъ ея тягучести, такъ какъ почти лишаетъ ее удлиненія; другими словами, хромъ дѣлаетъ сталь *твердой*, но *хрупкой*. Чтобы повысить упругость и удлиненіе такого сплава, прибавляютъ никкель, который повышая временное сопротивленіе и предѣлъ упругости стали въ тоже время не слишкомъ уменьшаетъ ея тягучесть.

Этими краткими замѣчаніями мы и ограничимъ здѣсь разсмотрѣніе вопроса о вліяніи примѣсей на свойства желѣзныхъ матеріаловъ, тѣмъ бо-

\*) Подробности см. *Н. М. Абрамовъ*. — Замѣтка о ванадиевой стали и ея механическихъ свойствахъ. Спб. 1908 г.

лѣе, что по существу онъ относится къ области металлургіи \*). Намъ важно было только отмѣтить разнообразіе и многочисленность факторовъ вліяющихъ на чисто механическія свойства желѣза. Эти послѣднія въ зависимости отъ выше указанныхъ причинъ настолько разнообразны, что даже для одного и того же сорта желѣза затруднительно установить вполнѣ опредѣленные числовыя данныя: можно лишь указать тѣ границы, въ какихъ онѣ находятся.

Такъ напримѣръ, обыкновенное рыночное желѣзо обладаетъ временнымъ сопротивленіемъ разрыву отъ 3500 до 4500 килогр. на кв. сант.; сталь 5000 килогр. на кв. сант. и выше; напримѣръ у матеріала, примѣняемаго для стальныхъ проволочныхъ канатовъ временное сопротивленіе разрыву достигаетъ даже 18000 килогр. на кв. сант. Поэтому въ разныхъ техническихъ условіяхъ предъявляютъ къ желѣзу различныя требованія въ зависимости отъ тѣхъ цѣлей, для которыхъ матеріаль этотъ долженъ быть приготовленъ.

Желѣзо и сталь вообще обладаютъ большою способностью къ воспріятію деформаций. (См. Введеніе въ курсъ механическихъ испытаній.— Выпускъ II. Гл. II § 2) и рѣзко выраженными разнаго рода предѣлами деформаций. Вообще говоря оно подчиняется закону Гука, хотя въ зависимости отъ разнаго рода вліяній оно мѣняетъ свои свойства. Особеннымъ колебаніямъ подвергается «предѣлъ пропорціональности» и «предѣлъ текучести» желѣза, если матеріаль былъ хотя бы одинъ разъ перенапряженъ за одинъ изъ нихъ. Это свойство желѣза было детально изучено Баушингеромъ \*\*), при чемъ главнѣйшіе результаты его работы могутъ быть кратко сформулированы слѣдующимъ образомъ.

1. Предѣлъ пропорціональности повышается, если хотя бы разъ онъ былъ превзойденъ, при условіи однако, чтобы нагрузка была меньше соотвѣтствующей началу сжатія—суженія.

2. Предѣлъ пропорціональности можно довести почти до нуля, если нагрузку довести почти до предѣла текучести и тотчасъ же повторить опытъ. Однако такое состояніе матеріала не устойчиво. Если послѣ такого перенапряженія оставить металлъ въ покоѣ, то уже въ скоромъ времени предѣлъ пропорціональности снова будетъ ясно замѣтенъ, при чемъ онъ будетъ выше, чѣмъ при первоначальномъ состояніи металла.

3. Предѣлъ текучести повышается, если напряженіе въ металлѣ было хотя бы разъ выше этого предѣла. Въ большинствѣ случаевъ предѣлъ текучести повышается какъ разъ до этого напряженія. Однако и такое состояніе металла не устойчиво и его предѣлъ текучести даже безъ всякой внѣшней причины имѣетъ стремленіе къ повышенію.

\*) Интересующіеся этимъ вопросомъ могутъ найти подробности между прочимъ въ монографіи проф. Ютнера фонъ Гюсторфа— «Соотношенія между химическимъ составомъ и физическими свойствами желѣза и стали» (въ русскомъ переводѣ (Сиб., 1898 г.), а также въ трудахъ Рельсовой Комисіи.

\*\*) См. «Mitteilungen» Мюнхенской лабораторіи. Тетрадь 13.

4. Такое продолжительное переменное состояние металла можетъ быть прекращено путемъ нагрѣванія его до 700—750 (красное каленіе) и послѣдующаго медленнаго охлажденія. Предѣлы пропорціональности и текучести такой операціей снова могутъ быть понижены, и матеріалъ снова получаетъ способность сохранять свои первоначальныя свойства при отсутствіи внѣшнихъ причинъ къ переменѣ ихъ.

5. Модуль нормальной упругости (модуль Юнга  $E$ ) также можетъ быть пониженъ, если нагрузка превзойдетъ предѣлъ текучести, однако съ теченіемъ времени онъ снова повышается.

Эти положенія Баушингера и лежатъ въ основѣ такъ называемой холодной или механической обработки металла, напр. холодной прокатки, волоченія и т. п., съ помощью которой можно, какъ указано выше, соотвѣтственнымъ образомъ отчасти мѣнять свойства металла въ зависимости отъ предъявляемыхъ къ нему требованій. У нормально приготовленнаго литого металла обыкновенно отношеніе предѣла текучести къ временному сопротивленію равно примѣрно 0,6—0,7. Большая же величина этого отношенія обыкновенно соотвѣтствуетъ металлу, подвергавшемуся холодной обработкѣ, благодаря которой онъ становится болѣе жесткимъ и менѣе способнымъ къ воспріятію деформаций.

Равнымъ образомъ желѣзо мѣняетъ свои свойства въ зависимости отъ температуры. Такъ на примѣръ, для одного изъ сортовъ литого желѣза въ Берлинской Государственной Испытательной станціи были получены слѣдующія данныя \*).

Температура образца во время опыта (по Цельсію).	Временное сопро- тивленіе разрыву въ килограммахъ на кв. сантим.	Относительныя въ %.	
		Удлиненіе.	Суженіе.
20	3800	29,8	60,9
100	3950	24,1	50,9
200	4960	15,8	41,5
300	4740	20,0	25,6
400	3410	35,0	57,5
500	1930	50,3	79,6
600	1070	76,7	89,8

\*) Подробности см. Mitteilungen: указанной лабораторіи 1890 г., стр. 159.

На основаніи цѣлаго ряда аналогичныхъ данныхъ для различныхъ сортовъ желѣза установлено, что при повышеніи температуры до 200 повышается временное сопротивление и уменьшаются удлиненіе и суженіе, при дальнѣйшемъ же увеличеніи температуры обратно въ сильной степени понижается временное сопротивление и возрастаютъ относительныя удлиненіе и суженіе. Другими словами при температурѣ около 200<sup>c</sup> желѣзо становится наиболѣ хрупкимъ и наименѣ воспріимчивымъ къ деформациямъ. Это такъ называемое голубое каленіе желѣза, которое такимъ образомъ является наиболѣ опаснымъ для разнаго рода конструкцій, подвергающихся дѣйствию высокой температуры, напр. для котловъ.

Весьма интересно также вліяніе на свойства желѣза неправильной термической обработки и особенно такъ называемаго *перезека*, благодаря которому желѣзо становится чрезвычайно хрупкимъ.

Равнымъ образомъ на измѣненіе свойствъ желѣза оказываетъ вліяніе и пониженіе температуры. Наиболѣ полное изслѣдованіе этого вопроса сдѣлалъ проф. Rudeloff въ Берлинской Государственной лабораторіи \*). Основныя данныя этихъ опытовъ при измѣненіи температуры отъ нуля внизъ въ общихъ чертахъ сгруппированы въ слѣдующей таблицѣ.

Температура при опытѣ.	—20°	—80°
<i>Пределы текучести</i> повышается для разныхъ сортовъ на	1,1—5,9% <sub>0</sub>	3,2—23,8% <sub>0</sub>
<i>Временное сопротивление</i> повышается на	2,2—9,1% <sub>0</sub>	6,1—11,9% <sub>0</sub>
<i>Удлиненіе</i> уменьшается на	1,5—12,5% <sub>0</sub>	5,2—31,9% <sub>0</sub>

Изъ этой таблицы видно, что вообще при охлажденіи ниже нуля желѣзо становится болѣ хрупкимъ и менѣ воспріимчивымъ къ деформациямъ.

### § 3. Краткія свѣдѣнія о свойствахъ нѣкоторыхъ другихъ металловъ.

Изъ прочихъ металловъ наиболѣ часто послѣ желѣза въ инженерной практикѣ встрѣчаются мѣдь и ея сплавы и цинкъ, и иногда олово и свинець.

*Мѣдь* въ чистомъ видѣ имѣетъ красный цвѣтъ и отличается мягкостью, ковкостью и тягучестью. Сопротивленіе мѣди разрыву колеблется отъ 2000 до 3800 килогр. на кв. сант., при чемъ у нея обыкновенно не удается замѣтить предѣла пропорциональности, но очень часто ясно обнаруживается

\*) См. Mitteilungen: Берлинской лабораторіи за 1885 г., стр. 197.

предѣлъ текучести. Кромѣ того при разрывѣ часто появляется суженіе образца, или такъ называемая «шейки» въ нѣсколькихъ мѣстахъ по длинѣ испытываемаго образца. Такъ же, какъ у желѣза, и у мѣди мѣняются свойства при измѣненіи температуры и отъ холодной обработки. Равнымъ образомъ и у мѣди можно наблюдать явленія пережega, благодаря которому она становится хрупкой, при чемъ однако въ отличие отъ желѣза ей нельзя вернуть первоначальныхъ свойствъ путемъ термической обработки съ помощью напримѣръ отжига.

Сплавляя 85,5 частей мѣди съ 14,5 частями цинка, получаютъ, такъ называемый, *толбакъ* — металлъ золотистаго цвѣта, примѣняемый между прочимъ для отливки издѣлій, требующихъ значительной крѣпости, прочности. При сплавленіи въ среднемъ 17,5 частей мѣди съ 28,5 частями цинка получаютъ *зеленую или желтую мѣдь*, называемую также *латунью*, плавящуюся лучше красной и обладающую значительной тягучестью, однако дѣлающуюся хрупкой при нагрѣваніи до краснаго каленія. Наконецъ, сплавляя мѣдь съ оловомъ, цинкомъ и свинцомъ (примѣрно 91,4 части мѣди, 1,7 ч. олова, 5,53 ч. цинка и 1,37 ч. олова) получаютъ *бронзу*, которая тверже мѣди. Свойства бронзы зависятъ не только отъ качества и пропорціи составныхъ частей, но и отъ способа ихъ плавленія. Прибавка свинца сообщаетъ обыкновенно бронзѣ легкоплавкость. Нѣкоторые сорта бронзы, напримѣръ сплавъ изъ 10 ч. олова и 90 ч. мѣди, по своей вязкости и твердости весьма пригодны для отливки небольшихъ деталей машинъ. Такой сортъ бронзы при быстромъ охлажденіи въ водѣ становится ковкимъ и тягучимъ. Сопротивленіе разрыву разныхъ сплавовъ мѣди колеблется въ очень широкихъ предѣлахъ, такъ напримѣръ, сопротивленіе латуни разрыву измѣняется отъ 1600 до 3500 килогр. на кв. сант. и даже выше. Часто латунь подчиняется закону пропорціональности, предѣлъ же текучести у нея вообще ясно выраженъ. Холодная обработка оказываетъ на ея свойства такое же вліяніе, какъ и у желѣза.

Для примѣра въ слѣдующей таблицѣ приведены по даннымъ Берлинской Испытательной Станціи измѣненія свойствъ латуни въ зависимости отъ дѣйствія высокой температуры и холодной обработки.

Состояніе латуни.	Предѣлъ текучести.	Сопротивленіе разрыву.	Удлиненіе въ %.	Суженіе въ %.
	Въ килограмм. на кв. сант.			
Въ обыкновенномъ состояніи . . . . .	3380	4300	22	36
Нагрѣтая до 500 — 600 С. . . . .	1690	3980	35	39
Подвергнутая усиленной холодной обработкѣ . . . . .	5060	5180	1	13

*Цинкъ*, металлъ бѣлаго съ нѣсколько синеватымъ оттѣнкомъ цвѣта, при обыкновенной температурѣ довольно хрупокъ, но нагрѣтый до 100 — 150 становится ковкимъ; при дальнѣйшемъ нагрѣваніи, около 250 снова дѣлается хрупкимъ, а при 360 уже начинаетъ плавиться. Отличительною особенностью его является сильная зависимость величины временнаго сопротивления разрыву при опытахъ на растяженіе отъ скорости возрастанія разрывающаго усилія, что не особенно замѣтно при испытаніи желѣза и мѣди.

Что касается олова и свинца, то они примѣняются лишь какъ вспомогательные матеріалы. Изъ свойствъ *олова* нужно указать на его способность хорошо плющиться; при сгибаніи олово издаетъ трескъ, происходящій отъ переламыванія и сдвига кристалловъ его. Отличительныя качества *свинца*—мягкость, гибкость, легкоплавкость; онъ легко плющится въ листы и тянется въ проволоку; плавится свинецъ при 320 и, переходя послѣ этого въ твердое состояніе, значительно уменьшается въ объемѣ.

#### § 4. Краткія общія указанія объ испытаніи металловъ и нѣкоторыя данныя о нормахъ и техническихъ условіяхъ..

Металлы, какъ замѣчено въ предисловіи, всегда были тѣмъ матеріаломъ, при изученіи котораго преимущественно и устанавливали основные способы и методы испытаній. Поэтому при испытаніи металловъ, а въ частности желѣза, примѣняютъ всѣ описанные нами въ «Введеніи въ курсъ механическихъ испытаній матеріаловъ» основные способы \*). Не повторяя описанія этихъ способовъ, мы укажемъ здѣсь лишь какіе, именно, преимущественно примѣняются для контроля качества того или другого металла въ зависимости отъ его характерныхъ техническихъ свойствъ.

Въ силу уже отмѣченныхъ выше свойствъ желѣза, а также въ зависимости отъ главнѣйшихъ его примѣненій, основнымъ испытаніемъ для него, какъ и для другихъ металловъ, служитъ опредѣленіе сопротивления разрыву, при чемъ въ составъ этого испытанія входятъ, кромѣ временнаго сопротивления:

- а) опредѣленіе предѣла упругости,
- в) опредѣленіе удлиненія и
- с) опредѣленіе суженія.

Кромѣ того, въ зависимости отъ рода и назначенія матеріала, его подвергаютъ еще испытанію на статическій изгибъ, динамическій изгибъ или ударную пробу, на скручиваніе, на перерѣзываніе, а также на твердость, хрупкость и однородность. Кромѣ того подвергаютъ еще желѣзо, такъ называемымъ, технологическимъ пробамъ. Къ числу ихъ относятся: сгибаніе до соприкосанія сторонъ въ холодномъ (хладноломкость)

---

\*) См. *Н. М. Абрамова*. Введеніе въ курсъ механическихъ испытаній матеріаловъ. Выпускъ II. Новочеркасскъ 1909 г. (Главы III, IV и V), а также Выпускъ I. Сиб. 1906 г. (Глава III. § 3. С.).

и горячемъ состояніи (красноломкость), закалка, сварка, продавливаніе дыръ и т. п. \*).

Испытаніе чугуна заключается по большей части въ опытахъ на растяженіе, на сжатіе и на сгибаніе. Последнее производятъ надъ образцомъ квадратнаго сѣченія длиною въ 1100 мм. съ площадью поперечнаго сѣченія равнаго  $30 \times 30$  мм., лежащимъ на двухъ опорахъ при разстояніи между ними равномъ 1000 мм. и подвергнутомъ дѣйствію сгибающей силы, приложенной по срединѣ пролета \*\*). Весьма рачіонально кромѣ того подвергать чугунъ ударнымъ пробамъ на маятниковомъ копрѣ.

Въ настоящее время обращено серьезное вниманіе на изученіе структуры металловъ, причеиъ различаютъ макроструктуру и микроструктуру. Методы этого изученія уже не входятъ въ кругъ механическихъ испытаній, поэтому мы и не будемъ здѣсь на нихъ останавливаться и отсылаеиъ за подробностями интересующихся къ спеціалынымъ курсамъ и руководствамъ по данному вопросу.

Что касается требованій, предъявляеиыхъ къ металламъ, то они зависятъ отъ назначенія его. Для примѣра приведемъ нѣкоторыя свѣдѣнія изъ техническихъ условій на поставку чугуна, желѣза и стали для мостовъ.

Чугунъ при опытахъ на разрывъ долженъ обладать временнымъ сопротивленіеиъ не менѣе 10 килогр. на кв. миллим.

Сварочное желѣзо должно выдѣрживать при разрывѣ не менѣе 34 килогр. на кв. миллим. вдоль прокатки и не менѣе 28 килогр. на кв. миллиметръ поперекъ прокатки, и обладать удлиненіеиъ соотвѣтственно не менѣе  $12\%_0$  и  $2\frac{1}{2}\text{—}3\%_0$ .

Кромѣ того, сварочное желѣзо испытывается на загибъ и сварку.

Литое желѣзо должно обладать сопротивленіеиъ разрыву отъ 35 до 45 килогр. на кв. миллиметръ и удлиненіеиъ 20, 18, 17, 16,  $15\%_0$  при толщинѣ листовъ соотвѣтственно 8, 7, 6, 5, 4 миллиметра.

Кромѣ того, оно испытывается на загибъ въ холодномъ и горячемъ состояніи и на закалку.

Для рельсовъ по новымъ техническимъ условіямъ основнымъ испытаніеиъ считается ударная проба, при чеиъ минимальная величина предѣла упругости при разрывѣ должна быть 30 килогр. на кв. миллиметръ.

Болѣе полныя свѣдѣнія о нормахъ и требованіяхъ, предъявляеиыхъ къ разнаго рода металламъ, даны въ «Сборникѣ техническихъ условій и инструкцій, предложенныхъ по Министерству Путей Сообщенія на поставку матеріаловъ и издѣлій для желѣзныхъ дорогъ», изданныхъ Высочайше утвержденной Постоянной Совѣщательной Конторой Желѣзозаводчиковъ. (Спб. 1911 г.).

---

\* ) Подробныя правила производства механическихъ испытаній металловъ, рекомендуемыя Международнымъ обществоиъ испытанія матеріаловъ даны во II части въ приложеніи II.

\*\* ) См. Часть II. Приложение II отд. III. Лит. В.

## ГЛАВА II.

### Испытаніе на разрывъ.

#### § 1. Общія замѣчанія и основныя положенія.

Въ «Введеніи въ курсъ механическихъ испытаній матеріаловъ» при описаніи основныхъ способовъ механическихъ испытаній уже выяснены нами главнѣйшія свѣдѣнія общаго и теоретическаго характера о производствѣ испытаній на растяженіе \*). Поэтому здѣсь остается обратить вниманіе на детали производства такихъ опытовъ и на самую технику ихъ, въ связи съ выясненіемъ нѣкоторыхъ существенно важныхъ положеній.

*Значеніе результатовъ опытовъ на разрывъ.* Выше было указано, что при испытаніи на разрывъ опредѣляютъ временное сопротивленіе металла, предѣлъ упругости или пропорціональности, относительное удлиненіе и суженіе. Значеніе и цѣль опредѣленія каждой изъ этихъ величинъ таковы.

Временное сопротивленіе опредѣляетъ степень крѣпости матеріала.

Предѣлъ упругости служитъ исходнымъ положеніемъ при назначеніи размѣровъ сооруженія. Последніе очевидно должны быть таковы, чтобы нигдѣ, никогда напряженіе матеріала не превосходило предѣла упругости. Принимая, что динамическое дѣйствіе груза вызываетъ напряженіе примерно вдвое большее, чѣмъ статическое, необходимо при статическомъ расчетѣ сооруженій, подвергающихся ударамъ, предѣльное допускаемое напряженіе назначать равнымъ приблизительно половинѣ предѣла упругости.

Что касается удлиненія и суженія, то они имѣютъ значеніе лишь въ связи одно съ другимъ и опредѣляютъ степень вязкости металла, а также до нѣкоторой степени его хрупкость.

*Форма и размѣры образцовъ при опытахъ на разрывъ. Законъ подобія. Расчетная длина.*

Въ упомянутомъ уже «Введеніи въ курсъ механическихъ испытаній». (Выпускъ I, Спб. 1906 г. Гл. III, § 1, стр. 33—34), выяснено, что для выполнения основного условія—*однообразія* производства опыта и *сравнимости* получаемыхъ результатовъ необходимо между прочимъ имѣть, такъ называемые, нормальные образцы.

Форма и размѣры ихъ для металловъ описаны въ томъ же выпускѣ I\*\*), а также въ прилагаемой къ этому выпуску копіи съ инструкціи для изготовленія нормальныхъ образцовъ \*\*\*). Потому здѣсь мы даемъ лишь нѣкоторыя дополнительныя разъясненія.

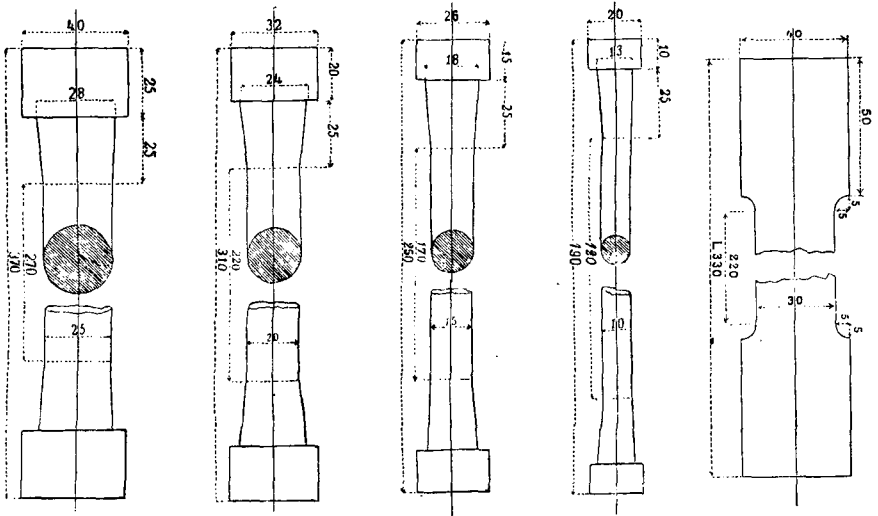
\*) См. *Н. М. Абрамовъ*—Введеніе въ курсъ механическихъ испытаній матеріаловъ. Выпускъ II. Новочеркасскъ 1909 г. (Глава III, § 1, стр. 47—62).

\*\*) См. *Н. М. Абрамовъ*.—Введеніе въ курсъ механическихъ испытаній. Выпускъ I, гл. III, § 4, С., а также Выпускъ II. Гл. III, § 1, п. 5.

\*\*\*) См. Часть II, Приложение III. (См. также рис. на слѣдующей страницѣ).



Результаты опытов \*) показали, что сопротивление разрыву есть функция не только свойств материала, но и площади поперечного сечения и периметра его, величина же удлинения находится в зависимости от расчетной длины.



Формы и размеры нормальных образцов.

Указанные в I выпуске Отдѣла I нормальные образцы, изображенные на прилагаемомъ рисункѣ, удовлетворяютъ закону подобія \*\*), т. е. имѣютъ такіе размеры, что всѣ они подобны другъ другу, и это обезпечиваетъ получение сравнимыхъ результатовъ испытанія. Въ случаѣ пользования плоскими образцами очевидно необходимо, чтобы размеры его были таковы, чтобы результатъ испытанія былъ сравнимъ съ результатомъ разрыва круглаго образца.

Оказывается, что если пренебречь вліяніемъ периметра сѣченія, для получения сравнимыхъ результатовъ, на основаніи упомянутого уже закона подобія, необходимо плоскому образцу придать расчетную длину  $L$ , удовлетворяющую пропорціи

$$\frac{L}{L_0} = \sqrt{\frac{\omega}{\omega_0}}$$

Здѣсь

$L$  — искомая расчетная длина,

$\omega$  — площадь сѣченія плоскаго образца,

$\omega_0$  — площадь сѣченія нормальнаго круглаго образца съ діаметромъ

$d = 20$  мм. равная  $\frac{\pi \times 20^2}{4}$  кв. миллим.

\*) Вагба (во Франціи). Брандтъ и Ляхинскій (въ Россіи).

\*\*) См. Введеніе въ курсъ. Выпускъ II. Гл. III. § 1, п. 5 и Приложение III. — Теоретическія соображенія. лекція въ основѣ закона подобія.

$L_0$ —разсчетная длина нормального круглаго образца съ діаметромъ  $d=20$  мм., равная  $10d=200$  мм.

Слѣдовательно необходимо чтобы

$$L = \frac{200}{\tau \cdot 20^2} = 11,3\sqrt{\omega}$$

Величина  $L$  по формулѣ этой не получается въ цѣлыхъ числахъ и, такъ какъ законъ подобія, на основаніи котораго она получена, есть лишь извѣстное приближеніе къ дѣйствительности, то обыкновенно полученную величину  $L$  округляютъ до цѣлаго числа сантиметровъ. Такъ напримѣръ, при сѣченіи  $\omega=30 \cdot 10=300$  кв. мм. должно быть

$$L=11,3\sqrt{300}=11,3 \cdot 17,32=195,716 \text{ мм.}$$

обыкновенно же, округляя до ближайшаго большого цѣлаго числа сантиметровъ, принимаютъ

$$L = 200 \text{ мм.}$$

На основаніи указанныхъ выше соображеній, составлена приложенная въ инструкціи I таблица разсчетныхъ длинъ для плоскихъ образцовъ различнаго сѣченія, а также и II таблица для опредѣленія площади поперечнаго сѣченія плоскихъ образцовъ по заданной разсчетной длинѣ.

При составленіи этой II таблицы руководствовались обратной формулой:

$$\omega = \frac{L^2}{11,3^2} = 0,00783L^2$$

Только опредѣляя удлиненіе образца по отношенію къ вычисленной указаннымъ выше способомъ разсчетной длинѣ, мы получимъ сравнимые результаты.

*Машины для испытанія металловъ на разрывъ. Захваты для закрѣпленія образцовъ.*

Вторымъ факторомъ, вліяющимъ на однообразіе и сравнимость результатовъ испытанія, какъ извѣстно, является машина, которой пользуются для производства опыта. Само собою понятно, что самая конструкція машины можетъ быть совершенно произвольна, лишь бы только она удовлетворяла основнымъ условіямъ и требованіямъ правильнаго испытанія, изложеннымъ въ «Правилахъ однообразнаго испытанія матеріаловъ» \*) и въ «Введеніи въ курсъ механическихъ испытаній» \*\*). Вмѣстѣ съ этимъ необходимо, конечно, чтобы машина развивала силу, достаточную для разрыва образца при условіи возможности точно измѣрить величину этой силы и позволяла надежно закрѣпить концы испытываемаго образца.

Ввиду большого разнообразія въ конструкціяхъ машинъ, мы, не останавливаясь на этомъ вопросѣ и давая въ приложеніяхъ краткія описанія наиболѣе часто встрѣчающихся машинъ \*\*\*), обратимъ здѣсь вниманіе на

\*) См. Часть II. Приложение II. §§ 11—14.

\*\*) См. Выпускъ I. Спб. 1906 г. Глава III. § 2. стр. 31—36.

\*\*\*) См. Часть II. Приложение IV.

самую главную, съ точки зрѣнія правильности испытанія, часть разрывныхъ машинъ, именно приспособленія для закрѣпленія образцовъ, или такъ называемые, «захваты».

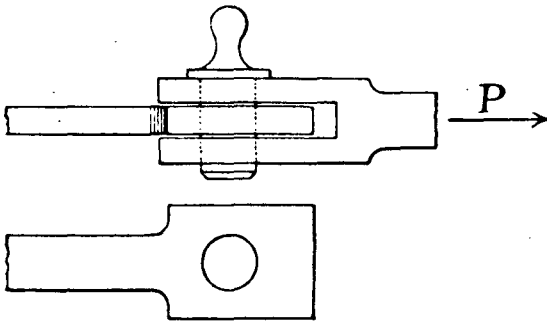


Рис. 1.

Какъ извѣстно \*) основнымъ требованіемъ, предъявляемымъ къ захватамъ, является полная подвижность ихъ для возможности вывѣрки положенія образца до опыта, а также для того, чтобы при началѣ опыта образцы сами заняли положеніе, способствующее центральной передачѣ усилій на образецъ. При опытахъ на растяженіе

это достигается примѣненіемъ сферическихъ вкладышей или же, при плоскомъ сѣченіи образцовъ, болтовъ, пропущенныхъ въ отверстія на концахъ образцовъ по одному съ каждой стороны (рис. 1).

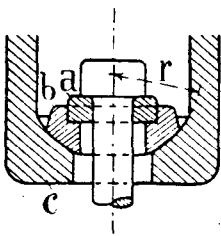


Рис. 2.

На рисункахъ 2—7 показаны наиболѣе часто употребляемые захваты со сферическими вкладышами. Въ самомъ распространенномъ приспособленіи для круглыхъ образцовъ, изображенномъ на рис. 2, пара полуколець *a* обхватываетъ снаружи головку образца, кольца *a* вкладываются въ цѣльное кольцо *b*, нижняя поверхность котораго представляетъ часть шаровой поверхности радиуса *r*, опирающейся на соответственную поверхность захвата *c*.

Другой способъ закрѣпленія изображенъ на рис. 3. Головка испытываемаго образца снабжена винтовой нарѣзкой и на нее навинчена гайка, нижняя поверхность которой сдѣлана шаровой и опирается на таковую же верхнюю поверхность захвата.

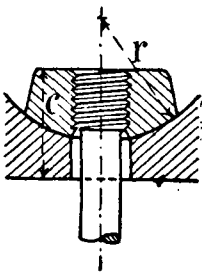


Рис. 3.

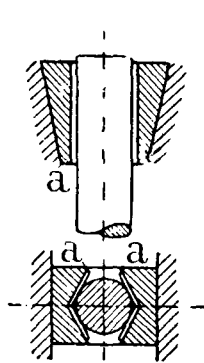


Рис. 4.

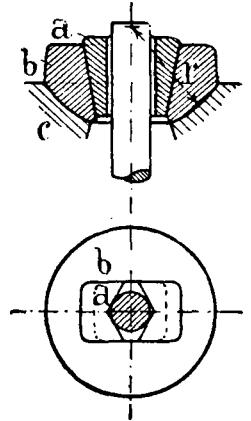


Рис. 4 bis.

\*) См. «Введеніе въ курсъ механическихъ испытаній». Выпускъ I, стр. 35 и Выпускъ II, стр. 51.

Наконецъ, на рис. 4 и 4 bis изображено приспособленіе, при которомъ нѣтъ необходимости снабжать образецъ специальной головкой. Конецъ образца зажать парой зазубренныхъ клиньевъ *a* (рис. 4), забитыхъ въ коническій прорѣзь кольца *b* съ шаровой нижней поверхностью (рис. 4 bis).

Захваты для плоскихъ образцовъ изображены на рис. 5, 6 и 7. Во всѣхъ случаяхъ головка, имѣющая нѣсколько большую ширину чѣмъ образецъ, зажата въ захватахъ съ помощью зазубренныхъ клиньевъ. Въ приспособленіи изображенномъ на рисункѣ 6, головка снабжена специальной нарѣзкой, соответствующей нарѣзкѣ на клиньяхъ, однако такое приспособленіе нельзя особенно рекомендовать, такъ какъ ввиду затруднительности сдѣлать нарѣзку перпендикулярно къ оси образца, при растяженіи въ немъ появляются косыя изгибающія на-

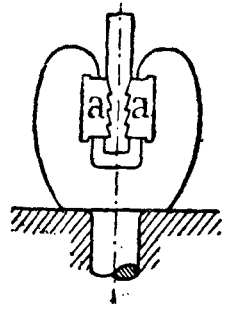


Рис. 6.

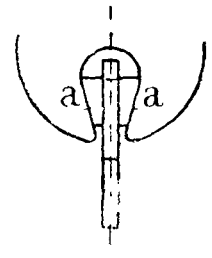


Рис. 5.

пряженія. Наиболее совершеннымъ надо признать приспособленіе, изображенное на рис. 7, въ которомъ благодаря шаровому кольцевому вкладышу *b* и при плоскихъ образцахъ можно достигать такой же центральности передачи усилія, какъ и при круглыхъ.

*Замѣчанія объ опредѣленіи удлиненія.*

Въ «Введеніе въ курсъ механическихъ испытаній» \*) выяснено, что въ числѣ различныхъ факторовъ, оказывающихъ вліяніе на численное значеніе величины удлиненія, находится и самый способъ опредѣленія удлиненія, а потому остановимся на выясненіи этого обстоятельства.

Извѣстно, что при опытахъ на растяженіе, для полученія яснаго представленія о картинѣ образованія удлиненія, раздѣляютъ всю расчетную длину образца на равныя части длиной въ одинъ сантиметръ (см. ниже § 2). Если послѣ разрыва измѣрить длину каждого промежутка между черточками и на оси абсциссъ нанести разстоянія между дѣленіями до опыта, а на соответственныхъ ординатахъ разстоянія между ними послѣ опыта, то въ томъ случаѣ, когда разрывъ произошелъ по срединѣ образца, законъ измѣненія разстояній между дѣленіями графически выразится кривой *ABC*, изображенной на рис. 8. Изъ этого графика видно,

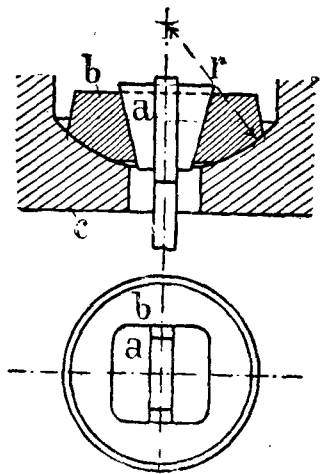


Рис. 7.

\*) См. Выпускъ I. Гл. III. § 1, п. 3, стр. 51.

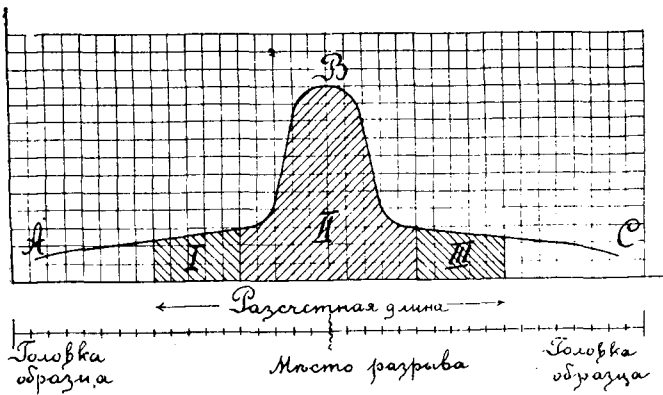


Рис. 8.

ва образец получает наибольшее сужение, а следовательно наибольшее уменьшение размеров поперечного сечения. Сужение это часто особенно у литого желѣза достигает до 70% от первоначального сечения, а такъ какъ съ небольшою погрѣшностью можно принять, что у металловъ при растяженіи объемъ почти не измѣняется, т. е. произведение  $f l$  остается постояннымъ, то очевидно, вблизи мѣста разрыва, гдѣ образуется наибольшее сужение получается и наибольшее увеличеніе разстоянія между дѣленіями. Наибольшее сужение образуется у мѣста разрыва, потому что у головокъ образца благодаря захватамъ дѣйствуютъ силы тренія, которыя и не даютъ возможности образоваться тамъ суженію, тогда какъ по мѣрѣ удаленія отъ захватовъ вліяніе силъ тренія уменьшается и почти совершенно отсутствуетъ въ срединѣ образца.

что увеличеніе дѣлений на образцѣ непосредственно вблизи мѣста разрыва значительно больше, чѣмъ въ остальныхъ частяхъ его и что по мѣрѣ приближенія къ головкамъ удлиненія получаютъ все меньшую и меньшую величину. Первое объясняется тѣмъ, что вблизи мѣста разрыва

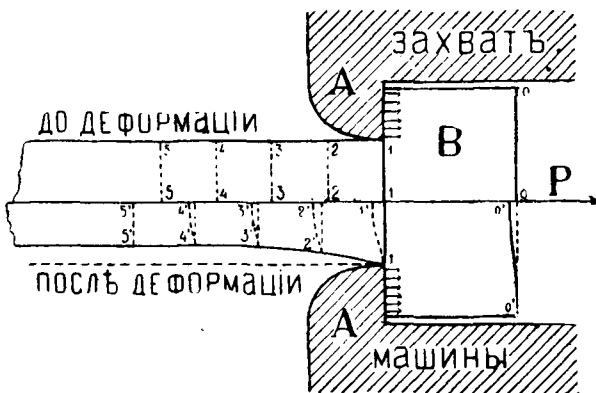


Рис. 9.

Особенно ясно видно вліяніе этихъ силъ на рисунокѣ № 9, на которомъ схематически показано явление деформации образца у головки В, зажатой въ захватѣ А. Сѣченія 2, 3, 4 и т. д. (на верхней части рисунка, соответствующей образцу до деформации) послѣ деформации (нижняя часть рисунка) сокращаются и занимаютъ положенія 2', 3' и т. д. На

этомъ же рисунокѣ видно вліяніе способа захвата образца на удлиненіе различныхъ волоконъ и искривленіе первоначально плоскихъ сѣченій 00, 11, 22 и т. д., принимающихъ форму кривыхъ поверхностей 0'0', 1'1' и т. д. Это искривленіе уменьшается по мѣрѣ удаленія отъ захвата и исчезаетъ

на разстояніи приблизительно равномъ діаметру образца у головки. Этимъ также объясняется и необходимость устройства конического перехода отъ головки нормального образца къ его цилиндрической части и удаление концевыхъ точекъ расчетной длины (керновъ) отъ головокъ.

Въ томъ случаѣ, когда разрывъ произошелъ ближе къ одной изъ головокъ образца, діаграмма удлиненій имѣетъ видъ изображенный на рис. 10, и какъ ясно изъ сравненія рисунковъ 8 и 10, общая величина удлиненія, (характеризуемая величиной площади соотвѣтственной диаграммы), въ этомъ послѣднемъ случаѣ меньше, чѣмъ въ первомъ.

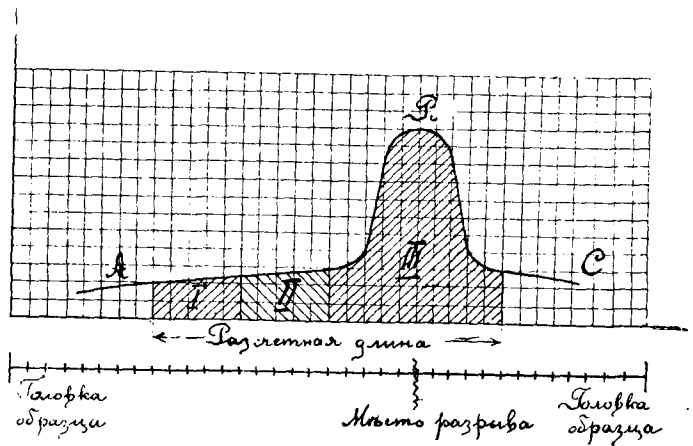


Рис. 10.

Изъ сказаннаго видно, что лишь для приблизительнаго грубого опредѣленія удлиненія можно измѣрять его прикладывая объ половинки разорваннаго образца одну къ другой и мѣряя разстояніе между кернами.

Чтобы результаты измѣренія удлиненія были свободными отъ ошибокъ и не зависѣли отъ мѣста разрыва, при научныхъ изслѣдованіяхъ и при испытаніяхъ матеріаловъ въ лабораторіяхъ примѣняютъ слѣдующій способъ измѣренія.

Способъ этотъ основанъ на томъ, что удлиненія различныхъ дѣленій на образцѣ совершенно симметричны относительно мѣста разрыва, т. е. что удлиненіе какого-либо дѣленія, находящагося слѣва въ разстояніи  $a$  отъ мѣста разрыва, какъ разъ равно удлиненію дѣленія, находящагося справа отъ мѣста разрыва въ томъ же разстояніи  $a$ . Это ясно видно изъ діаграммы рис. 8, соотвѣтствующей правильному нормальному случаю разрыва образца, и доказано результатами многочисленныхъ наблюденій въ различныхъ лабораторіяхъ.

Расчетную длину образца раздѣляютъ, какъ уже сказано, черточками или точками на части, равныя каждая 1 сантиметру, заботясь при этомъ, чтобы керны, разстояніе между которыми опредѣляетъ расчетную длину, находились настолько далеко отъ концовъ образца, чтобы въ тѣхъ сѣченіяхъ, гдѣ находятся керны уже не замѣчалось выше указанное вліяніе захватовъ на деформацію образца. Величина расчетной длины для каждаго такого случая и разстояніе керновъ отъ концовъ образца опредѣляется всякій разъ особыми условіями, о которыхъ было уже сказано выше въ соотвѣтственномъ мѣстѣ (см. также инструкцію для изготовленія

нормальных образцовъ), здѣсь же мы лишь замѣтимъ, что при такъ называемомъ *нормальномъ образцѣ* діаметромъ въ 20 миллиметровъ полная длина котораго съ головками равна 310 миллиметрамъ, расчетная длина равна 200 миллим., и наносится на образцѣ по срединѣ его такъ, чтобы разстоянія керновъ отъ концовъ образца равнялось 55 милл.

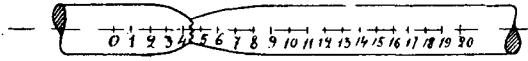


Рис. 11.

Если предположить, что образецъ, какъ показано на рисункѣ, разорвался между 4 и 5 дѣленіемъ, то для устраненія вліянія мѣста разрыва вблизи головки, нужно измѣрить дѣленія на меньшей части образца отъ 0 до мѣста разрыва, потомъ на второй большей части отъ мѣста разрыва измѣрить столько дѣленій, сколько ихъ на меньшей части, и наконецъ отъ дѣленія, расположеннаго симметрично нулевому относительно мѣста разрыва, измѣрить число дѣленій равное половинѣ недостающаго числа до 20, и эту послѣднюю величину удвоить, т. е. въ разсматриваемомъ случаѣ нужно измѣрить длину:

- 1) отъ 0 до мѣста разрыва,
- 2) отъ 15 до мѣста разрыва,
- 3) отъ 10 до 15 дѣленія.

Очевидно, что число всѣхъ измѣренныхъ дѣленій какъ разъ равно 20 и въ тоже время измѣренія произведены такъ какъ будто отъ мѣста разрыва на обѣихъ сторонахъ имѣется одинаковое количество дѣленій, т. е. разрывъ произошелъ по срединѣ образца. Болѣе подробно способъ измѣренія удлиненія въ различныхъ частныхъ случаяхъ принятый у насъ описанъ ниже въ § 2.

Въ данномъ частномъ случаѣ, взятомъ изъ практики, сумма всѣхъ измѣренныхъ выше длинъ равна 254 миллиметрамъ. Такъ какъ до опыта длина 20 дѣленій была равна  $20 \times 10 = 200$  мм., то очевидно величина полного удлиненія равна 54 миллим., а слѣдовательно, согласно предыдущему, въ процентахъ отъ расчетной длины полное удлиненіе равно  $\frac{54.100}{200} = 27\%$ .

Если въ разсмотрѣнномъ случаѣ удлиненіе измѣрить непосредственно отъ керна до керна, не принимая мѣръ къ устраненію вліянія разрыва вблизи захвата, то величина удлиненія была бы равна только 25%, такъ какъ дѣленія отъ 15 до 20 получили удлиненія значительно меньше нормальнаго. Изъ приведеннаго примѣра видно, что если разрывъ произошелъ въ предѣлахъ крайней трети образца, то величина удлиненія, измѣренная по описанному выше приближенному (отъ керна до керна) способу можетъ отличаться отъ истинной, правильно опредѣленной болѣе чѣмъ на 2%.

## § 2 Общій ходъ производства испытанія на сопротивленіе разрыву.

Изготовивши соотвѣтственный образецъ для испытанія на разрывъ, тщательно измѣряютъ въ миллиметрахъ штангенъ-циркулемъ размѣры поперечнаго сѣченія его. Полезно при этомъ производить измѣренія по крайней мѣрѣ въ трехъ сѣченіяхъ, среднемъ и двухъ ближе къ концамъ, и изъ трехъ полученныхъ величинъ брать среднее. По опредѣленнымъ ширинѣ ( $a$ ) и толщинѣ ( $b$ ) образца, или его діаметру ( $d$ ) если онъ круглый, вычисляютъ площадь поперечнаго сѣченія ( $\omega$ ) въ кв. миллиметрахъ.

Въ зависимости отъ результатовъ этого измѣренія назначаютъ расчетную длину образца; именно, при кругломъ образцѣ берутъ  $l=10d$ , а при плоскомъ  $l=11,3\sqrt{\omega}$ . Какъ въ одномъ, такъ и въ другомъ случаѣ эту расчетную длину округляютъ до ближайшаго большаго числа въ цѣлыхъ сантиметрахъ.

Затѣмъ острымъ рѣзущимъ инструментомъ наносятъ на образцѣ срединную линію и на ней отмѣчаютъ расчетную длину образца, раздѣленную поперечными штрихами на части длиною въ 1 сантиметръ. Дѣленія эти наносятъ или отъ руки съ помощью рѣзца и стальной линейки съ прорѣзами, разстояніе между соотвѣтственными сторонами которыхъ равно 1 сантиметру, или съ помощью дѣлительной машины.

Закрѣпивъ образецъ въ захватахъ машины, устанавливаютъ на немъ зажимы самопишущаго діаграммнаго аппарата и подвергаютъ образецъ растяженію при условіи, чтобы направленіе дѣйствія силъ совпадало съ осью образца.

Слѣдя по діаграммѣ, или по положенію рычага (въ машинѣ Мора), или по положенію ртути въ манометрѣ (въ машинѣ Амслера), замѣчаютъ грузъ, соотвѣтствующій предѣлу пропорціональности между напряженіемъ и деформаціей. Моментъ этотъ на діаграммѣ соотвѣтствуетъ измѣненію направленія движенія карандаша, т. е. загибу кривой діаграммы \*). По рычагу же и по манометру можно замѣтить этотъ моментъ, потому что всегда при грузѣ, соотвѣтствующемъ предѣлу упругости, какъ рычагъ, такъ и ртуть въ манометрѣ, постоянно колеблются около ихъ положенія равновѣсія.

Грузъ  $P$  соотвѣтствующій предѣлу пропорціональности записываютъ въ журналѣ производства опыта.

Продолжая увеличивать нагрузку на образецъ, доводятъ его, наконецъ, до разрыва, причемъ также записываютъ грузъ  $P$ , разрушающей образецъ.

Для величину въ килограммахъ cadaго изъ этихъ грузовъ на величину въ миллиметрахъ первоначальной площади образца ( $\omega$ ), получаютъ въ килогр. на кв. мм. предѣлъ пропорціональности ( $N$ ) и временное сопроти-

\*) Подробности см. Введеніе въ курсъ... Выпускъ II. Гл. III. § 1, а также въ описаніяхъ испытательныхъ машинъ.



вление ( $N$ ). Умножая  $N'$  на 100 и дѣля на  $N$ , получаютъ въ ‰ отношение предѣла упругости къ временному сопротивленію.

Измѣряя въ мѣстѣ разрыва въ миллиметрахъ ширину ( $a_1$ ) и толщину ( $b_1$ ) или діаметръ ( $d_1$ ) образца, опредѣляютъ площадь ( $\omega_1$ ) разорваннаго образца въ сѣченіи, получившемъ наибольшее суженіе. Вычтета уменьшенную площадь изъ первоначальной ( $\omega - \omega_1$ ), дѣля эту разность на первоначальную площадь ( $\frac{\omega - \omega_1}{\omega}$ ) и умножая результатъ на 100 ( $\frac{\omega - \omega_1}{\omega} \cdot 100$ ), получаютъ въ ‰ суженіе  $S$  образца въ мѣстѣ разрыва.

Изъ заключение опредѣляютъ относительное удлиненіе образца въ моментъ разрыва. Для этого измѣряютъ измѣненія разстоянія между дѣленіями, начерченными до опыта черезъ 1 сантиметръ на осевой линіи образца, при чемъ различаютъ два случая разрыва его:

- 1) Разрывъ произошелъ въ средней трети по длинѣ образца,
- 2) Разрывъ произошелъ въ крайней трети и притомъ
  - а) въ промежуткѣ между двумя чертами,
  - б) по одной изъ черточекъ.

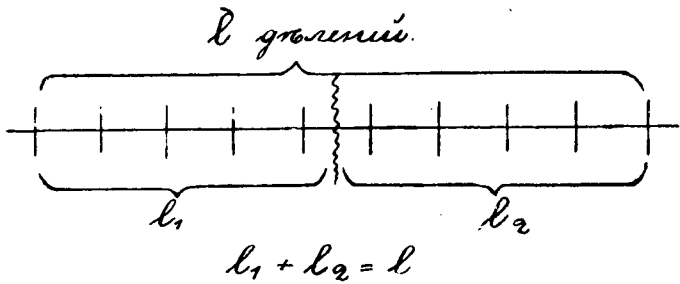


Рис. 12.

Въ первомъ случаѣ измѣряютъ штангенъ - циркулемъ въ миллиметрахъ длину осевой линіи на каждой половинѣ образца отъ мѣста разрыва (по поверхности) до начальной черты (керна) расчетной длины.

Складывая полученныя длины находятъ измѣненную величину ( $l_1$ ) расчетной длины образца (рис. 12).

Во второмъ случаѣ, при разрывѣ въ промежуткѣ между двумя черточками, измѣряютъ по частямъ разорванное дѣленіе (1 дѣленіе). Затѣмъ на большей части образца отъ ближайшей къ разрыву черточки измѣряютъ половину полного числа дѣленій на образцѣ ( $\frac{l}{2}$  дѣленій) и наконецъ, отъ той же черточки измѣряютъ половину безъ единицы отъ полного числа дѣленій ( $\frac{l}{2} - 1$  дѣленіе) и всѣ эти результаты измѣренія складываютъ. Такимъ путемъ какъ бы приводятъ мѣсто разрыва образца въ середину его длины и имѣютъ измѣренныя всѣ дѣленія на оси его:

$$1 + \frac{l}{2} \cdot \frac{l}{2} - 1 = l \text{ дѣленій (рис. 13).}$$

Въ томъ случаѣ, когда разрывъ произошелъ по одной изъ черточекъ, измѣряютъ оба сосѣднихъ съ мѣстомъ разрыва (2 дѣленія) и затѣмъ на большей части образца отъ черты, ближайшей къ разрыву, половину безъ еди-

ницы отъ полного числа дѣлений ( $\frac{l}{2}-1$  дѣленіе).

Эту послѣднюю величину удваиваютъ ( $l-2$  дѣленія). Складывая полученные результаты имѣютъ измѣренными всѣ дѣленія образца:  $2 \cdot \frac{l-2}{2} = l-2$  дѣленій (рис. 14).

Указанный способъ отсчета соответствуетъ случаю, когда число дѣлений  $l$  — четное, при нечетномъ  $l$  поступаютъ такъ:

а) разрывъ въ крайней трети между дѣленіями.

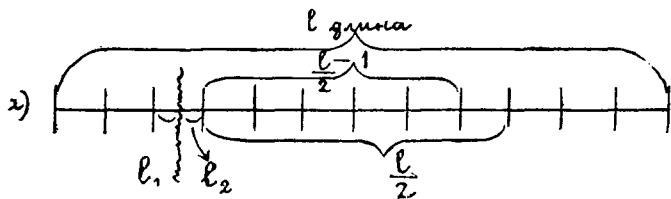
Измѣряютъ разорвавшееся дѣленіе (1 дѣленіе), а потомъ на большей части измѣряютъ  $\frac{l-1}{2}$  дѣленій и удваиваютъ эту длину. Складывая получаютъ  $1 + 2 \cdot \frac{l-1}{2} = l$  дѣленій.

б) Разрывъ по дѣленію въ крайней трети.

Измѣряютъ оба сосѣднихъ съ мѣстомъ разрыва дѣленія (2 дѣленія): на большей части измѣряютъ отъ черты ближайшей къ разрыву сначала  $\frac{l-1}{2}$  дѣленій, а потомъ  $\frac{l-1}{2}-1$  дѣленіе. Складывая эти величины получаютъ  $2 \cdot \frac{l-1}{2} + \frac{l-1}{2} - 1 = l$  дѣленій.

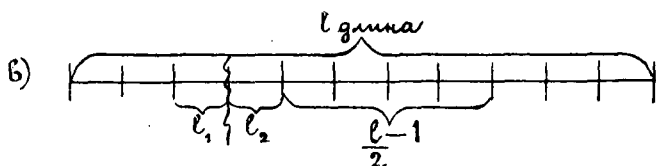
Найдя однимъ изъ указанныхъ способовъ измѣненную длину образца ( $l_1$ ) и вычитая изъ нея первоначальную ( $l$ ), опредѣляютъ абсолютное удлиненіе образца  $\Delta l$  ( $\Delta l = l_1 - l$ ). Дѣля эту величину на первоначальную длину образца и умножая результатъ на 100 ( $\frac{\Delta l}{l} \cdot 100$ ) получаютъ въ % относительное удлиненіе образца  $i$ .

Въ дополненіе къ выше указаннымъ числовымъ даннымъ, полученнымъ опытомъ, для лучшей характеристики матеріала записываютъ въ журналъ производства опыта замѣчанія о видѣ излома и поверхности образца послѣ разрыва.



$$l_1 + l_2 + \frac{l_1}{2} + \frac{l-1}{2} = l \text{ димны.}$$

Рис. 13.



$$l_1 + l_2 + 2 \left( \frac{l-1}{2} \right) = l \text{ димны.}$$

Рис. 14.

Изломы по степени крупности зерна различаютъ:

- 1) матовый,
- 2) мелкозернистый,

а также другіе промежуточные между ними опредѣляемые чисто субъективно.

По виду поверхности изломы различаютъ

- 1) ровные и
- 2) неровные

и другіе характерные, опредѣляемые также субъективно \*).

Кромѣ того указываютъ нѣтъ ли какихъ пороковъ и недостатковъ во внутреннемъ строеніи образца, обнаруженныхъ лишь послѣ разрыва его.

Относительно поверхности обыкновенно указываютъ, осталась ли она, и послѣ разрыва образца гладкой, неизмѣнной, или же на ней образовались надрывы, разслоенія металла и т. п.

---

## Г Л А В А III.

### Опредѣленіе упругихъ свойствъ металловъ при растяженіи.

#### § 1. Общія замѣчанія и описанія измѣрительныхъ приборовъ.

Хотя для практики оказывается вполне достаточнымъ знать временное сопротивленіе разрыву и предѣлъ упругости, опредѣленный по діаграммѣ, какъ описано выше, однако при научныхъ изслѣдованіяхъ металловъ, а иногда и для практическихъ цѣлей, бываетъ необходимо болѣе точно опредѣлить не только предѣлъ упругости, но и модуль упругости матеріала. Для достиженія этого необходимо возможно точно опредѣлить деформации образца при соответственныхъ нагрузкахъ. По характеру измѣненія этихъ деформаций находятъ предѣлъ упругости, такъ какъ до него существуетъ пропорциональность между измѣненіями силы и вызываемыми ею деформациями, а по величинѣ этихъ деформаций и зависимости ихъ отъ нагрузки не трудно опредѣлить, такъ называемый, модуль упругости.

Для производства этого рода опытовъ пользуются такими же образцами, какъ и при обычныхъ испытаніяхъ на сопротивленіе разрыву. Для опредѣленія же упругихъ деформаций примѣняютъ очень точные измѣрительные приборы, построенные обыкновенно такъ, что наблюдатель измѣряетъ не самую деформацию, обыкновенно очень малую, а величины имъ пропорциональныя и при томъ обыкновенно въ сотни разъ большія, чѣмъ деформация. Къ числу такихъ приборовъ относится зеркальный приборъ Баушингера или Мартенса, эластисиметръ Клебе и др.

\*) Попытка установленія классификаціи изломовъ на основаніи результатовъ опытовъ на разрывъ рельсовой стали сдѣлана инж. А. Л. Бабошнымъ— въ трудахъ Рельсовой Комиссіи. См. также часть II. Приложение V.

*Общее описание прибора Баушингера.* Конструкция всѣхъ зеркальныхъ приборовъ, а въ томъ числѣ и Баушингера, основана на той идеѣ, что упругія деформации бруска придаютъ вращательное движеніе зеркалу, закрѣпленному на брускѣ, которое при этомъ отражаетъ разныя дѣленія рейки, находящейся на опредѣленномъ разстояніи отъ зеркала. Путь, проходимый отраженіемъ зеркала, пропорционаленъ соотвѣтствующей упругой деформации бруска и во столько разъ болѣе ея, во сколько разстояніе рейки отъ зеркала болѣе радиуса оси, около которой вращается зеркало.

Конструкция прибора нижеслѣдующая (рис. 15), на испытуемый брусокъ устанавливаются двѣ пластинки, на одномъ концѣ которыхъ имѣются

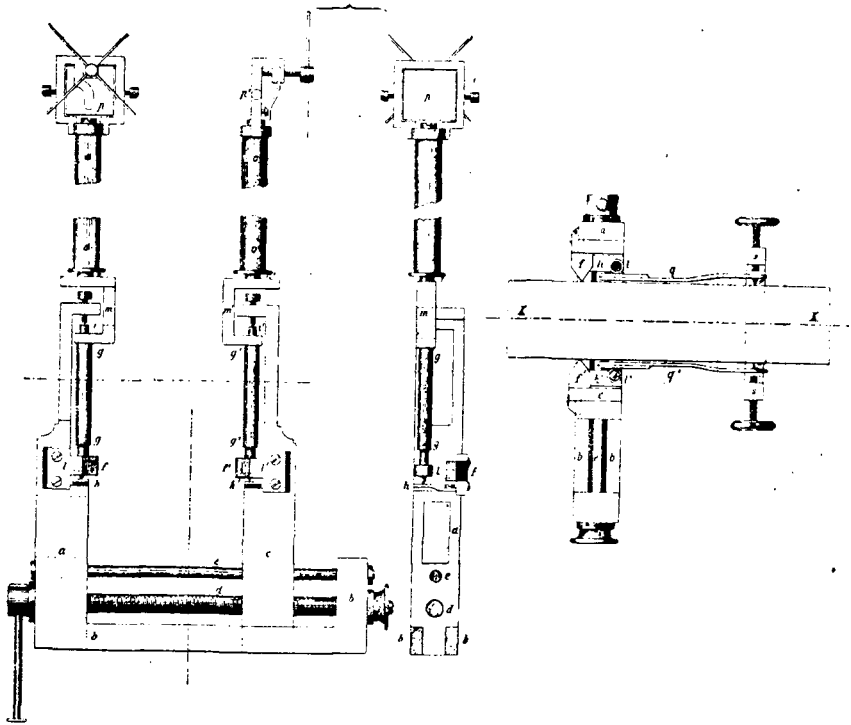


Рис. 15.

острыя ребра. Эти послѣднія приставляютъ къ концу той линіи на испытуемомъ образцѣ, измѣненія которой собираются наблюдать, и особымъ сжимомъ схватываютъ обѣ пластинки вблизи отъ мѣста, гдѣ помѣщаются эти остроконечные боковые выступы. Другіе два конца пластинокъ пружиняютъ и производятъ надавливаніе на цилиндрики, укрѣпленные у другого конца наблюдаемой линіи. Эти цилиндрики при удлинении образца вращаются въ разныя стороны. Наверху каждого цилиндра находится зеркальце, вращающееся около оси, перпендикулярной къ оси цилиндра, и вмѣстѣ съ цилиндромъ около вертикальной его оси. Микрометричное вращеніе около первой оси, которую примемъ горизонтальной, производится вращеніемъ особаго колесика, помѣщенного сзади зеркальца. Разстояніе между острымъ

ребромъ пластинки и цилиндриками, когда приборъ установленъ, строго опредѣленное. Когда брусокъ начинаемъ вытягивать, то это разстояніе увеличивается. Заостренное ребро пластинки перемѣщаться не можетъ; поэтому цилиндрики поворачиваются около своихъ осей на нѣкоторый уголъ, а такъ какъ каждое зеркало насажено на оси, служащей продолженіемъ оси цилиндра, то поворачивается и зеркало на тотъ же уголъ. Величина удлиненія бруска служить дугою угла, на который поворачивается роликъ.

На строго опредѣленномъ разстояніи отъ зеркалъ устанавливаются рейки, закрѣпленныя на штативахъ оптическихъ трубъ, въ которыя разсматриваютъ отраженія зеркалъ. При началѣ опыта устанавливаютъ зеркала такъ, чтобы нулевое дѣленіе рейки совпало съ волоскомъ, натянутымъ въ

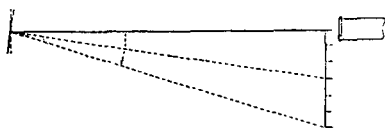


Рис. 16.

трубъ. Когда брусокъ растягивается, то зеркало поворачивается и отражаетъ слѣдующія дѣленія рейки. Показанія рейки являются величинами, пропорциональными удлинению бруска: такъ какъ уголъ паденія луча равенъ углу отраженія (рис. 16), то

въ зеркалѣ отражается дѣленіе, соответствующее двойному углу поворота.

Зная радіусъ цилиндра прибора и уголъ его поворота, легко можно найти величину удлиненія образца, а зная соотношеніе между радіусомъ цилиндра и разстояніемъ шкалы отъ зеркала, легко можно найти во сколько разъ наблюдаемое нами перемѣщеніе больше дѣйствительнаго. Строго говоря, необходимо было бы имѣть рейки, изогнутыя по дугѣ круга, но по малости угловъ вращенія считаютъ возможнымъ отсчитывать на рейкахъ не дуги круга, а ихъ тангенсы. Соотношеніе между радіусомъ цилиндра и разстояніемъ шкалы отъ зеркала выбрано такъ, что мы отсчитываемъ на рейкѣ величины въ 500 разъ большія дѣйствительныхъ удлиненій.

Обыкновенно употребляютъ два прибора Баушингера для того, чтобы наблюдать удлиненія по обѣимъ сторонамъ ширины образца. Среднія изъ получаемыхъ удлиненій и будутъ соответствовать удлиненіямъ по продольной оси образца. Если образецъ заложенъ несимметрично относительно направленія силы, то удлиненія по обоимъ его краямъ будутъ значительно различаться, что вліяетъ на уменьшеніе точности результата, такъ какъ получается боковой выгибъ образца.

Если соответственныя показанія приборовъ  $A_1$  и  $A_2$ , то читаемое нами удлиненіе оси будетъ  $\frac{A_1 + A_2}{2}$  и притомъ въ 500 разъ больше дѣйствительнаго. Если эту полусумму удвоить, то получимъ  $A_1 + A_2$  по величинѣ въ 1000 разъ больше дѣйствительнаго удлиненія. Поэтому обыкновенно берутъ сумму обоихъ чтеній на рейкахъ, которая и показываетъ деформацию средняго волокна увеличенную въ 1000 разъ. Это обстоятельство 1) увеличиваетъ точность опыта, а 2) облегчаетъ арифметическія дѣйствія.

Оптическія трубы снабжены соответственно винтами, позволяющими установить надлежащее фокусное разстояніе, чтобы ловить отраженіе реекъ

въ зеркалѣ въ поле яснаго зрѣнія; кромѣ того винтами, позволяющими вращать трубу около вертикальной и около горизонтальной осей, что необходимо для установки.

Установку прибора производятъ слѣдующимъ образомъ. На заложеномъ, слегка натянутомъ незначительнымъ грузомъ брускѣ, устанавливають пластинки и закладываютъ на соотвѣтствующія мѣста призмы, несущія зеркала. На опредѣленномъ разстояніи отъ зеркалъ (разстояніе промѣряется рулеткой) устанавливають на столикѣ трубы съ рейками. Первой задачей является, какъ говорятъ, поймать зеркало въ трубу. Для этого сзади зеркала поднимають свѣчу и ловятъ въ соотвѣтствующую трубу огонекъ, вращая трубу около вертикальной или горизонтальной осей. Когда огонекъ пойманъ, то соотвѣтствующее зеркало вырисуеться въ трубѣ въ видѣ матоваго квадрата, который устанавливають въ центръ поля яснаго зрѣнія, т. е. симметрично относительно двухъ взаимно-перпендикулярныхъ волосковъ, натянутыхъ въ трубѣ. Установивъ трубы, начинаютъ устанавливать зеркала такъ, чтобы отраженіе реекъ попало въ соотвѣтствующія трубы. Зеркала, какъ уже сказано снабжены винтами, позволяющими вращать ихъ въ свою очередь около вертикальной и горизонтальной осей. Чтобы отраженіе рейки попало въ поле зрѣнія трубы, необходимо вращать зеркало отъ руки около горизонтальной оси. Ловятъ сначала простымъ глазомъ отраженіе рейки въ пространствѣ и затѣмъ уже, вращая соотвѣтствующій винтъ, приводятъ это отраженіе въ плоскость трубы, т. е. ставятъ зеркало такъ, чтобы отраженіе было видно, когда смотрятъ простымъ глазомъ надъ трубой. Установивши надлежащимъ образомъ окуляръ можно быть увѣреннымъ, что отраженіе будетъ видно въ трубѣ; тогда окончательно уже устанавливають это отраженіе по вертикальному волоску. Остается только установить зеркало такъ, чтобы нулевое дѣленіе рейки совпало съ волоскомъ, что уже весьма просто сдѣлать, вращая зеркало винтомъ около вертикальной оси. Когда оба зеркала такимъ образомъ установлены, то остается убѣдиться, вѣрно ли пойманы рейки въ соотвѣтственныя зеркала, что провѣряють, загораживая дѣленія реекъ чѣмъ-нибудь и рассматривая ихъ въ это время въ трубу.

Точнаго совпаденія нулевого дѣленія съ волоскомъ зрительной трубы добиваются уже съ помощью микрометрическихъ винтовъ трубъ.

Описанный приборъ принадлежитъ по конструкціи къ наиболѣе старымъ и пригоденъ лишь для испытанія образцовъ на горизонтальныхъ машинахъ. Болѣе совершеннымъ является приборъ Мартенса.

### Зеркальный приборъ системы Мартенса.

Приборъ служитъ для измѣренія даже весьма малыхъ деформаций образцовъ, испытываемыхъ на разрывъ или сжатіе. По особому требованію прилагаются при приборѣ еще два зажима съ зеркальцами для наблюденія маленькихъ угловъ крученія образцовъ.

Полный прибор состоитъ изъ:

- 1) Двухъ зрительныхъ трубъ, укрѣпленныхъ на штативѣ.
- 2) Двухъ короткихъ зеркалодержателей съ зеркальцами для измѣренія продольнаго измѣненія тонкихъ образцовъ.
- 3) Двухъ длинныхъ зеркалодержателей для измѣренія продольнаго измѣненія толстыхъ образцовъ.
- 4) Четырехъ паръ пластинокъ въ 5, 10, 15, 20 сант. длиною.
- 5) Трехъ зажимныхъ рамокъ различной ширины для закрѣпленія пластинокъ и зеркалодержателей на образцахъ различной толщины.
- 6) Четырехъ запасныхъ зеркалецъ.

По особому требованію прилагается при приборѣ поддержка, препятствующая соскальзыванію пластинокъ съ горизонтально расположенныхъ образцовъ.

*Зеркалодержатель.* Зеркальце поддерживается вилкою, которая можетъ вращаться. Само зеркальце также можетъ вращаться въ концахъ вилки. Стерженекъ, на который насажена вилка, сдѣланъ въ серединѣ въ видѣ двойной призмы.

*Пластинки.* Пластинки снабжены на одномъ концѣ остриемъ, а на другомъ находится безусловно остроугольная поперечная зарубка, въ которую ложится одно ребро двойной призмы зеркалодержателя. Другое ребро двойной призмы лежитъ на образцѣ и слабо придавливается пластинкою. Двойная призма должна быть по возможности точно перпендикулярна къ пластинкѣ, что узнается по стрѣлкѣ, которая должна быть совершенно параллельна пластинкѣ. Разстояніе между призмой на одномъ концѣ и зарубкою на другомъ, т. е. измѣряемая длина образца, указано на пластинкѣ.

На наружной сторонѣ каждой пластинки сдѣлано маленькое углубленіе, въ которое вставляются наконечники зажимовъ.

Идея зеркальнаго прибора Мартенса одинакова съ зеркальнымъ приборомъ Баушингера.

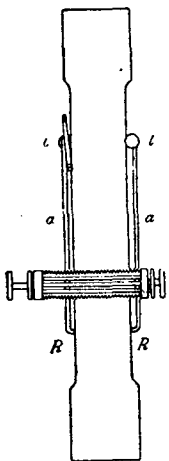


Рис. 17.

*Конструкция* прибора также сходная съ приборомъ Баушингера, такова. На испытуемый образец (рис. 17) устанавливаются двѣ пластинки *a*, сжимаемая пружиной. Одинъ конецъ *R* пластинки загнуть и заострить, а на другомъ сдѣлана вырѣзка *l* (рис. 18). Въ эти вырѣзки вставляютъ ромбоидальныя призмочки *B*



Рис. 18.

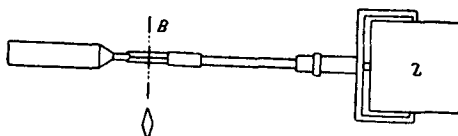


Рис. 19.

на оси которыхъ насажены зеркальца *L*, при чемъ одно зеркальце находится въ одной сторонѣ отъ образца, а другое съ другой, какъ указано на рис. 20, но лицомъ обращены въ одну сторону,

къ наблюдателю. Пружина, сжимающая пластинки, прижимаетъ ихъ съ одной стороны заостренными концами къ образцу, а съ другой стороны вырѣзкой къ призмамъ, находящимся между брускомъ и пластинками. Уголъ вырѣзки  $\theta'$  (рис. 21) больше угла призмы  $\theta$ . Поэтому призма свободно можетъ вращаться въ этомъ углѣ.

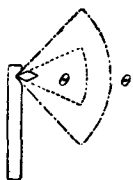


Рис. 21.

Разстояніе реекъ отъ зеркаль беретъ въ 250 разъ больше длины діагонали ромбоидальной призмы, на которой насажено зеркало. При этомъ получается такое соотношеніе: если мы назовемъ діагональ ромба

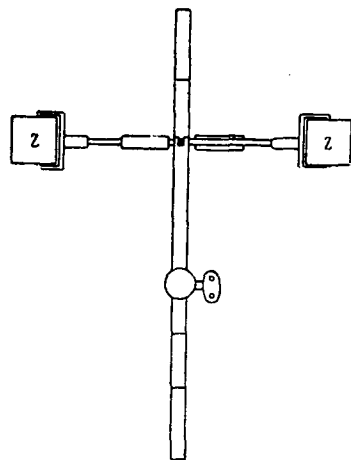


Рис. 20.

черезъ  $r$ , а разстояніе зеркала отъ рейки черезъ  $l$ —то увеличеніе показанія рейки будетъ болѣе въ  $\frac{l}{r}$  разъ, т. е. 250 разъ; благодаря же двойному углу оно будетъ еще болѣе въ 2 раза, т. е. въ общемъ мы читаемъ на каждой рейкѣ показанія въ 500 разъ большія, чѣмъ опредѣляемая деформация. Какъ уже было сказано, употребляются 2 пластинки, т. е. другими словами, 2 самостоятельныхъ прибора, съ 2-мя зеркалами, 2-мя рейками и 2-мя оптическими трубами, устанавливаемыми на двухъ противоположныхъ сторонахъ бруска. Цѣль подобной установки та, чтобы опредѣлить деформации средняго волокна бруска, такъ какъ оба ребра растягиваются неодинаково. Поэтому беретъ среднее показаніе изъ отсчета по обоимъ зеркаламъ. Если назвать такъ же какъ при приборѣ Баушингера соответствующія показанія черезъ  $A'$  и  $A''$ , то среднее чтеніе будетъ  $\frac{A'+A''}{2}$ , но если удвоить эту величину, то будетъ  $A'+A''$  и показаніе будетъ уже больше въ 1000 разъ. Для точности опять такъ же какъ и при приборѣ Баушингера было бы необходимо, чтобы рейки были изогнуты по дугѣ соответствующаго радіуса, но этой неточностью пренебрегаютъ за ея малостью и поэтому рейки дѣлаютъ прямыми. Обыкновенно берутъ не среднюю величину, а сумму 2-хъ чтеній, которая и показываетъ деформацию средняго волокна, увеличенную въ 1000 разъ. Всѣ соотношенія подобраны специально съ цѣлью облегчить подсчетъ.

*Теорія.* Предположимъ, что зрительная труба  $A$  установлена горизонтально и наведена на зеркальце  $B$  такимъ образомъ, что видно зеркальное изображеніе миллиметроваго дѣленія измѣрительной линейки  $G$  (рис. 22).

Высоту двойной призмы  $D$  зеркалодержателя обозначимъ буквою  $a$ , а разстояніе зеркальной поверхности отъ линейки буквой  $b$ . Если зеркальце вполне перпендикулярно къ оси зрительной трубы, то въ зрительную трубу видна та точка шкалы, которая лежитъ на одинаковой высотѣ съ осью



зрительной трубы. При наклонении на угол  $\alpha$  зеркальца, вследствие удлинения образца на величину  $x$ , въ зрительную трубу видна точка, находящаяся на разстоянии  $c$  отъ начального дѣленія, и тогда по чертежу находимъ

$$a \sin \alpha = x \text{ и } b \operatorname{tg} \alpha = c$$

Предположимъ, что  $\alpha$  маленькій уголъ, а поэтому приблизительно  $\operatorname{tg} 2\alpha = 2 \operatorname{tg} \alpha = 2 \sin \alpha$ , т. е.  $x = \frac{ac}{2b}$ . По этой формулѣ и вычисляется величина деформации образца.

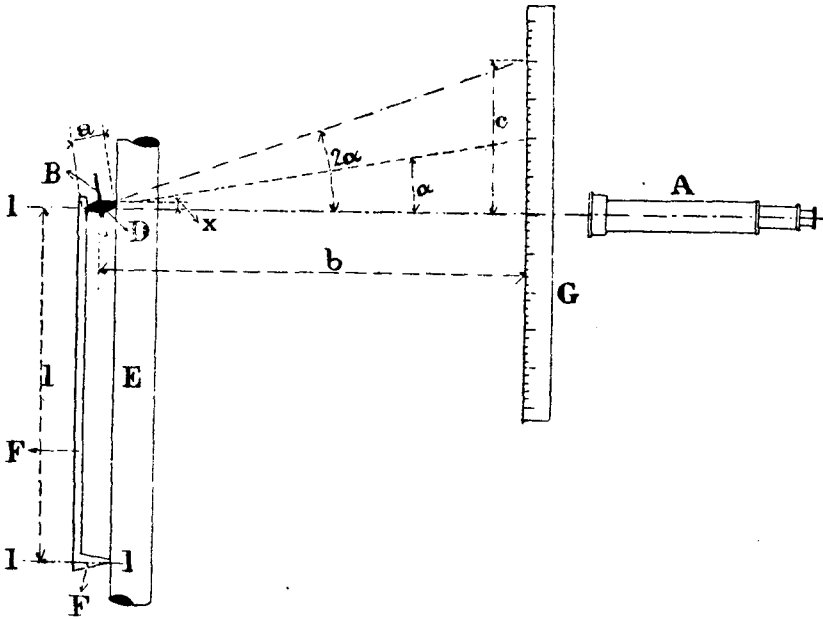


Рис. 22.

Величина  $a$ —постоянна, величиной  $b$  можно задаться, а  $c$  опредѣляется непосредственно при опытѣ:  $c$ —есть кажущееся передвиженіе шкалы передъ центромъ объектива зрительной трубы, выраженное въ милл. Разстояніе выбираютъ такъ, что  $c = 500x$ , а слѣдовательно  $2 \frac{a}{b} = 500$ , откуда слѣдуетъ, что  $b = 250a$  \*).

Слѣдовательно  $x = 0,002 c$  милл.

Если уголъ поворота зеркальца настолько великъ, что нельзя уже пользоваться приближительной формулой  $\operatorname{tg} 2\alpha = 2 \sin \alpha$ , можно изъ обѣихъ формулъ  $a \sin \alpha = x$  и  $b \operatorname{tg} 2\alpha = c$  точно вычислить значеніе  $x$ , подставляя извѣстныя и наблюденныя значенія величинъ  $a$ ,  $b$ ,  $c$ .

\*) У зеркальнаго аппарата № 13, находящагося въ Механической Лабораторіи Института Инженеровъ Путей Сообщенія, у короткаго зеркалодержателя  $a = 6,190$  мм. и  $b = 1518$  мм. У длиннаго зеркалодержателя  $a = 6,258$  мм. и  $b = 1559$  мм. У зеркальнаго же прибора № 61, находящагося на Станціи Испытанія Матеріаловъ при А. Д. Н. П. у короткаго зеркалодержателя  $a = 6,174$  мм.,  $b = 1618$  мм., а у длиннаго зеркалодержателя  $a = 6,132$  мм.,  $b = 1608$  мм.

Зеркальный приборъ пригоденъ впрочемъ только для измѣренія весьма маленькихъ деформаций. При большихъ деформацияхъ, напр. за предѣломъ упругости легко случается, что двойная призма зеркалодержателя опрокидывается вслѣдствіе сильнаго наклоненія.

*Установка прибора* вообще сходна съ установкой прибора Баушингера. Въ частности же штативъ съ зрительной трубой устанавливають такимъ образомъ, что объективы удалены отъ зеркальца приблизительно на величину  $b$  и колонна, поддерживающая зрительную трубу, приблизительно вертикальна: послѣ чего передвигая колонну по вертикальному направлению ставятъ зрительную трубу приблизительно на одинаковой высотѣ съ зеркальцемъ и поворачиваютъ насадку на колоннѣ такъ, что зрительная труба наводится на зеркальце.

Теперь визируютъ для точной установки зрительной трубы на зеркальце, вытягиваютъ почти совсѣмъ выдвижную часть съ окуляромъ и устанавливаютъ зрительную трубу посредствомъ установочныхъ винтовъ такі, чтобы передъ нитянымъ крестомъ появилась середина зеркальца. Затѣмъ снова почти до конца вдвигаютъ выдвижную часть съ окуляромъ. Послѣ этого не слѣдуетъ измѣнять направленія оси зрительной трубы.

Требуется нѣкоторый навыкъ для полученія зеркальнаго изображенія шкалы передъ нитянымъ крестомъ соотвѣтствующей зрительной трубы.

Для этого лучше всего поступать слѣдующимъ образомъ.

Смотрятъ черезъ зрительную трубу на зеркальце и передвигаютъ свѣчку въ промежуткѣ между зрительной трубою и зеркальцемъ до появленія ея изображенія. Затѣмъ осторожно поворачиваютъ мало по малу зеркальце такъ, чтобы свѣчка покрывала шкалу, которую желательно видѣть въ зрительную трубу. Тогда смотрятъ въ зрительную трубу и такъ устанавливаютъ выдвижную часть окуляра, чтобы ясно видѣть пламя, послѣ этого удаляютъ свѣтъ и ищутъ шкалу. Въ большинствѣ случаевъ послѣдняя кажется передвинутою въ сторону. Переставляютъ шкалу, такъ чтобы она появилась передъ крестомъ трубы.

Обыкновенно необходимо искусственно освѣщать шкалы для того, чтобы можно было разсматривать, не утомляя слишкомъ сильно глаза. Послѣ этого шкалы, передвигая взадъ и впередъ, устанавливаютъ точно на разстояніи  $b$  отъ соотвѣтственнаго зеркальца, пользуясь для этого деревянной линейкой или рулеткой.

При горизонтальномъ расположеніи образцовъ устанавливаютъ шкалы горизонтально: одну сверху, а другую снизу зрительной трубы.

*Наблюденіе.* Для того, чтобы быть увѣреннымъ въ неподвижности зеркальца во время измѣренія упругости стараются, чтобы образецъ не могъ вращаться или вообще двигаться въ совершенно разгруженномъ состояніи, или же, что еще надежнѣе, начинаютъ наблюденіе только послѣ нѣкотораго натяженія образца и избѣгаютъ совершенно разгружать его во время ряда испытаній, чтобы не произошло измѣненія въ его положеніи.

Для точности и удобства полезно устанавливать понижатель давления испытательной машины на слабую передачу, т. е. пользоваться шкалой съ правой стороны манометра. Достигаемое при такой установкѣ сжатіе или растяженіе образца въ большинствѣ случаевъ совершенно достаточно.

Помощникъ долженъ заботиться о поддержаніи постоянного сжатія или растяженія во время чтенія.

Если при испытательной машинѣ работаетъ насосъ, приводимый въ дѣйствіе двигателемъ, то легко получить и поддерживать постоянное давление масла, потому что опредѣленному положенію регулирующаго клапана соотвѣтствуетъ вполнѣ опредѣленное давление масла, предполагая постоянную скорость вращенія насоса. Слѣдовательно, для полученія и поддержанія желательнаго давления масла стоитъ только установить надлежащимъ образомъ регулирующий клапанъ и затѣмъ предоставить насосъ самому себѣ, причемъ незначительныя колебанія уравниваются тщательностью установки регулирующаго клапана.

При приведеніи насоса въ дѣйствіе рукою также легко дополнять масло и поддерживать давление постояннымъ, посредствомъ осторожнаго вращенія рукоятки.

При концѣ ряда испытаній или еще лучше нѣсколько разъ во время наблюденій слѣдуетъ удостовѣряться частичною разгрузкою образчика въ неподвижности зеркалаца.

Въ испытательныхъ машинахъ съ насосомъ, приводимымъ въ дѣйствіе двигателемъ, частичная разгрузка производится осторожнымъ открываніемъ регулирующаго клапана у понижателя давления.

Точныя измѣренія упругости должно, какъ сказано выше, производить съ двумя зеркальцами, расположенными по обѣимъ сторонамъ образца, какъ показано на рис. 17 и 20. При пользованіи однимъ зеркальцемъ вслѣдствіе изгиба или перекоса образца получаютъ неправильные результаты. Напротивъ при среднемъ выводѣ изъ наблюденій, произведенныхъ съ двухъ сторонъ образца, исключается большею частью вліяніе изгибовъ на результаты.

## **§ 2. Общій ходъ производства опыта и относящихся къ нему вычисленій.**

Приступая къ производству опыта, предварительно производятъ обмѣръ и размѣтку образца, какъ это описано въ главѣ II; затѣмъ согласно сдѣланнымъ выше указаніямъ, закладываютъ образецъ въ машину, слегка нагружаютъ его (0,25—0,5 тоннъ) и устанавливают приборъ.

Когда приборъ установленъ, то начинаютъ растягивать образецъ. Величины нагрузокъ, которыя прибавляютъ каждый разъ, зависятъ отъ той точности, съ какой хотятъ опредѣлить предѣлъ пропорціональности. Если образецъ имѣетъ сѣченіе 300 кв. мм. и хотятъ опредѣлить до 1 клгр. мм.<sup>2</sup>, то грузятъ черезъ 300 клгр. Въ началѣ конечно можно итти большими грузами, но при приближеніи къ предѣлу пропорціональности идутъ точно

выбранными нагрузками. После каждой нагрузки записывают соответствующія чтенія. При наступленіи предѣла упругости показанія начинаютъ быстро увеличиваться и иногда не удается сдѣлать за предѣломъ упругости ни одного чтенія, такъ какъ рейки имѣютъ незначительную длину (50 ст.), а удлиненія бруска за предѣломъ упругости значительны; поэтому рейки всѣ выходятъ изъ поля зрѣнія.

Произведя опытъ, строятъ діаграмму, по которой опредѣляютъ грузъ, отвѣчающій предѣлу пропорціональности, т. е. тотъ грузъ, при которомъ прямая начинаетъ загибаться. Такъ какъ установка прибора производится при нѣкоторомъ напряженіи бруска, то въ діаграммѣ первая точка не совпадаетъ съ 0 осей. Опредѣливъ грузъ, отвѣчающій предѣлу пропорціональности, берутъ соответствующее ему показаніе зеркаль, т. е. сумму двухъ чтеній и опредѣляютъ среднее приращеніе показаній на одну тонну, т. е., напр., если грузъ соответствующій предѣлу пропорціональности 8,25 *T*, соответственное ему чтеніе 200, а первоначальная нагрузка 0,25 *T*, то среднее приращеніе показаній будетъ  $\frac{200}{8,00} = 25,0$ ; это среднее приращеніе назовемъ черезъ  $A_0$ ; оно больше натуральной величины въ 1000 разъ и равно удлиненію столькихъ миллиметровъ, сколько имѣетъ пластинка. Поэтому удлиненіе одного миллиметра въ натуральную величину равно  $\frac{A_0}{1000s}$ , если назовемъ длину пластинки черезъ *s*.

Такъ какъ  $E = \frac{Ap}{r}$ , т. е. приращенію нагрузки на 1 мм.<sup>2</sup>, дѣленному на соответствующее приращеніе длины одного мм., и если мы опредѣлили приращеніе длины 1-го мм. при нагрузкѣ на все сѣченіе 1 *T*, то на 1 мм.<sup>2</sup> будетъ  $\frac{1000}{\omega}$  клгр. и тогда

$$E = \frac{1000}{\omega} : \frac{A_0}{1000 \cdot s} = \frac{s}{A_0 \omega} \cdot 1000000.$$

Поэтому, зная площадь поперечнаго сѣченія образца, длину соответствующей пластинки, нужно опредѣлить только среднее приращеніе чтеній при нагрузкѣ въ 1 *T*. Среднее приращеніе нужно опредѣлять съ точностью до 0,001, такъ какъ это показаніе еще имѣетъ вліяніе на величину *E*.

### Примѣръ разсчета.

Когда опытъ произведенъ и сдѣланы всѣ записи, которыя представлены на прилагаемой таблицѣ, строятъ діаграмму деформации. Для того, чтобы всѣ діаграммы были вычерчены въ одномъ масштабѣ и давали возможность наглядно видѣть соответствующія измѣненія упругихъ свойствъ— всѣ деформации относятъ къ нагрузкамъ на единицу площади поперечнаго сѣченія. По діаграммѣ опредѣляется предѣлъ упругости и затѣмъ уже разсчитывается средній модуль упругости.

Грузъ въ тоннахъ.	Лѣвое зеркало отчетъ $A_1$ .	Правое зеркало отчетъ $A_2$ .	Сумма отчетовъ $A_1 + A_2$ .	Разность $A_0$ .	РЕЗУЛЬТАТЫ.
0,1	0	0	0	—	
1	8	13,0	21	21,0	
2	18	27,2	45,2	24,2	
3	30,0	40,1	70,1	25,2	
4	42,0	53,5	95,5	25,1	
5	55,0	66,0	121,0	25,5	
6	68,2	78,0	146,0	25,0	
7	81,2	90,0	171,2	25,2	
8	95,0	102,0	197,0	25,8	
8,5	102,0	108,0	210,0	13,0	
9,0	109,5	114,0	223,5	13,5	
9,5	118,0	121,8	239,8	16,3	
10,0	128,7	130,5	259,2	19,1	
10,5	141,0	141,0	282,0	22,8	
11,0	162,0	160,0	322,0	40,0	
11,5	т я	и е	т е	я.	

Обыкновенно при производствѣ учебнаго опыта нагрузку увеличиваютъ постепенно на 1 тонну, при чемъ удлиненіе образца при первоначальной нагрузкѣ, которой былъ натянутъ образецъ при установкѣ на немъ прибора, считаютъ за нуль. Нагрузивъ образецъ опредѣленной нагрузкой  $P$ , величина которой должна быть записана въ первой графѣ журнала опыта и выждавъ время, когда наступитъ равновѣсіе между внѣшней нагрузкой на образецъ и силами упругости его, читаютъ показанія прибора и записываютъ ихъ въ 3 и 4 графахъ журнала ( $A$ ) (см. образецъ журнала, приложение VI). Складывая эти величины, получаютъ удлиненіе осевой линіи въ 1000 разъ большее натуральной величины и это записываютъ въ 5 графѣ ( $\Sigma A$ ). Беря разность между двумя сосѣдними показаніями этой графы, опредѣляютъ приращеніе удлиненія при увеличеніи нагрузки на 1000 килограммовъ ( $\Delta A$ ). Эти разности записываютъ въ 6 графѣ журнала. До предѣла упругости разности эти болѣе или менѣе постоянны, послѣ же него онѣ начинаютъ быстро увеличиваться. Чтобы лучше уловить моментъ достиженія предѣла упругости при приближеніи къ нему обыкновенно увеличиваютъ нагрузку лишь на  $\frac{1}{2}$  тонны, чтобы такимъ образомъ опредѣлить предѣлъ упругости съ точностью примѣрно въ 1,66 кил. на кв. миллим.

Опредѣливши такимъ образомъ предѣлъ упругости и упругія деформации, зеркальный приборъ съ образца снимаютъ и обычнымъ путемъ доводятъ образецъ до разрушенія ( $P$ ).

Такимъ образомъ опредѣляютъ временное сопротивленіе ( $N$ ) разрыву, относительное удлиненіе при разрывѣ ( $i$ ) и суженіе ( $C$ ).

Согласно даннымъ графъ 1 и 5 журнала строятъ діаграмму при растяженіи, которая позволяетъ провѣрить правильность опредѣленія груза, соответствующаго предѣлу упругости ( $P'$ ). Зная его, находятъ напряженіе при предѣлѣ упругости ( $N'$ ) а также и отношеніе въ ‰ предѣла упругости къ временному сопротивленію  $\frac{P'}{P}$ .

Для вычисленія модуля упругости поступаютъ слѣдующимъ образомъ. По даннымъ графы 6 (до предѣла упругости) вычисляютъ *среднее абсолютное упругое удлиненіе* образца при увеличеніи нагрузки на одну тонну (1000 килогр.) и эту величину записываютъ въ графѣ 7. Такъ какъ величина эта соответствуетъ измѣненію длины образца, равной длинѣ пластинки прибора  $s$ , и въ 1000 разъ больше натуральной величины этого удлиненія, то для вычисленія *упругаго относительно* удлиненія, отнесеннаго къ единицѣ длины, дѣлятъ  $\Delta A_0$  на 1000 и на длину пластинки прибора  $s$   $i = \frac{\Delta A_0}{1000s}$ . Зная, что по закону Гука напряженіе пропорціоноально удлиненію, для опредѣленія коэффициента упругости  $\alpha$ , дѣлятъ относительное упругое удлиненіе  $i$ , отнесенное къ единицѣ длины, на напряженіе  $p$ , отнесенное къ единицѣ нагрузки и единицѣ площади ( $\alpha = \frac{i}{p}$ ). Такъ какъ за единицу нагрузки принята 1 тонна = 1000 килогр., то величина  $p = \frac{1000}{\omega}$  килогр. на кв. мм.

Зная  $\alpha$  и зная, что модуль упругости есть величина обратная коэффициенту упругости, дѣлятъ 1 на  $\alpha$ , находятъ  $E = \frac{1}{\alpha}$ .

## ГЛАВА IV.

### Испытаніе металловъ на твердость.

#### § 1. Общія свѣдѣнія о методахъ испытанія.

*Классификація способовъ.* Замѣчанія о свойствѣ матеріаловъ, называемомъ твердостью, а также краткія указанія общаго характера объ испытаніи твердости имѣются въ «Введеніи въ курсъ механическихъ испытаній матеріаловъ» \*), что же касается самаго производства опредѣленія твердости матеріаловъ вообще и въ частности металловъ, то надо замѣтить, что въ настоящее время предложено нѣсколько способовъ, которые въ зависимости отъ идеи положенной въ основу cadaго изъ нихъ можно разбить на двѣ основныя группы.

I. Способы, основанные на вдавливаніи одного тѣла въ другое при условіи неподвижности обоихъ тѣлъ, т. е. отсутствія перемѣщенія одного тѣла по поверхности другого.

\*) См. Выпускъ II (Новочеркасскъ. 1909 г., т. II, § 3 (стр. 19) и т. III, § 7 (стр. 75).

Въ свою очередь способы эти различаются по способу дѣйствія вдавливающей силы, именно:

- 1) способы со статическимъ дѣйствіемъ вдавливающей силы и
- 2) способы съ динамическимъ (ударнымъ) дѣйствіемъ силы.

II. Способы, основанные на черченіи, царапаніи одного тѣла другимъ при перемѣщеніи этого тѣла по поверхности перваго.

Такого рода царапаніе производятъ двоякимъ образомъ:

- 1) царапаютъ поверхность испытываемаго тѣла послѣдовательно различными тѣлами и
- 2) царапаютъ поверхность всегда однимъ и тѣмъ же тѣломъ.

При производствѣ опытовъ по способамъ, относящимся къ I-й группѣ возможно:

а) производить опредѣленное постоянное давленіе или ударъ съ цѣлью вдавливанія одного тѣла въ другое, испытываемое и, измѣряя величину (діаметръ или глубину) получаемаго слѣда (пятна), классифицировать тѣла по твердости въ зависимости отъ величины этихъ слѣдовъ, или

б) стремиться получить всегда одну и ту же величину пятна или слѣда, оставшагося на испытываемомъ тѣлѣ, и классифицировать тѣла по твердости въ зависимости отъ силы, потребной для полученія такого опредѣленнаго слѣда.

Что касается производства опытовъ по способамъ, относящимся къ II-й группѣ, то здѣсь возможно либо

а) сравнивать испытываемое тѣло съ цѣлымъ рядомъ другихъ тѣлъ, опредѣленной твердости, либо

б) царапая, испытываемое тѣло другимъ, имѣющимъ опредѣленную твердость отмѣчать для классификаціи тѣлъ по твердости, или

1. давленіе, которое необходимо затратить, чтобы сдѣлать черту опредѣленной длины, или

2. количество матеріала, которое отдѣляется отъ тѣла при проведеніи опредѣленной черты при опредѣленномъ давленіи, или

3. давленіе, при которомъ возможно сдѣлать черту опредѣленной ширины, или

4. ширину черты, получаемой при опредѣленномъ давленіи.

Не перечисляя всѣхъ способовъ, построенныхъ на выше указанныхъ основаніяхъ, тѣмъ болѣе, что многіе изъ нихъ имѣютъ теперь историческое значеніе, мы остановимся подробнѣе лишь на способахъ, детально изученныхъ въ Механической Лабораторіи Института Инженеровъ Путей Сообщенія въ Спб., во время изслѣдованія въ 1900—1905 гг. рельсовой стали по порученію бывшей Рельсовой Комиссіи при Инженерномъ Совѣтѣ М. П. С.

### Испытаніе твердости керномъ.

Опредѣленіе твердости керномъ, являющееся самымъ старымъ способомъ, состоитъ въ томъ, что погружается въ испытываемое тѣло кернъ, т. е.

стальной, хорошо закаленный, конус. Погружение производится до определенной глубины, напр. 3 или 6 мм., и показателем твердости считается грузъ въ клгр., производящій данное погруженіе. Керны готовятъ съ разными углами заостренія отъ  $60^\circ$  до  $90^\circ$ .

Рядомъ опытовъ установлено, что наиболѣе удобными являются керны съ углами въ  $90^\circ$ .

Въ Россіи этотъ способъ былъ введенъ инж. Кубасовымъ.

Приборъ Кубасова состоитъ изъ стальной гайки *A* раздѣленной по окружности на 200 частей. Въ этой гайкѣ двигается винтъ, въ который вставленъ кернъ. Винтъ имѣетъ кромѣ того стрѣлку *i*, которая указываетъ на соответствующее дѣленіе наружнаго цилиндра. Ходъ винта = 2 мм., поэтому одно дѣленіе наружнаго цилиндра равняется 0,01 мм. На рис. 23 представлень разрѣзъ (*a*) и боковой видъ (*b*) этого цилиндра.

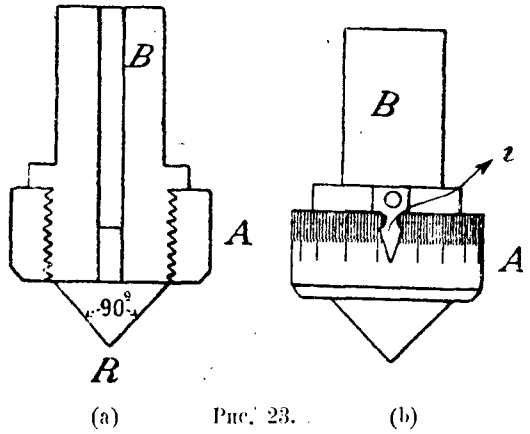


Рис. 23. (a) (b)

Для опыта необходимо установить винтъ *B* такъ, чтобы кернъ *R* выдавался на определенную величину изъ гайки *A*, что достигалось вращеніемъ винта *B*. Приборъ устанавливается на испытуемое тѣло и подъ прессомъ вдавливается до соприкосновенія нижней плоскости гайки съ испытуемымъ тѣломъ. Соответствующій грузъ считается показателемъ твердости.

Недочеты этого способа и прибора слѣдующіе: 1) Уголъ заостренія имѣетъ громадное вліяніе на показанія, а готовить уголъ точно весьма трудно. 2) Остріе тупится, что опять имѣетъ вліяніе на показанія. 3) Керны весьма часто лопаются при опытахъ, почему ихъ приходится замѣнять другими, а это ставитъ испытаніе въ различныя условія (результаты испытанія не сравнимые) такъ какъ разные керны могутъ имѣть и разныя свойства и 4) приборъ имѣетъ небольшую точность. По этимъ причинамъ диаметры отверстій, полученныхъ при одинаковыхъ погруженіяхъ сильно отличаются другъ отъ друга, а слѣдовательно, и глубина погруженія не одинакова.

Въ позднѣйшее время (1907 г.) способъ опредѣленія твердости керномъ снова получилъ примѣненіе въ нѣсколько измѣненномъ, усовершенствованномъ видѣ (способъ Людвига) и въ настоящее время детально изучается въ лабораторіяхъ (см. ниже стр. 43).

### Опредѣленіе твердости склерометрами (способъ Мартенса).

Склерометръ Мартенса принадлежитъ къ типу приборовъ, опредѣляющихъ твердость тѣла погруженіемъ въ него другого остраго тѣла, болѣе твердаго, чѣмъ опредѣляемое, и проведеніемъ черты на испытуемомъ тѣлѣ.



Конструкция его нижеслѣдующая. На одномъ плечѣ рычага *П* (рис. 24), опирающагося призмами *n* на опору, помѣщенъ алмазь *A* конической формы. Къ тому же плечу подвѣшенъ грузъ *B*, который и вдавливаютъ алмазь въ подставляемое тѣло, прикрѣпляемое воскомъ къ столу *T*. Перемѣщеніе, необходимое для проведенія черты на испытуемомъ тѣлѣ, производится

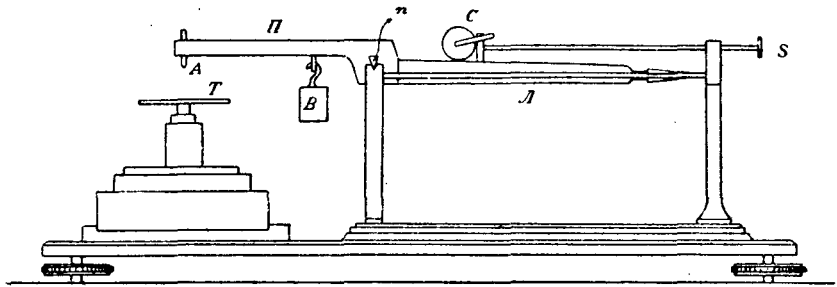


Рис. 24.

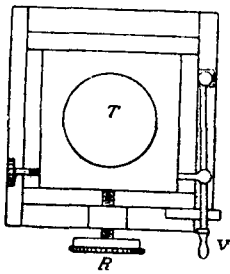


Рис. 25.

передвиженіемъ стола *T* при помощи рукоятки *V* (рис. 25). На другомъ концѣ рычага *Л* передвигается противовѣсъ *C* помощью рукоятки *s*. Передвигая противовѣсъ, мы можемъ измѣнять нагрузку на алмазь *A* отъ 0 до 50 граммовъ. На плечѣ *Л* нанесены дѣленія, указывающія положенія груза *C*, соответствующія нагрузкамъ на алмазь *A*.

Испытуемое тѣло необходимо должно быть хорошо отшлифовано, какъ для микрофотографіи. При испытаніи укрѣпляютъ тѣло воскомъ къ столу и устанавливаютъ горизонтально. Ставятъ противовѣсъ на соответствующее дѣленіе и опускаютъ алмазь *A* на тѣло и, вращая рукоятку *V*, проводятъ черту. Микрометричный винтъ *R* позволяетъ столу *T* перемѣщаться перпендикулярно къ направленію чертъ. Перемѣщая имъ столъ—можно провести нѣсколько чертъ подрядъ. Цѣль этого та, что: 1) алмазь можетъ быть не строго кониченъ, по этому получаютъ разныя данныя, проводя справа на-лѣво и обратно; поэтому берется среднее показаніе изъ 2 чертъ, проведенныхъ въ ту и другую сторону; 2) при изслѣдованіи профиля по всему сѣченію, не приходится переставлять тѣло на столъ въ направленіи перпендикулярномъ къ направленію черты. Винтъ *R* имѣетъ головку съ дѣленіями, такъ что можно проводить черточки на опредѣленномъ разстояніи другъ отъ друга. Когда произведенъ опытъ, т. е. проведены черты алмазомъ подъ опредѣленной нагрузкой, измѣряютъ ширину ихъ подъ микроскопомъ съ точностью до 0,001 мм. и по сравнительной ширинѣ черты уже судятъ о твердости. Края черточекъ получаютъ весьма бахромистыми, такъ что взять точно ширину очень трудно. Ширина бахромокъ на обоихъ краяхъ черты достигаетъ 25% общей ширины черты. Между тѣмъ разница между

твердую и мягкую сталью обыкновенно не болѣе этой же величины. Алмазь рѣдко имѣетъ въ сѣченіи кругъ—поэтому черта, разсматриваемая въ микроскопъ, имѣетъ весьма неправильную форму.

### Испытаніе твердости по способу Кирша.

Способъ Кирша принадлежитъ къ числу наиболѣе точныхъ въ отношеніи опредѣленія деформации испытываемаго тѣла, но въ тоже время и наиболѣе неудачныхъ по своей громоздкости и сложности испытанія. Въ испытываемое тѣло вдавливается до опредѣленной глубины цилиндрическое тѣло, имѣющее опредѣленную площадь, изъ хорошей и сильно закаленной стали.

Деформации наблюдаются при помощи зеркальнаго прибора Мартенса.

Устройство заключается въ слѣдующемъ: цилиндръ *A* (рис. 26), длиною около 20 см., оканчивается стержнемъ *R* тоже цилиндрической формы, который и вдавливается въ испытываемое тѣло. Цилиндръ имѣетъ діаметръ 2 см. На опредѣленной высотѣ его проведена черта, которая служитъ гнѣздомъ для ромбоидальныхъ призмочекъ *s* зеркальнаго прибора. Испытываемое тѣло вырѣзается въ видѣ цилиндра  $d=2$  см. и высоту 3 см. На немъ тоже прочерчивается черта, служащая гнѣздомъ для нижней призмы. Приборъ устанавливается, какъ показано на чертежѣ. При сдавливаніи, зеркала *ZZ* вращаются въ разныя стороны и деформацией считается среднее показаніе изъ чтенія по двумъ зеркаламъ.

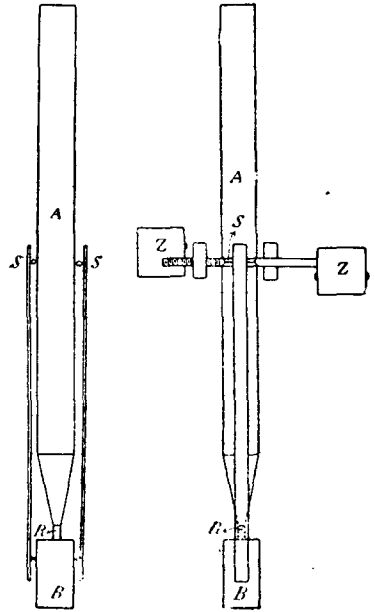


Рис. 26.

Зеркальный приборъ устроенъ совершенно одинаково съ тѣмъ приборомъ, который употребляется для наблюденія упругихъ свойствъ металла при растяженіи.

Недостатки этого способа заключаются въ его громоздкости, какъ было сказано выше, и не практичности. Образецъ необходимо готовить очень точно, установка прибора весьма трудна. Кромки вдавливаемаго тѣла играютъ важную роль, а при многочисленныхъ испытаніяхъ онѣ могутъ затупиться и поэтому вліять на самыя деформации и слѣдовательно данныя будутъ уже несравнимыя.

Показателемъ твердости считается грузъ, производящій углубленіе въ 0,1 мм.

### Испытаніе твердости по способу Феппля.

При опредѣленіи твердости по способу Феппля вдавливаемое и испытываемое тѣла вырѣзаются изъ испытываемаго матеріала. Испытаніе состоитъ

въ томъ, что два цилиндра опредѣленнаго діаметра накладываются другъ на друга такъ, что оси ихъ взаимно перпендикулярны, и сдавливаются опредѣленнымъ грузомъ. На цилиндрахъ получаются пятна, которыя и измѣряются; грузъ, произведшій давленіе, дѣлится на площадь пятна, слѣдовательно, числа твердости получаются въ килогр. на кв. мм.

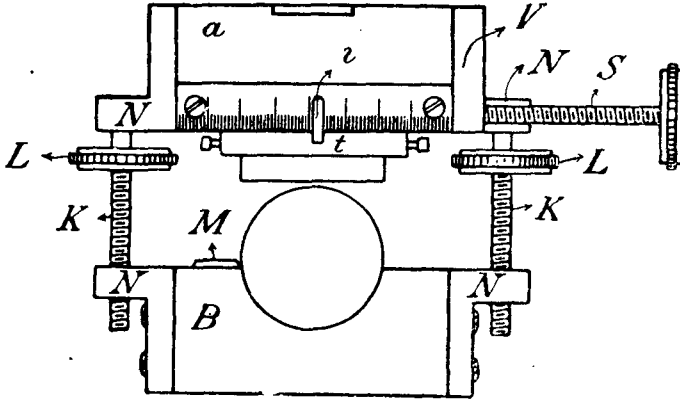


Рис. 27.

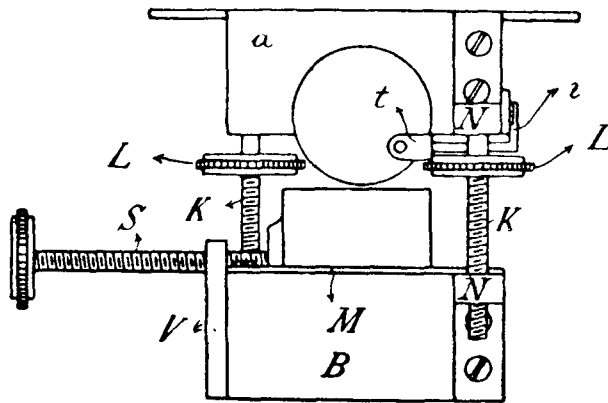


Рис. 28.

*M* (рис. 29) съ нанесенными на нихъ дѣленіями. Положеніе брусковъ въ пластинкахъ *a* и *B* и опредѣляется соответствующими дѣленіями линейки *M*, между которыми лежатъ бруски. На нижней пластинкѣ положеніе замѣчается непосредственно, а къ верхнему бруску для удобства прикрѣпляется пластинка *t* съ индексомъ *i*. Послѣ образованія перваго пятна бруски передвигаютъ винтами *S* на опредѣленное число дѣленій для образованія слѣдующаго пятна въ новомъ мѣстѣ.

Для взаимнаго центрированія пластинъ служатъ два стержня *K*, устанавливаемые по діагоналямъ пластинъ, какъ показано на чертежѣ. Къ

Самый приборъ (рис. 27 и 28) состоитъ изъ двухъ пластинъ *a* и *B*, въ которыхъ вырѣзаны соответствующія цилиндрическія гнѣзда для брусковъ. Гнѣздо въ верхней пластинкѣ *a* сдѣлано нѣсколько болѣе глубокимъ, чѣмъ радіусъ испытуемыхъ цилиндровъ, чѣмъ и достигается возможность пере-

вертывать весь приборъ, удерживая въ немъ брусокъ отъ выпаденія. Самые бруски вдвигаются съ боку; съ противоположной стороны пластины прикрѣплены планки *V*, въ которыя вставлены винты *S*, которыми можно переставлять бруски одинъ относительно другого, не вынимая всего прибора изъ прессы и не снимая одной пластины съ другой. Къ пластинкамъ *a* и *B* прикрѣплены линейки

пластинъ *B* привинчены соответствующія уши *N* съ винтовыми нарѣзками для стержней; у пластины *a* аналогичные уши вмѣсто винтовой нарѣзки имѣютъ гнѣзда, которыми она и покоится на стержняхъ *K*. Стержни *K* имѣютъ головки *L*, которыми можно раздвигать или сдвигать пластины *a* и *B*. При опытѣ пластины *a* и *B* сдвигаются настолько, что испытуемые цилиндры соприкасаются между собою, когда же необходимо передвинуть цилиндры на новыя мѣста, верхнюю пластинку поднимаютъ стержнями *K* выше точки соприкосновенія цилиндровъ.

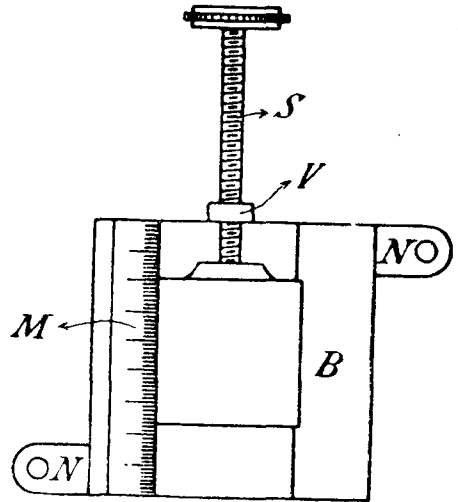


Рис. 29.

Диаметръ испытуемыхъ цилиндровъ имѣетъ кардинальное значеніе.

Цилиндры разныхъ діаметровъ дадутъ и разныя пятна при однихъ и тѣхъ же нагрузкахъ, а слѣдовательно и разныя числа твердости, а потому при опытахъ необходимо придерживаться строго одного и того же діаметра. Приборъ Мех. Лаб. И. И. П. С. былъ сконструированъ для  $d=5$  сант.

Опытъ состоитъ въ слѣдующемъ: цилиндръ  $d=5$  см. и длиною 8—15 см., приготовленный изъ испытываемаго тѣла, разрѣзываютъ пополамъ. Одинъ изъ отрѣзковъ покрывается тонкимъ слоемъ сажи. Вложивъ оба цилиндра въ приборъ и надѣвъ на нижнюю пластинку верхнюю вставляютъ приборъ въ прессъ и сдавливаютъ. На закопченномъ цилиндрѣ въ мѣстѣ соприкосновенія снимается сажа, а на другомъ получается черное пятно. Пятна, хотя и не имѣютъ плоской и круглой формы, но весьма близки къ ней и могутъ быть приняты за площади круговъ, поэтому измѣривъ ихъ діаметръ, опредѣляютъ площадь и на нее дѣляютъ соответствующій грузъ.

Неудобство этого метода заключается въ томъ, что изслѣдовать твердость можно только у образцовъ достаточно большихъ, такъ какъ благодаря значительности размѣровъ цилиндра его нельзя приготовить напр. изъ тонкаго листа \*).

### Методъ Бринеля («шариковая проба»).

Изъ всѣхъ методовъ, предложенныхъ для опредѣленія твердости и изученныхъ въ лабораторіяхъ, въ настоящее время пользуются исключительно способомъ, предложеннымъ шведскимъ инженеромъ Бринелемъ. Всѣ

\*) Нужно замѣтить, что при выбранномъ діаметрѣ цилиндровъ числа твердости, по опытамъ автора при изслѣдованіи рельсовъ получались весьма близкими къ бринелевскимъ при діаметрѣ шарика въ 10 мм. Число твердости по Фенюлю всегда больше числа твердости по Бринелю. У твердыхъ металловъ разница не превосходитъ 1—3% и возрастаетъ съ уменьшеніемъ твердости металла. (См. часть II. Приложение VII въ сравненіи съ приложеніемъ X).

остальные методы, по способу производства ихъ, оказываются значительно болѣе затруднительными. Кромѣ того, въ зависимости отъ разныхъ случайныхъ обстоятельствъ другіе способы даютъ крайне неудовлетворительные результаты, и сужденіе о твердости по даннымъ, полученнымъ изъ опытовъ, часто весьма затруднительно. Исключеніе составляетъ одинъ изъ методовъ, именно, предложенный проф. Фепплемъ, который всегда даетъ очень хорошіе результаты и притомъ близкіе съ данными Бринеля, но требуетъ приготовленія специальныхъ образцовъ, цилиндровъ опредѣленнаго діаметра, что крайне неудобно и иногда даже затруднительно. Способъ же Бринеля даетъ широкую возможность изучить твердость матеріала даже въ издѣліяхъ, хотя и имѣетъ тотъ недостатокъ, что пятна приходится дѣлать въ извѣстномъ разстояніи отъ краевъ, почему при изслѣдованіи матеріала въ плоскости поперечнаго сѣченія, не удастся опредѣлить твердость въ мѣстахъ, лежащихъ у самой поверхности издѣлія, а слѣдовательно и наиболѣе закаленныхъ.

Самый способъ состоитъ въ томъ, что шарикъ опредѣленнаго діаметра изъ хорошей закаленной стали вдавливается опредѣленнымъ грузомъ въ испытуемое тѣло. По діаметру пятна, полученнаго послѣ опыта, опредѣляютъ поверхность сегмента, на которую и дѣляютъ грузъ, выраженный въ килограммахъ, произведшій данное пятно. Полученное число и есть показатель твердости. Число это выражается въ клгр. на кв. мм.<sup>2</sup>, что является весьма удобнымъ.

Простѣйшій приборъ для производства опыта состоитъ въ слѣдующемъ: шарикъ, діаметръ котораго точно опредѣленъ, вставляется въ лунку желѣзной пластинки. Пластика берется толщиной около 25 мм. и діаметромъ (если она круглая) или въ сторонѣ квадрата около 65 мм. Лунка вытачивается въ центрѣ, діаметромъ равнымъ діаметру шарика. Сверху привинчивается другая пластинка, имѣющая цѣлью удержать шарикъ отъ выпаденія изъ лунки, когда приборъ перевернуть. Эта пластинка имѣетъ отверстіе, діаметромъ меньшимъ чѣмъ діаметръ шарика, со скошеннымъ краемъ, которымъ она соприкасается съ шарикомъ (рис. 30).

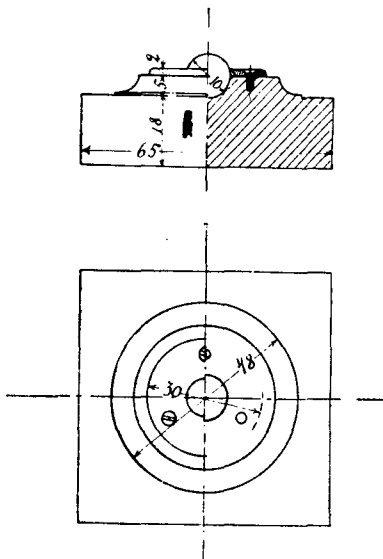


Рис. 30.

Испытуемый брусокъ долженъ быть хотя немного отшлифованъ, иначе края пятна будутъ крайне неровными, что сильно затрудняетъ опредѣленіе діаметра.

Приборъ и брусокъ закладываютъ въ прессъ какой угодно испытательной машины, гдѣ и производится опредѣленное давленіе. Для каждого діаметра шарика существуютъ опредѣленные предѣлы давленія, когда наблюдается

пропорциональность между давлением и поверхностями сегментовъ. Эти предѣлы обыкновенно нужно установить опытнымъ путемъ \*).

### Способъ Людвика (усовершенствованная проба конусомъ-керномъ).

Стремясь упростить способъ Бринеля, австрійскій инженеръ Людвикъ снова примѣнилъ старый способъ опредѣленія твердости керномъ, видоизмѣнивши лишь его сообразно съ данными способа Бринеля. Именно, заимствуя цѣликомъ у Бринеля идею его способа, Людвикъ замѣнилъ только шарикъ стальнымъ закаленнымъ конусомъ съ угломъ у вершины равнымъ 90 (рис. 31).

Обозначая черезъ  $P$  давление въ килограммахъ,  $d$ —діаметръ въ миллиметрахъ конической лунки на уровнѣ поверхности испытываемаго тѣла и  $t$ —глубину вдавливанія керна отъ поверхности тѣла въ миллиметрахъ же, Людвикъ опредѣляетъ твердость по формулѣ

$$P = \frac{\pi d^2}{4} \sqrt{2}$$

т. е. такъ же, какъ и Бринель выражаетъ ее въ килограммахъ на кв. миллиметръ, дѣля грузъ на площадь поверхности конической лунки.

Такъ какъ однако измѣреніе глубины вдавливанія легче измѣренія діаметра лунки на уровнѣ поверхности испытываемаго тѣла, и такъ какъ при конической прямоугольной формѣ керна эти величины находятся въ простомъ соотношеніи ( $d=2t$ ), то Людвикъ рекомендуетъ при опытахъ измѣрять глубину вдавливанія. Принимая при этомъ во вниманіе, что поверхность конической лунки равна

$$f = \frac{\pi d^2}{4} \sqrt{2} = 1,11d^2 = 4,44t^2$$

Людвикъ даетъ для числа твердости формулу

$$P = 4,44t^2$$

Въ этомъ и заключается простота и удобство способа Людвика, такъ какъ глубину углубленія керна можно легко опредѣлить во время самого опыта, и слѣдовательно можно вычислить твердость испытываемаго тѣла въ любой моментъ производства испытанія не прекращая давленія.

Сообразъ этотъ, конечно, не свободенъ отъ недостатковъ, присущихъ всѣмъ способамъ опредѣленія твердости керномъ, указаннымъ выше (стр. 37) и въ настоящее время пока не имѣетъ широкаго примѣненія и изучается въ связи съ методомъ Бринеля.

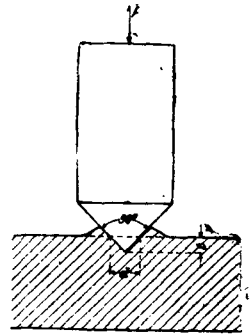


Рис. 31.

\*) Дальнѣйшія подробности о производствѣ испытанія твердости по способу Бринеля даны въ слѣдующемъ параграфѣ.

## Способъ Шора (опредѣленіе твердости склероскопомъ или ребондиметромъ).

Въ самое послѣднее время Shore и Hecould изобрѣли для опредѣленія твердости приборъ, названный ими склероскопомъ или ребондиметромъ.

Этотъ способъ заключается въ слѣдующемъ: стальной закаленный шарикъ бросаютъ съ опредѣленной высоты и замѣчаютъ на какую высоту подпрыгнетъ шарикъ, ударившись объ испытываемое тѣло. Въ основу этого способа положена та идея, что стальной шарикъ подскочетъ тѣмъ выше, чѣмъ тверже испытываемая поверхность металла. Этотъ способъ такъ же какъ и способъ Людвика, ввиду его новизны, не имѣетъ еще широкаго примѣненія и находится въ періодѣ изученія, хотя уже теперь можно сказать, что ребондиметръ скорѣе является приборомъ для опредѣленія однородности, чѣмъ твердости металловъ \*).

## § 2. Производство испытанія твердости металловъ по способу Бринеля.

*Нѣкоторыя подробности о методѣ Бринеля.*

Ввиду того, что въ настоящее время способъ Бринеля, наиболѣе изученный, получилъ широкое примѣненіе на практикѣ, опишемъ его подробнѣе.

Выше указано, что результатъ опыта зависитъ отъ діаметра шарика, а потому теперь въ соотвѣтствіи съ указаніями Бринеля и результатами опытовъ принять за «нормальный» шарикъ, имѣющій діаметръ въ 10 миллиметровъ. Что касается испытываемыхъ образцовъ, то толщина ихъ берется равной 10 миллиметрамъ, ширина же не менѣе 35 миллиметровъ. При этомъ нужно замѣтить, что по даннымъ опытовъ при указанной ширинѣ образца, число твердости почти не мѣняется при испытаніи образцовъ и меньшей толщины, а именно, въ 5 миллим. и даже въ 2,5 миллим. (при не большихъ давленіяхъ); напротивъ, при меньшей ширинѣ образца (напр. 17 миллим.) происходитъ выпучиваніе матеріала и число твердости получается не соотвѣтствующимъ дѣйствительности (меньше нормального).

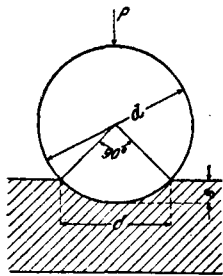


Рис. 32.

Такъ какъ глубина вдавливанія зависитъ не только отъ діаметра, но и отъ величины давящей силы, то необходимо установить извѣстные предѣлы для нея. За такой для силы считается то давленіе  $P$ , при которомъ центральный уголъ, соотвѣтствующій сегменту пятна не превосходитъ 90 (см. рис. 32). Въ зависимости отъ этого величина силы вдавливанія для разныхъ матеріаловъ опредѣляется въ 5000,

\*) Описаніе ребондиметра см. часть II. Приложение VIII.

3000, 1000, 500 и 200 килогр.; въ частности для желѣза, стали, принято въ качествѣ нормальнаго давленіе силы въ 3000 килогр. \*) для мягкихъ же металловъ (мѣдь, ея сплавы и т. п.) въ 500 килогр. Время, въ теченіе котораго должна дѣйствовать сила, обыкновенно при испытаніи желѣза принимается равнымъ  $\frac{1}{4}$  минуты, а при болѣе твердыхъ металлахъ увеличивается до  $\frac{1}{2}$  минуты.

Нужно еще замѣтить, что съ цѣлью возможно широкаго примѣненія метода Бринеля на практикѣ, пытались связать число твердости съ временнымъ сопротивленіемъ разрыву, чтобы такимъ образомъ замѣнить при текущихъ ходовыхъ испытаніяхъ дорогіе опыты на разрывъ дешевой и удобной пробой на твердость. Рядомъ опытовъ Бринель и Дильнеръ установили пропорціональность между двумя указанными выше величинами. Величина этого коэффиціента пропорціональности различна для различныхъ матеріаловъ. Такъ для шведской стали Дильнеръ опытнымъ путемъ установилъ такіа величины коэффиціентовъ.

	Испытаніе	
	перпендикулярно направленію прокатки.	параллельно
При твердости ниже 175 . . . .	0,362	0,354
» » выше 175 . . . .	0,354	0,324

Умножая число твердости на соответственный коэффиціентъ, Дильнеръ и Бринель получали приблизительно величину сопротивленія разрыву, при чемъ по ихъ опытамъ погрѣшность не превышала 6% . Чагару для французской стали установилъ для коэффиціентовъ значенія 0,351 и 0,336 для случая, когда направленіе давящей силы параллельно направленію прокатки. Попытка установить такіе коэффиціенты для русскихъ матеріаловъ не увѣнчалась успѣхомъ. При изученіи рельсовой стали по порученію Рельсовой Комиссіи было произведено свыше 3000 опытовъ, и результаты ихъ показали, что величина коэффиціента въ зависимости отъ разныхъ причинъ можетъ мѣняться въ гораздо болѣе широкихъ предѣлахъ, а именно, отъ 0,250 до 0,500. Это дало поводъ сомнѣваться въ возможности вычислять по числу твердости временное сопротивленіе разрыву съ достаточной для практики точностью, а вмѣстѣ съ этимъ нѣсколько уменьшило то значеніе испытанія на твердость, какое стремились придать ему, въ надеждѣ замѣнить имъ испытаніе на разрывъ.

Въ самомъ дѣлѣ, если бы путемъ опытовъ удалось установить точную величину этого отношенія для каждаго матеріала въ зависимости отъ его физическихъ, химическихъ и механическихъ свойствъ, можно было бы замѣнить дорогія испытанія на разрывъ очень простымъ и дешевымъ испытаніемъ на твердость.

\*) По даннымъ Рельсовой Комиссіи для рельсовой стали получаютъ сравнимые результаты при давленіи отъ 1,5 до 3 тоннъ.



*Приборы для производства Бринелевской шариковой пробы металлов на твердость.*

Простейшее приспособление для производства опытовъ на твердость по способу Бринеля описано уже выше въ § 1 стр. 42; болѣе совершеннымъ и въ то же время весьма практичнымъ является такъ называемый «Шариковый прессъ», построенный фирмой Mohr & Federhaff въ Мангеймѣ и изображенный въ общемъ видѣ на рис. 33. Детали конструкции этого

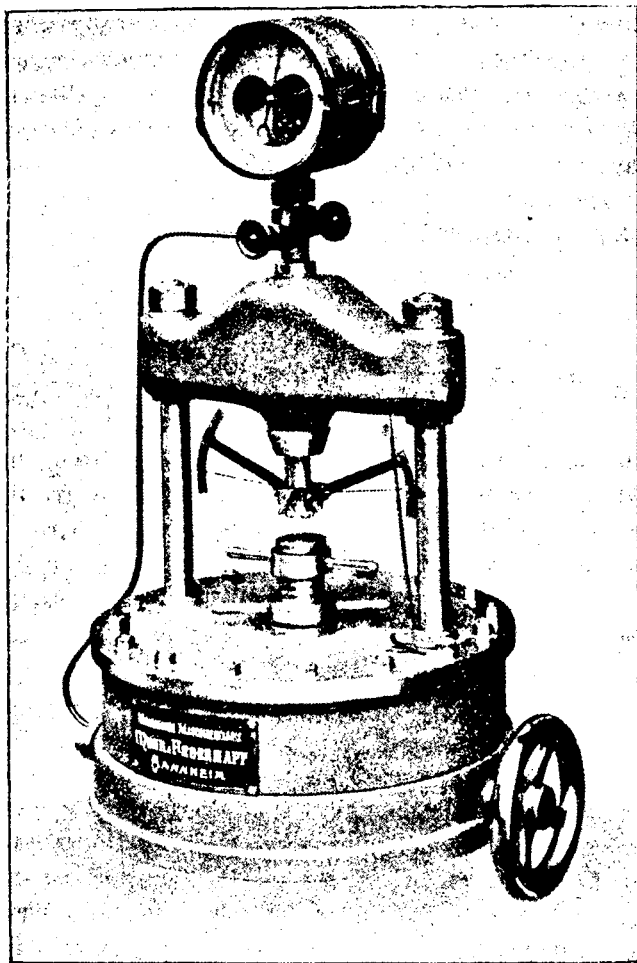


Рис. 33.

при этомъ по манометру 6, который помощью трубки 20 соединенъ съ

контръ-гайки 13, вращая колесо 14, вдвигаютъ поршень 15 въ цилиндръ 16. Масло, находящееся въ немъ, при этомъ перегоняется черезъ отверстие 17 въ пространство 18 измѣрительной чашки. При этомъ поршень 19, лежащій на резиновой мембранѣ, поднимается вверхъ вмѣстѣ съ винтомъ 7, и образецъ прижимается къ шарикю 12. Величину давленія опредѣляютъ при этомъ по манометру 6, который помощью трубки 20 соединенъ съ

пресса таковы (рис. 34). Въ станинѣ машины 1 находится возбуждатель силы—гидравлическій прессъ 2, равно какъ и измѣритель силы. На неподвижной части машины 5, укрѣпленной на колоннахъ 3 и 4, находится манометръ 6 и измѣритель глубины вдавливанія по Мартенсу (см. рис. 33). При опытѣ испытываемый образецъ кладутъ на недвижимую (съ нижней шаровой поверхностью) подставку 8, опирающуюся на стержень винта 7. Вывинчивая съ помощью рукоятку 9 и 10 винтъ вверхъ, приводятъ испытываемый образецъ въ соприкосновеніи съ шарикомъ 12, укрѣпленнымъ въ стержнѣ 11. Закрѣпивъ затѣмъ винтъ съ помощью

цилиндромъ 16, а значить благодаря отверстию 17 и съ цилиндромъ 18 измѣрительной чашки. Для измѣренія глубины вдавливанія по методу Мартенса на стержень 11 укрѣпляется специальный приборъ (см. рис. 33), дающій возможность измѣрять глубину вдавливанія въ любой моментъ въ продолженіи всего опыта.

Весьма удобенъ также приборъ фабрики «Альфа», описанный въ приложеніяхъ \*).

Общій ходъ производства опыта.

Приступая къ опыту необходимо сначала знать точно діаметръ шарика въ миллиметрахъ. Заложивъ его надлежащимъ образомъ въ приборъ (рис. 30), устанавливаютъ его на нижней

доскѣ любого пресса, предназначеннаго для опытовъ на сжатіе. Приложивъ къ шарикѣ испытываемый образецъ, осторожно прижимаютъ винтомъ верхнюю доску пресса и производятъ опредѣленное давленіе. Можно поступать и обратно, т. е. класть на нижнюю доску образецъ, а сверху шарикъ. Давленія на образецъ нужно производить въ нѣсколькихъ мѣстахъ, отстоящихъ подальше отъ края и одно отъ другого.

Получивши такимъ образомъ четыре пятна на поверхности образца, измѣряютъ діаметры этихъ пятенъ.

По величинамъ этихъ діаметровъ, зная радіусъ шарика, вычисляютъ площади соотвѣтственныхъ шаровыхъ сегментовъ (лунокъ), и дѣля грузъ въ килограммахъ на площадь въ кв. мм., получаютъ число твердости. Изъ четырехъ опредѣленій берутъ среднее \*\*).

Что касается опредѣленія діаметра пятна, то для этого пользуются приборомъ Лешателье, состоящимъ изъ стеклянной прозрачной линейки, на которой начерчены двѣ сходящіяся подъ угломъ линіи. Одна изъ линій

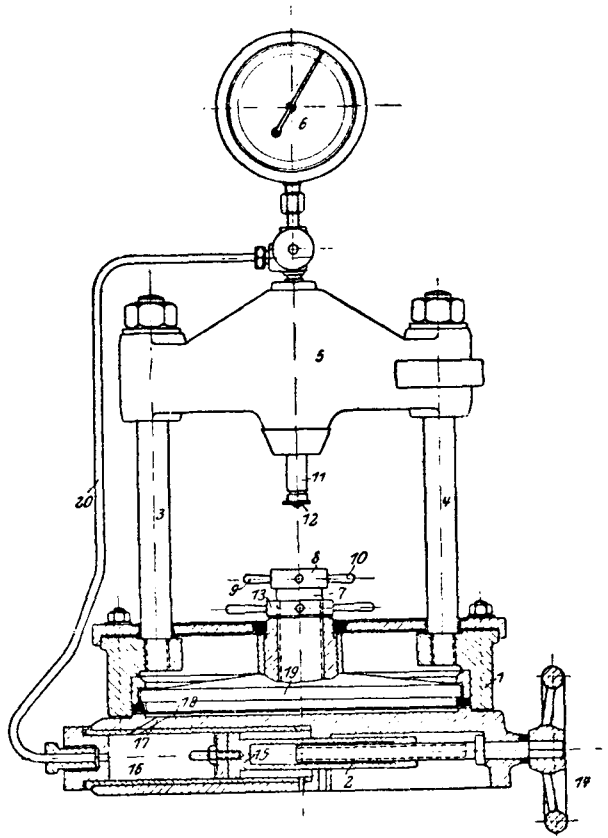


Рис. 31.

\*) См. часть II, приложение IX.

\*\*\*) Таблицы чиселъ твердости см. часть II, приложение X.

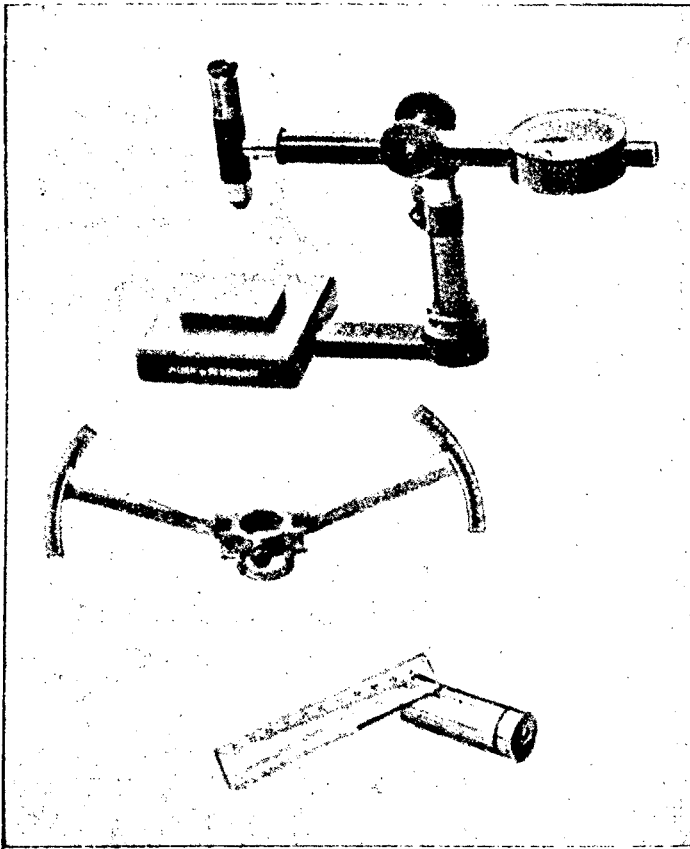


Рис. 35.

имѣть дѣленія. Цифры, поставленныя у этихъ дѣленій, указываютъ въ миллиметрахъ разстояніе въ данномъ мѣстѣ между этими сходящимися линиями (см. рисунокъ 35).

Положивъ линейчку на образецъ и двигая ее по нему, стараются достигнуть того, чтобы какое-либо пятно касалось своими краями обѣихъ линій одновременно. Дѣлая отсчетъ по дѣленіямъ въ точкѣ касанія пятна къ линіи,

опредѣляютъ такимъ образомъ діаметръ пятна съ точностью до  $\frac{1}{2}$  дѣленія, что соотвѣтствуетъ точности до 5 сотыхъ миллиметра. Эта точность оказывается вполне достаточной для практики.

Для болѣе точнаго измѣренія пользуются микроскопомъ специальной конструкции (см. рис. 35) дающимъ возможность измѣрить діаметръ при посредствѣ масштаба съ нониусомъ съ точностью до 0,01 миллим.

Еще болѣе точно можно измѣрить діаметръ съ помощью компаратора Цейса.

Второй способъ опредѣленія поверхности лунки производится измѣреніемъ ея глубины помощью *измѣрителя глубины системы профессора Мартенса* (см. рис. 33 и 35); системой роликовъ и рычаговъ съ передачей 1:50 глубина лунки опредѣляется въ большомъ масштабѣ. Этотъ приборъ рекомендуется для лабораторныхъ работъ, въ особенности въ тѣхъ случаяхъ, если желательно при одномъ и томъ же испытаніи получить рядъ лунокъ при различныхъ нагрузкахъ, вслѣдствіе чего получается возможность представить результаты въ формѣ диаграммы.

## ГЛАВА V.

### Испытаніе металловъ на сгибаніе при статистическомъ дѣйствіи силъ.

#### § 1. Общія замѣчанія и описаніе приборовъ, служащихъ для производства опытовъ.

Въ «Введеніи въ курсъ испытанія матеріаловъ» \*) приведены общія указанія объ испытаніи на сгибаніе, а потому здѣсь напомнимъ лишь, что опыты эти, какъ спеціальныя пробы металловъ, примѣняются очень рѣдко, и главнымъ образомъ, для испытанія чугуна, желѣзнодорожныхъ рельсовъ, балокъ и т. п. Вообще же испытаніе на сгибаніе производятъ исключительно съ научной цѣлью, при чемъ въ этомъ случаѣ обыкновенно опыты на изгибъ металлическихъ образцовъ заключаются въ опредѣленіи наибольшаго упругаго прогиба и вычисленіи на основаніи его величины модуля упругости при сгибаніи.

*Прессъ Амслера.* Для производства опытовъ на сгибаніе часто пользуются прессомъ Амслера силою въ 2½ тонны, предназначеннымъ для опредѣленія сопротивленія перелому металлическихъ брусковъ, дерева, гончарныхъ, цементныхъ плитъ и т. п., а также для раздробленія тѣлъ съ малымъ сопротивленіемъ сжатію.

Прессъ этотъ гидравлическій и устройство его одинаково по идеѣ съ конструкціей всѣхъ другихъ машинъ Амслера (рис. 36).

На поршнѣ машины насажена небольшая балка съ подставками для опорныхъ призмъ.

Подставки для опорныхъ призмъ можно передвигать и закрѣплять на балкѣ машины. Опорныя призмы устроены подвижными, такъ что можно измѣнять пролетъ въ зависимости отъ длины испытываемаго образца. Средняя призма не можетъ измѣнять своего положенія и опредѣляетъ точку приложенія изгибающей силы. Она прикрѣплена къ служащей для испытанія на сжатіе верхней

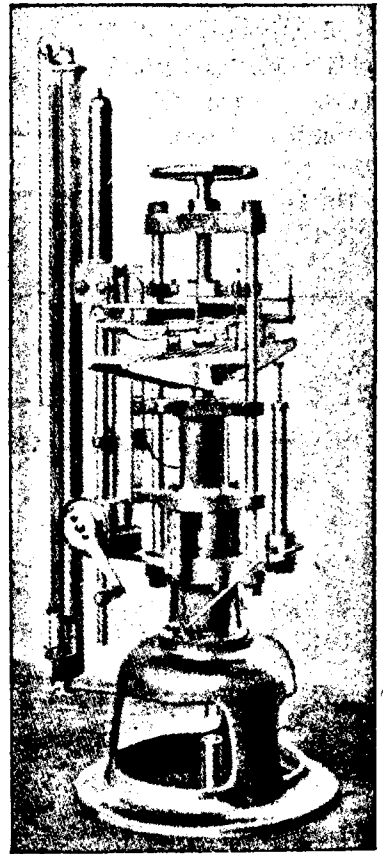


Рис. 36.

\*) См. *Н. М. Абрамовъ*. «Введеніе въ курсъ механическихъ испытаній матеріаловъ». Выпускъ II. Гл. III § 4, стр. 67.

доскѣ прессы, устанавливаемой передъ испытаніемъ на надлежащей высотѣ посредствомъ ручнаго колеса и винтоваго стержня. Средняя призма остается неподвижною во время испытанія. Балка же машины вмѣстѣ съ опорными призмами поднимается вверхъ вмѣстѣ съ поршнемъ, движущимся въ цилиндрѣ.

Давленіе на поршень производитъ масло, нагнетаемое въ цилиндръ поршневымъ насосомъ.

Насосъ приводится въ дѣйствіе рукою посредствомъ рукоятки.

Величину силы, которая поднимаетъ балку машины вверхъ, можно прочесть на придѣланномъ слѣва насоса ртутномъ манометрѣ около  $1\frac{1}{2}$  метр. высоту.

Давленіе жидкости подъ поршнемъ, служащее мѣрой силы изгибающей образецъ, дѣйствуетъ на *понижатель давленія* (систему поршней въ самомъ нижнемъ цилиндрѣ), передающій давленіе жидкости въ уменьшенной степени ртути въ манометрѣ (см. описаніе понижателя давленія въ III отд. курса «Испытаніе каменныхъ матеріаловъ»).

Давленію въ 2500 килогр. соотвѣтствуетъ высота поднятія ртутнаго столба приблизительно въ  $1\frac{1}{2}$  метра. Съ лѣвой стороны ртутнаго столба имѣется шкала для опредѣленія силы давленія въ килограммахъ на кв. сантиметръ сѣченія.

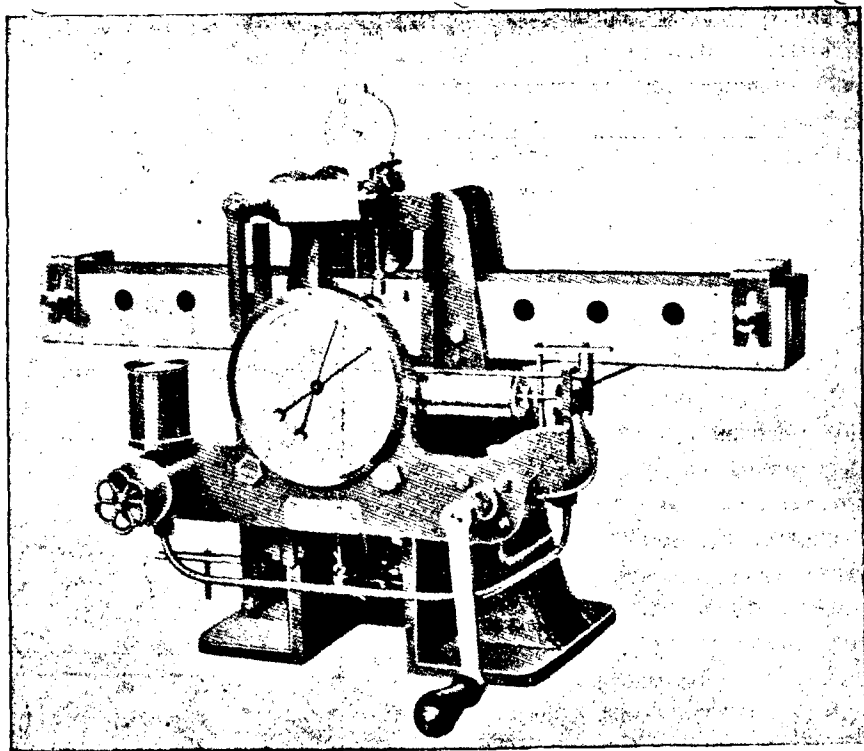


Рис. 37.

Машина снабжена диаграммнымъ аппаратомъ, дающимъ возможность опредѣлять автоматически записанную величину прогиба при соотвѣтственной нагрузкѣ.

*Спеціальнй приборъ Амслера силою въ 2 тонны для испытанія на изгибъ нормальныхъ чугунныхъ образцовъ.*

Другой весьма удобный приборъ для специальныхъ опытовъ на изгибъ изображенъ на рис. 37.

Это гидравлическй прессъ съ маятниковымъ манометромъ. На станинѣ машины 1 (рис. 38) укрѣпленъ цилиндръ 2, изъ котораго при нагнетаніи въ него масла выталкивается поршень 3. На этомъ поршнѣ покоится поперечная балка 4 съ опорами 5 для испытываемаго образца 6. При поднятій поршня 3 испытываемый образецъ прижимается въ призмѣ 7, укрѣпленной на станинѣ 1. Стрѣлки на циферблатѣ 8 указываютъ при этомъ величину прогиба образца, а на циферблатѣ 9 величину изгибающей силы, такъ какъ стрѣлка на этомъ послѣднемъ циферблатѣ приводится въ движеніе благодаря отклоненію маятниковаго манометра. Это послѣднее обусловлено тѣмъ, что давленіе въ цилиндрѣ 2 передается въ цилиндръ 10, и масло, выталкивая поршень 10, при помощи стремени 11 отклоняетъ маятникъ 12, который упираясь въ стержень 13 и передвигаетъ стрѣлку. Приборъ снабженъ автоматическимъ диаграммнымъ аппаратомъ 14.

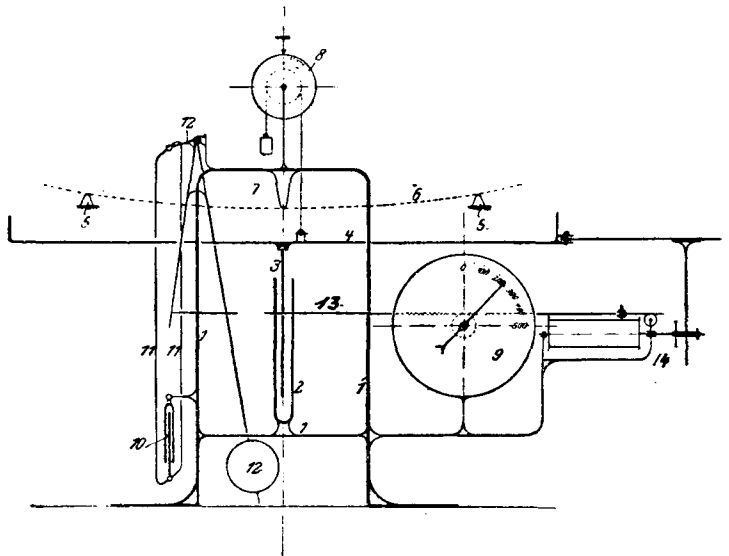


Рис. 38.

При поднятій поршня 3 испытываемый образецъ прижимается въ призмѣ 7, укрѣпленной на станинѣ 1. Стрѣлки на циферблатѣ 8 указываютъ при этомъ величину прогиба образца, а на циферблатѣ 9 величину изгибающей силы, такъ какъ стрѣлка на этомъ послѣднемъ циферблатѣ приводится въ движеніе благодаря отклоненію маятниковаго манометра. Это послѣднее обусловлено тѣмъ, что давленіе въ цилиндрѣ 2 передается въ цилиндръ 10, и масло, выталкивая поршень 10, при помощи стремени 11 отклоняетъ маятникъ 12, который упираясь въ стержень 13 и передвигаетъ стрѣлку. Приборъ снабженъ автоматическимъ диаграммнымъ аппаратомъ 14.

## § 2. Общій ходъ производства опыта и соотвѣтствующихъ ему вычисленій.

Приступая къ производству опыта, опоры устанавливають на опредѣленномъ разстояніи, симметрично относительно точки приложенія силы. На нихъ кладутъ предварительно обмѣренный испытываемый образецъ такимъ образомъ, чтобы ребра опорныхъ призмъ и давящей призмы были параллельны, послѣ чего образецъ слегка прижимаютъ къ верхней призмѣ. Устанавливають регистрирующій приборъ, проводятъ на немъ оси абсциссъ и ординатъ, а карандашъ устанавливають точно въ началѣ ихъ. Затѣмъ

медленно вращая рукоятку машины, чтобы приложить къ образцу изгибающую силу, слѣдятъ за діаграммой и за подъемомъ ртути въ манометръ или, отклоненіемъ стрѣлки на циферблатѣ. Въ моментъ перехода карандаша регистрирующаго прибора чрезъ предѣлъ пропорціональности, что выражается отклоненіемъ движенія карандаша отъ прямой, замѣчаютъ давленіе на манометръ. По величинѣ этого давленія опредѣляется подсчетомъ максимальное напряженіе нормальныхъ силъ упругости въ предположеніи изгиба бруса, свободно лежащаго на двухъ опорахъ и нагруженнаго по срединѣ сосредоточеннымъ грузомъ, а по стрѣлкѣ прогиба, измѣренной на діаграммѣ, опредѣляютъ модуль упругости  $E$ .

Для опредѣленія величинъ наибольшихъ напряженій въ крайнихъ вытянутыхъ и сжатыхъ волокнахъ пользуются формулой изгиба

$$R = \frac{Mz}{I}$$

гдѣ

$M$ —изгибающій моментъ, равный для разсматриваемаго случая, балки, лежащей на двухъ опорахъ и нагруженной грузомъ по срединѣ,

$$M = \frac{PL}{4}$$

$L$ —разсчетный пролетъ между опорами, а

$P$ —грузъ.

$z$ —разстояніе соотвѣтственнаго крайняго волокна отъ нейтральной оси. (Въ случаѣ симметричнаго сѣченія  $z$ —половинѣ высоты бруска).

$I$ —Моментъ инерціи равный при прямоугольномъ сѣченіи

$$I = \frac{ab^3}{12}$$

( $a$ —ширина,  $b$ —высота сѣченія бруска).

Для опредѣленія модуля упругости по прогибу пользуются формулой

$$f = \frac{PL^3}{48EI} \text{ или } E = \frac{PL^3}{48Jf}$$

гдѣ

$f$ —прогибъ въ миллиметрахъ,

$P$ —грузъ въ килограммахъ,

$L$ —пролетъ въ миллиметрахъ,

$I$ —моментъ инерціи въ миллиметрахъ,

$E$ —искомый модуль упругости.

При данныхъ  $P$ ,  $L$  и  $I$  точность (въ предѣлахъ допустимой погрѣшности) опредѣленія величины  $E$  зависитъ главнымъ образомъ отъ точности измѣренія  $f$ , строго соотвѣтствующаго данной величинѣ  $P$ .

Во избѣжаніе большихъ ошибокъ полезно опредѣлять  $E$  по формулѣ

$$E = \frac{(P - P') L^3}{48J (f - f')}$$

гдѣ

$P'$ —какой-либо грузъ меньшій предѣла пропорціональности, а

$f'$ —соотвѣтствующая ему стрѣла прогиба бруска.

Такъ какъ величина модуля упругости сильно зависитъ отъ степени точности опредѣленія прогиба образца, то поэтому при точныхъ научныхъ опытахъ необходимо прилагать всѣ старанія къ возможно болѣе точному наблюденію стрѣлы прогиба. Для этого, какъ указано въ «Введеніи въ курсъ испытанія матеріаловъ» въ гл. III, § 4, надо пользоваться для наблюденія не однимъ приборомъ по срединѣ пролета, а еще двумя поставленными на опорахъ и вычислять стрѣлу прогиба, какъ указано тамъ же на стр. 68—70, по формулѣ:

$$f=c-\frac{a+b}{2},$$

гдѣ

$c$ —показаніе средняго указателя,

$a$  и  $b$ —показанія крайнихъ указателей, взятыя съ ихъ знаками, т. е.

$\frac{a+b}{2}$  есть полусумма алгебраическая \*).

Вообще всегда величина модуля  $E$ , опредѣленная по стрѣлѣ прогиба при изгибѣ бруса на двухъ опорахъ, съ грузомъ по срединѣ пролета, меньше величины вычисленной на основаніи опыта на растяженіе даже при абсолютно точно измѣренной стрѣлѣ прогиба. Причина этого кроется въ томъ, что всегда наблюдаемая величина прогиба увеличена вліяніемъ неизбѣжныхъ при разсматриваемомъ случаѣ изгиба скальвающихъ силъ. Въ зависимости отъ профиля сѣченія вліяніе этихъ силъ можетъ увеличивать стрѣлу прогиба, а значить уменьшать величину модуля упругости даже на 12% противъ дѣйствительности.

Особенно рѣзко сказывается вліяніе скальвающихъ силъ при опытахъ съ двутавровыми и другими подходящими къ этому типу сѣченіями. напр., съ рельсами. Для послѣднихъ скальвающія силы увеличиваютъ стрѣлу прогиба въ среднемъ на 8—11% въ зависимости отъ типа рельса.

Дѣло въ томъ, что формулой

$$E=\frac{PL^3}{48fJ},$$

можно пользоваться только въ томъ случаѣ, если высота изгибаемой балки  $h$  меньше  $\frac{1}{10} L$ —пролетѣ, такъ какъ по даннымъ опытовъ \*\*) при  $h > \frac{1}{10} L$  для двутавровыхъ балокъ и профилей къ нимъ близкихъ результаты, полученные по этой формулѣ, будутъ далеки отъ истины вслѣдствіе того, что формула эта игнорируетъ вліяніе скальвающихъ силъ при изгибѣ на величину стрѣлы прогиба, которымъ уже нельзя пренебрегать при  $h > \frac{1}{10} L$ . Въ этомъ случаѣ стрѣла прогиба равна

\*) Выводъ этой формулы см. *Н. М. Абрамовъ* «Изгибъ рельсовъ статической нагрузкой съ изученіемъ упругихъ свойствъ» (Спб. 1905 г., а также вышеупомянутый Выпускъ II. «Введеніе въ курсъ механическихъ испытаній матеріаловъ».

\*\*) См. труды Рельсовой Комиссіи статью *Н. М. Абрамова* объ изгибѣ рельсовъ.



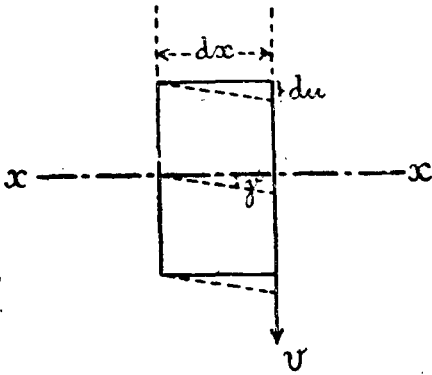


Рис. 39.

$$f = f' + \int_0^x du,$$

гдѣ

$f'$  — стрѣла прогиба, вызываемая непосредственно изгибающимъ грузомъ, а  $\int_0^x du$  — увеличеніе этой стрѣлы прогиба отъ вліянія скальвающихъ силъ.

Въ самомъ дѣлѣ, представимъ себѣ нѣкоторый продольный элементъ балки (рис. 39). Если бы перерѣзывающая сила  $V$  распредѣлялась равномѣрно по сѣченію, то послѣ изгиба прямой уголъ между осью балки и поперечнымъ ея сѣченіемъ измѣнился бы на нѣкоторую величину  $\gamma$ , которая по законамъ упругости равна

$$\gamma = \frac{\tau_m}{G}.$$

Такъ какъ среднее значеніе сдвигающей силы при сѣченіи балки, равномъ  $\omega$ , равно

$$\tau_m = \frac{V}{\omega}.$$

то

$$\gamma = \frac{G\omega}{V},$$

причемъ  $G$  — есть модуль упругости при сдвигѣ, который мы принимаемъ равнымъ  $0,4E$ .

Вслѣдствіе измѣненія угла  $\gamma$  появилось бы параллельное сдвиженіе обоихъ сѣченій относительно другъ друга на величину

$$du' = \gamma dx = \frac{V dx}{G\omega}.$$

Но такъ какъ въ дѣйствительности сдвигающія напряжения по срединѣ сѣченія больше средняго значенія  $\tau_m$ , а у краевъ равны нулю, то и уголъ  $\gamma$  по срединѣ больше, а у краевъ остается безъ измѣненія, и потому сдвиженіе обоихъ сѣченій относительно другъ друга равно

$$du = k du' = k \frac{V dx}{G\omega}.$$

Величину коэффиціента  $k$ , который больше единицы, можно найти пользуясь понятіемъ о работѣ деформаціи.

Для случая чистаго сдвига элементарная работа деформаціи равна

$$\frac{\tau^2}{2G}$$

слѣдовательно, для элемента балки длиною  $dx$  полная работа деформаціи равна

$$dx \int \frac{\tau^2}{2G} du,$$

при чемъ интеграль распространяется на всю площадь.

Замѣняя  $\tau$  его выраженіемъ

$$\tau = \frac{VU}{\delta J},$$

гдѣ  $\delta$ —толщина сѣченія балки, и приравнивая найденное выраженіе работы деформациі работѣ  $\frac{1}{2} Vdu$  презывающей силы  $V$ , какъ внѣшней силы для элемента балки, получимъ:

$$dx \int \frac{\tau^2}{2G} d\omega = \frac{1}{2} V du = k \frac{V^2}{2G\omega} dx$$

откуда

$$k = \frac{\omega \int \tau^2 d\omega}{V^2}$$

Найдя такимъ образомъ величину  $k$ , опредѣлимъ и величину  $du$ , а значить и  $\int_0^x du$ , т. е. увеличеніе стрѣлы прогиба рельса отъ вліянія скалывающихъ силъ.

Для примѣра приводимъ опредѣленіе величины модуля упругости  $E$  для рельса, изображеннаго на рис. 40.

Для даннаго рельса:

Высота  $h=12,51$  стм., пролѣтъ  $L=105$  стм. т. е.  $\frac{h}{L} = \frac{1}{8,45}$ .

Площадь поперечнаго сѣченія

$$\omega=40 \text{ кв. стм.}$$

Моментъ инерціи относительно нейтральной оси

$$J_1=875 \text{ стм.}^4$$

Статическій моментъ половины сѣченія относительно нейтральной оси

$$U=89,40 \text{ стм.}^3$$

Такъ какъ непосредственно найти величину  $\int \tau^2 d\omega$ , для даннаго профиля нельзя, то ее опредѣляемъ разбивая сѣченіе рельса на элементарныя полоски и производя суммирование соответствующихъ имъ величинъ на томъ основаніи, что результаты такой механической квадратуры всегда достаточно точны, даже при небольшомъ числѣ полосокъ.

Разбиваемъ сѣченіе рельса на отдѣльныя элементарныя площадки, какъ указано на (рис. 40), и опредѣляемъ величины  $\tau$  для сѣченій  $\delta_1 \dots \delta_n$  по формулѣ

$$\tau_m = \frac{VU_m}{\delta_m J},$$

гдѣ  $U_m^z$  — статическій моментъ относительно нейтральной оси части площади рельса, лежащей выше сѣченія  $\delta_m$ .

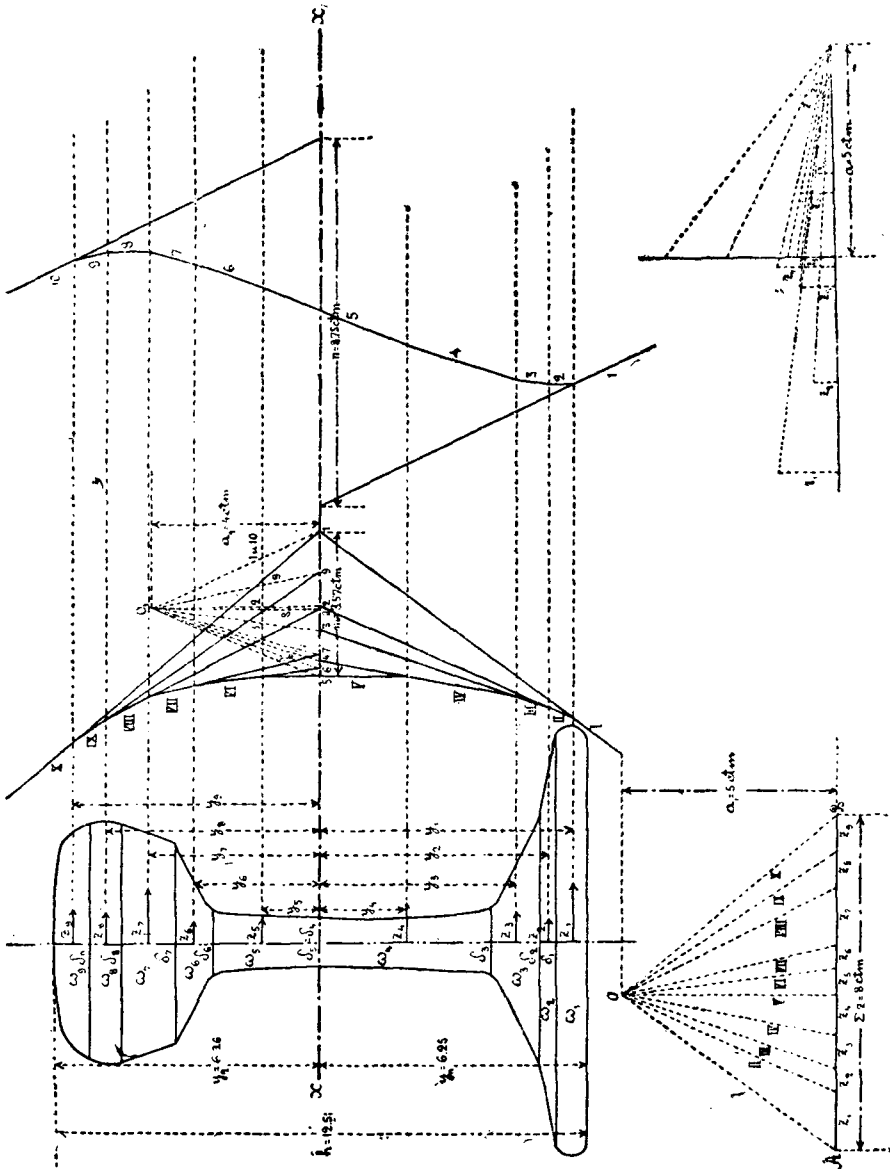


Рис. 40.

Въ нашемъ случаѣ имѣемъ:

для сѣченія $\delta_1$ . . .	$U = \frac{49,55}{5,60} = 8,84.$
» » $\delta_2$ . . .	$U = \frac{77,22}{4,75} = 16,25.$
» » $\delta_3$ . . .	$U = \frac{85,61}{1,40} = 61,15.$

$$\begin{aligned} \text{для сѣченія } \delta_5 \text{ и } \delta_4 \dots \frac{U}{\delta} &= \frac{89,40}{1,20} = 74,50. \\ \text{» } \text{» } \delta_3 \dots \frac{U}{\delta} &= \frac{79,60}{1,40} = 56,85. \\ \text{» } \text{» } \delta_2 \dots \frac{U}{\delta} &= \frac{61,60}{5,90} = 10,44. \end{aligned}$$

Принимая  $V = \frac{P}{2}$ , при  $P = 10$  тоннъ, получимъ  $V = 5000$  клг. и значить

$$\frac{V}{J} = 5,74.$$

Слѣдовательно, будемъ имѣть:

- 1) Для наиболѣе удаленнаго сжатого волокна  $\tau_{10} = 0$  и  $\tau_{10}^2 = 0$ .
- 2) Для сѣченія  $\delta_8 \dots \tau_8 = 50,48 \dots \tau_8^2 = 2548,23$ .
- 3) » »  $\delta_7 \dots \tau_7 = 92,78 \dots \tau_7^2 = 8608,12$ .
- 4) » »  $\delta_6 \dots \tau_6 = 349,16 \dots \tau_6^2 = 121912,70$ .
- 5) » »  $\delta_5 = \delta_1 \dots \tau_5 = \tau_1 = 425,30 \dots \tau_5^2 = \tau_1^2 = 180956,65$ .
- 6) » »  $\delta_3 \dots \tau_3 = 324,61 \dots \tau_3^2 = 105371,65$ .
- 7) » »  $\delta_2 \dots \tau_2 = 59,61 \dots \tau_2^2 = 3553,35$ .
- 8) Для наиболѣе удаленнаго вытянутаго волокна  $\tau_1 = 0$ ,  $\tau_1^2 = 0$ .

Имѣя величины  $\tau^2$  не трудно найти  $\int \tau^2 d\omega$  для каждой элементарной площади по формулѣ

$$\frac{\tau_m^2 + \tau_{m-1}^2}{2} h_m,$$

гдѣ  $h_m$  — разстояніе между сѣченіями  $\delta_m$  и  $\delta_{m-1}$ , а суммируя величины этихъ элементарныхъ интеграловъ найдемъ и величину  $\int \tau^2 d\omega$  для всего сѣченія рельса. Такимъ образомъ находимъ

- 1) Для площади  $\omega_8 + \omega_9 \dots \int \tau^2 d\omega = 2038,58$
- 2) » »  $\omega_7 \dots \int \tau^2 d\omega = 7251,63$
- 3) » »  $\omega_6 \dots \int \tau^2 d\omega = 58734,37$
- 4) » »  $\omega_5 \dots \int \tau^2 d\omega = 378586,69$
- 5) » »  $\omega_1 \dots \int \tau^2 d\omega = 572656,60$
- 6) » »  $\omega_3 \dots \int \tau^2 d\omega = 59908,75$
- 7) » »  $\omega_2 + \omega_1 \dots \int \tau^2 d\omega = 1954,34$ .

а для площади всего сѣченія рельса

$$\int \tau^2 d\omega = 1081130,37.$$

Значить по формулѣ

$$k = \frac{\omega \int \tau^2 d\omega}{V^2}$$

при

$$\begin{aligned} \omega &= 40 \text{ кв. стм.} \\ V &= 5000 \text{ клг.} \end{aligned}$$

получимъ

$$k = 1,76.$$

Тогда

$$\int_0^{\frac{L}{2}} du = \int_0^{\frac{L}{2}} k \frac{Vdx}{G\omega}$$

при

$$V = \frac{P}{2}$$

$$G = 0,4E$$

оказывается равнымъ

$$1,10 \frac{PL}{\omega E}$$

Слѣдовательно,

$$f' = f + \int_0^{\frac{L}{2}} du = \frac{PL^3}{48 EJ} + 1,10 \frac{PL}{E\omega},$$

откуда, зная по непосредственному наблюденію величину  $f'$ , находимъ:

$$E = \frac{PL}{f'} \left( \frac{L^2}{48J} + \frac{1,10}{\omega} \right),$$

что въ данномъ случаѣ равно

$$E = 20258 \text{ клг. на кв. мм.}$$

Пользуясь же формулой

$$E = \frac{PL^3}{48 fJ}$$

мы находимъ

$$E = 18423 \text{ клг. на кв. мм.}$$

т. е. на 9,96% меньше, такъ какъ непосредственно наблюдаемая нами стрѣла прогиба рельса, введенная нами въ формулу, увеличена вліяніемъ скальвающихъ силъ при изгибѣ на величину

$$\int_0^{\frac{L}{2}} du.$$

## ГЛАВА VI.

### Испытаніе металловъ на скручиваніе.

#### § 1. Общія замѣчанія и описаніе машинъ для производства опытовъ.

При проектированіи валовъ и другихъ частей механизмовъ, подвергающихся дѣйствію скручивающихъ силъ, весьма важно знать допускаемое напряженіе при скручиваніи для данного матеріала, а также тотъ уголъ

закручиванія, какой для этихъ частей можно допускать безъ опасенія перейти предѣлъ упругости. Такъ какъ при данномъ скручивающемъ моментѣ и данныхъ размѣрахъ вала величина угла крученія въ предѣлахъ упругости матеріала зависитъ отъ коэффициента упругости при скручиваніи или отъ модуля упругости  $G$ , то нахождение этой величины и является главной задачей при испытаніи на скручиваніе. Принимая во вниманіе, что разрушеніе образца при скручиваніи является результатомъ нарушенія сопротивленія данного матеріала скальванію, и зная, что до предѣла упругости эти напряжения пропорціональны деформациямъ, можно по найденной для данного матеріала величинѣ модуля упругости, зная уголъ закручиванія вала и допускаемое напряженіе, обыкновенно меньшее предѣла упругости, вычислить прочные размѣры проектируемаго вала \*).

*Описаніе машинъ Амслера для производства опытовъ на скручиваніе металловъ.* Въ виду того, что приведенная ниже формула безусловно точна только для стержней круглаго сѣченія, всегда при опытахъ изъ металла изготовляютъ образцы такого именно сѣченія. Для производства опытовъ пользуются машинами Амслера силою въ 6 и 150 килограмметровъ, построенными специально для этой цѣли и снабженными диаграммнымъ приборомъ для измѣренія скручивающаго момента.

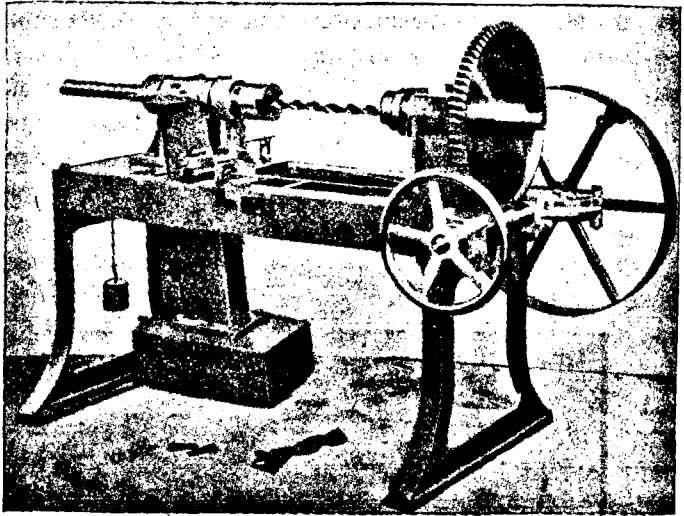


Рис. 11.

Концы образца въ машинѣ силой въ 150 килограмметровъ (рис. 41), закрѣпляютъ

въ двухъ зажимахъ, разстояніе между которыми можно измѣнять по произволу отъ 0 до 50 сант. Можно закрѣплять безъ особенной обработки плоскіе и круглые образцы. При опредѣленіи упругости круглыхъ стержней полезно, конечно, сдѣлать у каждаго конца образца двѣ параллельныя поверхности для лучшаго закрѣпленія образцовъ.

\*) Нѣкоторыя замѣчанія общаго характера объ опытахъ на скручиваніе см. Введеніе въ курсъ механическихъ испытанийъ матеріаловъ, Выпускъ II. (Новочеркасскъ 1909 г. Гл. III § 5, стр. 72—75).

Образецъ скручивають большимъ червячнымъ колесомъ. Захватывающій колесо безконечный винтъ приводится во вращеніе съ помощью ременнаго шкива, который можно приводить въ движеніе также и рукою. Колесо спереди вала служить только для начальной установки ближайшаго къ нему захвата.

Другой захватъ насаженъ на горизонтальной оси, соединенной посредствомъ клина съ плечомъ, поддерживающимъ находящуюся подъ машиной тяжелую колодку. Плечо и колодка образуютъ вмѣстѣ тяжелый маятникъ. Стержень маятника расположенъ такимъ образомъ, что можетъ легко вращаться. При вращеніи праваго зажима вмѣстѣ съ колесомъ вращается также образецъ и стремится увлечь во вращеніе зажимъ слѣва. Вслѣдствіе этого маятникъ, неподвижно соединенный съ лѣвымъ зажимомъ, выходитъ изъ отвѣснаго положенія. Величина отклоненія маятника изъ положенія равновѣсія является мѣрой дѣйствующаго на образецъ скручивающаго момента.

Движеніе маятника передается снабженному дѣленіями диску, указывающему моментъ скручиванія въ килограммометрахъ. Стержень съ пишущимъ штифтомъ передвигается при этомъ горизонтально и вычерчиваетъ на бумагѣ барабана линію, длина которой пропорціональна отклоненію маятника, а слѣдовательно также и скручивающему моменту.

Барабанъ приводится при этомъ въ равномерное вращеніе посредствомъ шнура, идущаго отъ праваго зажима. Діаграмма, вычерченная штифтомъ на листѣ бумаги, позволяетъ поэтому опредѣлять моментъ скручиванія, соответствующій каждому углу крученія.

Правый захватъ снабженъ дѣленіями на 100 частей для опредѣленія степени его вращенія.

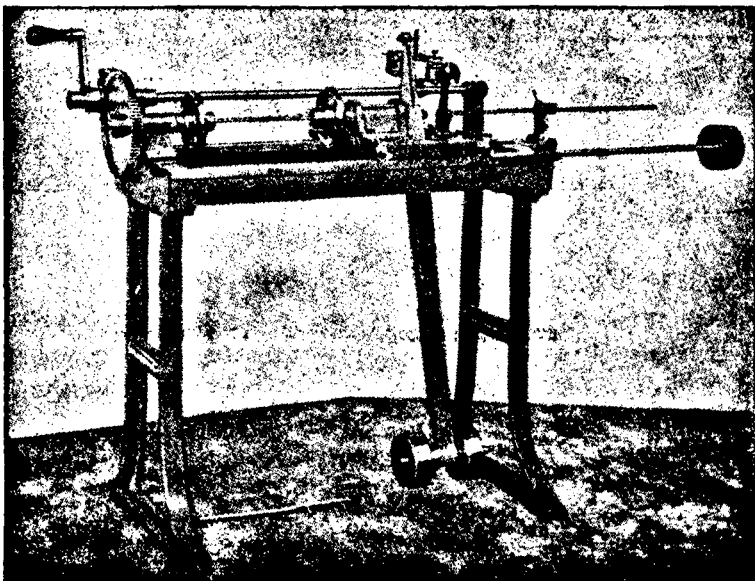


Рис. 42.

При изломѣ образца въ концѣ испытанія маятникъ удерживается отъ паденія назадъ прикрѣпленнымъ къ нему канатомъ, который хотя и слѣдуетъ свободно за движеніемъ маятника, но оказываетъ сопротивление обратному движенію его.

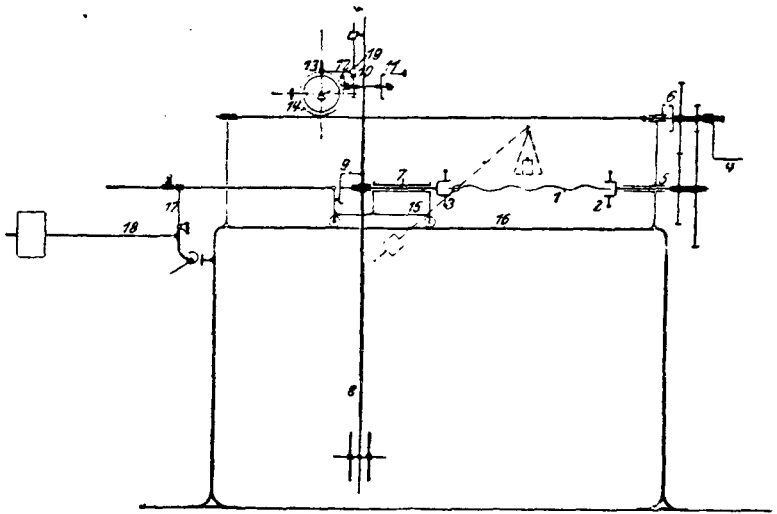


Рис. 43.

Ось, поддерживающую захватъ слѣва, можно передвигать посредствомъ зубчатой шестерни соотвѣтственно длинѣ образца. Образцы безъ квадратныхъ головокъ также удерживаются отъ вращенія въ захватахъ зубцами клинцевъ, которые крѣпко вдавливаются сами собою.

На этой машинѣ можно скручивать до излома круглые стальные образцы до 25 милл. толщиной. Точное измѣреніе маленькихъ угловъ закрученія можно производить посредствомъ зеркальнаго прибора, состоящаго изъ двухъ пружинныхъ зажимовъ съ зеркальцами, которые насаживаются на образецъ.

При образцахъ меньшаго размѣра пользуются машиной въ 6 килограмметровъ, изображенной на рис. 42. Детали конструкціи этой машины, какъ видно изъ рис. 43, таковы. Образецъ 1 закрѣпляется въ захватахъ 2 и 3. Захватъ 2 вращается при помощи рукоятки 4 и заставляетъ закручиваться образецъ 1. Число закручиваній читаютъ на счетчикѣ 6, доли же одного оборота отсчитываются на шайбѣ 5. Захватъ 3 укрѣпленъ на оси вращенія 7 маятника 8, который отклоняется при закручиваніи образца 1. Величину этого отклоненія, служащую мѣрой скручивающаго момента, опредѣляютъ на шайбѣ 9. Отклоненіе маятника при посредствѣ штанги 10, передается регистрирующему прибору 11, при чемъ штифтъ 12 при разрушеніи образца указываетъ наибольшій скручивающій моментъ. Штанги 19 съ карандашомъ 13 чертитъ на барабанѣ 14 линію, пропорциональную скручивающему моменту.

Маятникъ 8 вмѣстѣ съ діаграммой аппаратомъ укрѣпленъ на телѣжкѣ 15, двигающейся по станинѣ машины 16. Телѣжка 15 прикрѣплена къ ломанному рычагу 17; соотвѣтственно нагружая горизонтальное плечо его 18, возможно закрѣпить образецъ въ надлежащемъ положеніи. Для повѣрки



машины пользуются вѣсовымъ приборомъ, укрѣпляемымъ на захватъ 3, помѣченный на схемѣ пунктиромъ.

## § 2. Описаніе общаго хода производства опыта съ металлами и относящихся къ нему вычисленій.

*Порядокъ производства опыта.* Испытываемый образецъ, предварительно обмѣренный, укрѣпляютъ въ захватахъ помощью клиньевъ, при чемъ его тщательно центрируютъ. Лимбы захвата, противовѣса и регистрирующаго прибора устанавливаются предварительно на 0. До опыта противовѣсъ долженъ быть подтянутъ предохранительнымъ грузомъ. Устанавливаютъ регистрирующій приборъ, проводятъ оси абсциссъ и ординатъ, въ началѣ которыхъ устанавливаютъ карандашъ. Одинъ изъ производящихъ опытъ становится у регистрирующаго прибора, другой у лимба ведущаго захвата, третій медленно вращаетъ колесо. Отсчеты на лимбѣ захвата (углы крученія) записываются черезъ половину малаго дѣленія (0,005 окружности) соответственно каковымъ отмѣчаются отсчеты на лимбѣ регистрирующаго прибора (моменты): послѣ предѣла пропорціональности отсчеты можно вести черезъ каждыя 5 дѣленій лимба захвата. По этимъ даннымъ должна быть вычерчена діаграмма, по ней опредѣленъ предѣлъ пропорціональности и сравненъ съ таковымъ на діаграммѣ самопишущаго прибора.

Всѣ полученныя опытомъ данныя записываютъ въ журналъ (см. въ приложеніяхъ копіи журнала \*), именно: въ I графѣ записываютъ величину момента, во второй отсчетъ на лимбѣ закручивающаго образецъ захвата, въ третьей отсчетъ на лимбѣ противовѣса.

Вычитая показанія третьей графы изъ показаній второй, получаютъ истинный уголъ крученія въ сотыхъ доляхъ окружности, что и записываютъ въ 4 графѣ, наконецъ въ 5 графѣ записываютъ величину того же угла, переведенную въ градусы (0,01 окружности=3,6°).

*Вычисленіе модуля упругости при крученіи (сдвигъ).* Для вычисленія модуля упругости при крученіи пользуются лишь данными опыта до предѣла упругости, причемъ руководствуются слѣдующими соображеніями.

При кругломъ сѣченіи образца не происходитъ искаженія вида плоскостей перпендикулярныхъ къ его оси, и при скручиваніи какая-либо изъ нихъ поворачивается на опредѣленный уголъ относительно начальной неподвижной плоскости закрѣпленія образца. Возьмемъ въ одномъ изъ сѣченій, находящемся въ разстояніи  $L$  отъ неподвижнаго, элементарную площадку  $d\omega$  въ разстояніи  $\rho$  отъ оси образца.

Если при крученіи эта площадка повернется на уголъ  $\Theta$ , то линейное ея абсолютное перемѣщеніе будетъ  $\rho\Theta$ , а относительный сдвигъ ея на единицу длины будетъ  $\rho \frac{\Theta}{L}$ .

\*) См. часть II, приложеніе XI.

По закону Гука напряжение на единицу площади, вызванное этой деформацией, в данной площадке будетъ.

$$t = G\varrho \frac{\Theta}{L}$$

а значить скалывающая, сдвигающая сила, дѣйствующая на всю площадку, будетъ

$$t d\omega = G\varrho \frac{\Theta}{L} d\omega$$

а скручивающій моментъ этой силы окажется равнымъ

$$t d\omega \varrho = G\varrho^2 \frac{\Theta}{L} d\omega$$

Интегрируя это выражение по всей площади взятаго сѣченія, мы получимъ вѣ лѣвой части полный скручивающій вѣ данномъ сѣченіи моментъ внутреннихъ силъ упругости, очевидно, равный внѣшнему крутящему моменту и вѣ результатѣ получимъ такое уравненіе

$$M = G \frac{\Theta}{L} J_p$$

Здѣсь

$G$ —модуль упругости при крученіи,

$M$ —скручивающій образецъ моментъ,

$L$ —разсчетная длина образца,

$\Theta$ —уголь крученія,

$J_p$ —полярный моментъ инерціи сѣченія равный для круга

$$\frac{\pi d^4}{32}$$

По указанной формулѣ можно

1) зная размѣры образца, по наблюдаемому углу крученія и моменту найти модуль упругости данного матеріала при крученіи или

2) по заданному моменту и углу крученія и модулю упругости найти

а) предѣльную прочную длину вала даннаго діаметра или

б) обратно діаметръ вала данной длины.

При учебныхъ опытахъ формулой этой пользуются для нахождения модуля упругости, т. е. придаютъ ей видъ

$$G = \frac{ML}{\Theta J_p}$$

Весьма важно помнить, что уголь  $\Theta$  вѣ этой формулѣ долженъ быть выраженъ не вѣ градусахъ, а вѣ радіанахъ т. е.

$$\Theta = \frac{\pi \Theta^0}{180}$$

гдѣ  $\Theta^0$ —уголь вѣ градусахъ, взятый изъ 5 графы журнала опыта.

Для полученія болѣе точныхъ результатовъ надо пользоваться данными діаграммы построенной по журналу и вычислить  $G$  по формулѣ

$$G = \frac{(M_1 - M_2) L}{(\Theta_1 - \Theta_2) J_p}$$

гдѣ

$M_1$  и  $M_2$ —два какихъ-нибудь скручивающихъ момента, меньшіе того, который соотвѣтствуетъ предѣлу упругости, а  $\theta_1$  и  $\theta_2$ —соотвѣтственные имъ углы крученія.

Полезно также вычислить  $G$  по этой формулѣ 2, 3 раза для разныхъ величинъ разности  $M_1 - M_2$  и изъ найденныхъ результатовъ вычисления вывести среднее значеніе модуля упругости при скручиваніи (сдвигѣ).

## ГЛАВА VII.

### Испытаніе хрупкости металловъ (ударныя пробы).

#### Общія замѣчанія.

За послѣднее время въ технику испытанія металловъ, такъ называемая ударная проба, получаетъ все большее и большее распространеніе, такъ какъ она имѣетъ большія преимущества предъ пробой статической и съ теоретической и съ практической точекъ зрѣнія. Испытаніе на растяженіе статической нагрузкой, какъ мы знаемъ, даетъ слѣдующія величины,

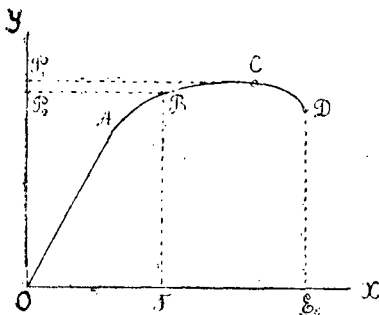


Рис. 44.

характеризующія свойства матеріала: временное сопротивленіе, предѣлъ упругости, модуль упругости, относительное удлиненіе (полное) и относительное суженіе. При испытаніяхъ же ударной нагрузкой приходится измѣрять работу внѣшней силы, отвѣчающую разрушенію образца. Работа, которую способенъ образецъ поглотить при какомъ-нибудь видѣ дѣйствія внѣшней силы выражается, какъ извѣстно, площадью діаграммы, представляющей зависимость между внѣшней силой и вызываемой ею деформаціей въ каждый моментъ испытанія.

Пусть напр. линія  $OABCD$  есть діаграмма испытанія образца на разрывъ (рис. 44). По оси  $x$ -овъ отложены деформаціи, по оси  $y$ -овъ силы. Площадь  $OABCD$  есть работа внутреннихъ силъ. Если первоначальная площадь поперечнаго сѣченія образца  $\omega$ , и разрушающая сила

$P_1$ , то временное сопротивленіе  $R = \frac{P_1}{\omega}$ . Если образецъ имѣлъ бы гдѣ-нибудь по длинѣ своей раковину или трещину, даже очень мало уменьшающую полезную площадь поперечнаго сѣченія, то разрушающая сила  $\omega$  не достигла бы своего максим'альнаго значенія  $P_1$ , а была бы положимъ  $P_2$ , тогда временное сопротивленіе будетъ  $\frac{P_2}{\omega}$  меньше  $\frac{P_1}{\omega}$  на нѣкоторую, величину сравнительно небольшую, тогда какъ работа поглощенная вторымъ образцомъ (плоч.  $OABF$ ) составляетъ меньше 50% работы образца перваго. Этотъ примѣръ показываетъ, что работа внутреннихъ силъ характеризуетъ

рѣзче, а слѣд., лучше качества матеріала, чѣмъ временное сопротивление; поэтому въ тѣхъ вопросахъ, гдѣ желательно выясненіе однородности свойствъ матеріала въ различныхъ мѣстахъ издѣлія, въ послѣднее время пользуются почти исключительно этимъ методомъ.

Второе преимущество ударной пробы заключается въ томъ, что устройство испытательныхъ приборовъ и обращеніе съ ними значительно проще.

При всякомъ испытаніи ударной нагрузкой, подсчитавъ приблизительно съ запасомъ, при какой высотѣ паденія бабы произойдетъ разрушеніе, важно узнать болѣе или менѣе точно ту работу, которая исключительно пошла на разрушеніе испытуемаго образца, а для этого надо опредѣлить оставшуюся послѣ разрушенія живую силу, за вычетомъ которой (изъ всей живой силы) получается работа, исключительно потраченная на разрушеніе испытуемаго образца.

Для опредѣленія остаточной живой силы можно пользоваться

I. Динамометрами:

- а) пружинными,
- б) воздушными,
- с) крешерными (обмятіе мѣдныхъ цилиндровъ).

II. Опредѣленіемъ начальной скорости паденія бабы послѣ разрушенія:

- д) помощью гальванометра,
- е) посредствомъ діаграммы самопишущаго прибора.

Наиболѣе удобнымъ, точнымъ и скорымъ способомъ при условіи пользования обыкновеннымъ копромъ является комбинація послѣднихъ двухъ пріемовъ, а именно: помощью діаграммнаго прибора опредѣлять величину вредныхъ сопротивленій и помощью гальванометра опредѣлять остаточную живую силу.

Дальнѣйшія подробности общаго характера объ ударныхъ пробахъ приведены уже нами въ «Введеніе въ курсъ механическихъ испытаній» (Выпускъ II, гл. IV, § 1), а потому не повторяя ихъ, перейдемъ къ описанію приборовъ для производства ударныхъ пробъ.

### Приборы для производства ударныхъ пробъ.

До послѣдняго времени для ударныхъ пробъ пользовались исключительно обыкновенными копрами, въ которыхъ баба опредѣленнаго вѣса падаетъ скользя по стрѣламъ, и производитъ разрушеніе. Вѣная вѣсъ бабы и высоту паденія ея легко, приближенно пренебрегая сопротивленіемъ воздуха, треніемъ о стрѣлы и частью работы, поглощенной станиной и фундаментомъ, опредѣлить работу, пошедшую на разрушеніе образца.

Не описывая всѣхъ существующихъ на заводахъ и въ лабораторіяхъ системъ копровъ замѣтимъ, что какъ чертежи, такъ и подробныя описанія конструкціи копровъ и работы съ ними можно найти въ трудахъ Международнаго Общества Испытанія Матеріаловъ, а именно въ докладахъ W. Ast'a, J. Barba, Brinell'я на Конгрессѣ Общества въ Будапештѣ въ 1901 г.

На основаніи изученія предложенныхъ различныхъ системъ копровъ

и работы ихъ, въ настоящее время выработанъ, такъ называемый, «нормальный коперъ» для производства ударныхъ пробъ, общія свѣдѣнія о которомъ даны нами въ «Введеніи въ курсъ механическихъ испытаній» (Выпускъ II. Гл. IV, § 1, п. 5) (рис. 45).

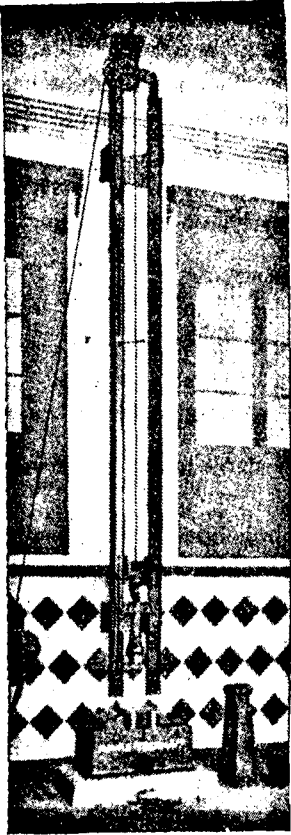


Рис. 45.

Кромѣ нормальнаго копра для опредѣленія хрупкости и отчасти однородности металловъ съ помощью такъ называемыхъ надрѣзанныхъ образцовъ, въ настоящее время имѣетъ широкое примѣненіе два прибора:

1. Маятниковый коперъ Шарпи, изображенный на рис. 46, способный развивать работу до 75 килограмметровъ и весьма пригодный для заводскихъ пробъ и

2. Вращающійся коперъ Гиллери (рис. 47), отличающійся замѣчательной компактностью при большой работоспособности и потому весьма пригодный для научныхъ изслѣдованій даже въ маленькой лабораторіи.

Относительно копра Charpy надо замѣтить, что хотя при пользованіи имъ затрудненія въ опредѣленіи остаточной живой силы сводятся до минимума, однако устройство зажимовъ для испытываемыхъ образцовъ по идеѣ своей несовершенно. Образцы должны быть прочно зажаты и тщательность закрѣпленія концовъ ихъ сильно вліяетъ на результаты опытовъ. Для устраненія этого вліянія нужно испытывать на переломъ бруски, свободно лежащіе на опорахъ, что именно и имѣетъ мѣсто въ приборѣ Гиллери, который мы, ввиду его выдающихся качествъ, и опишемъ, подробнѣе.

### Приборъ Guillery.

Главная часть прибора Guillery (см. черт. 47) массивный стальной дискъ *B*, вращающійся на шарикахъ около горизонтальной оси. На ободѣ диска укрѣпленъ ножъ *A*. Заставляя вращаться дискъ съ опредѣленной скоростью, не трудно опредѣлить живую силу его. Если подъ ножъ *A* вращающагося диска подложить образецъ, и образецъ разрушится, то дискъ потеряетъ часть живой силы и скорость его вращенія уменьшится. Зная послѣднюю легко опредѣлить остаточную живую силу, за вычетомъ которой изъ первоначальной, получимъ работу, пошедшую на разрушеніе испытываемаго образца. Дискъ приводится во вращательное движеніе помощью шкива *F*, соединеннаго ремнемъ съ какимъ нибудь моторомъ или просто рукой быстрымъ поворачиваніемъ рукоятки *E*. На одной оси съ рукояткой *E* укрѣп-

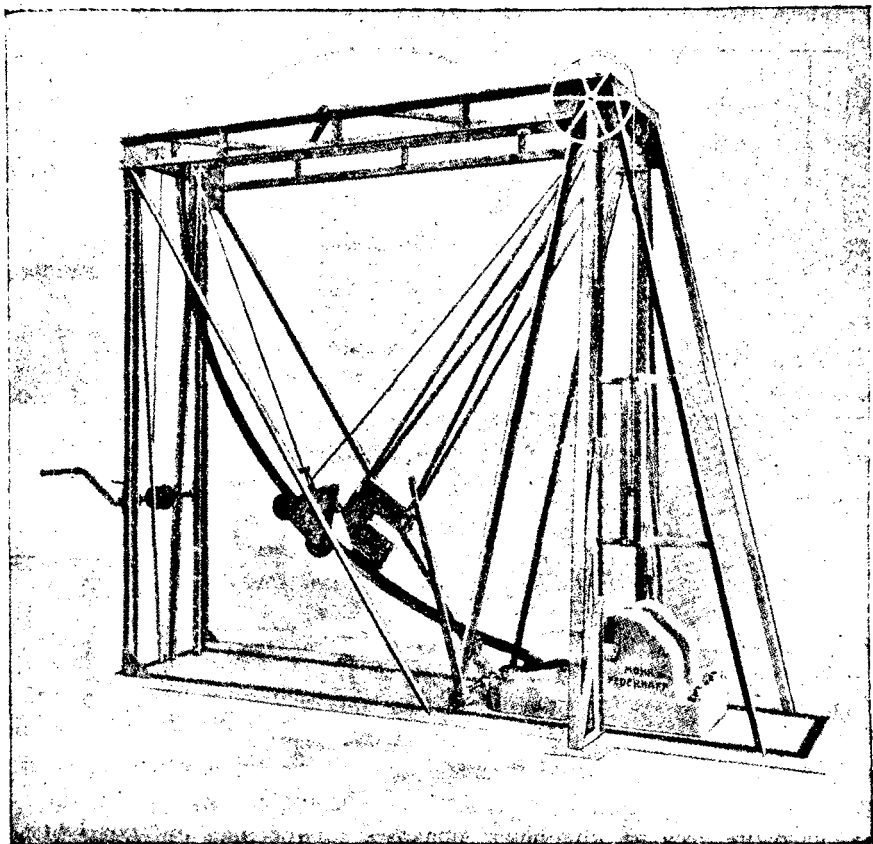


Рис. 46.

лено фрикціонное колесо  $L$ , соприкасающееся съ колесомъ  $M$ , насаженнымъ на оси диска  $B$ . Колесо  $L$  помощью рукоятки  $F$  можетъ быть въ любой моментъ выведено изъ соприкосновенія съ колесомъ  $M$ . Испытуемый образецъ  $J$  съ надрѣзкой на нижней грани лежитъ на наковальнѣ и не имѣетъ движенія, благодаря удерживающимъ его съ торцовъ пружинамъ ( $a, a$ ). Наковальня  $H$  можетъ двигаться вправо и влѣво въ пазахъ массивнаго постаментъ  $P$ . Въ моментъ удара ножа диска наковальня  $H$  занимаетъ крайнее лѣвое положеніе. Необходимо, чтобы ударъ ножа по образцу произошелъ въ тотъ моментъ, когда скорость вращенія диска вполне опредѣлена и чтобы образецъ могъ быть подставленъ подъ ножъ возможно быстро. Для этой цѣли сдѣлано слѣдующее приспособленіе. Въ наковальнѣ внутри имѣется сильная пружина, стремящаяся ее всегда передвинуть влѣво и подвести испытуемый образецъ подъ ударъ ножа. Рычагомъ  $G$  возможно наковальню  $H$  перемѣстить въ крайнее правое положеніе. Когда наковальня достигла крайняго праваго положенія, спиральная пружина  $b$  (рис. 48) поворачиваетъ стержень  $ab$ , находящійся въ наковальнѣ; собачка укрѣпленная на немъ входитъ въ отверстіе постаментъ, и наковальня  $H$  такимъ обра-

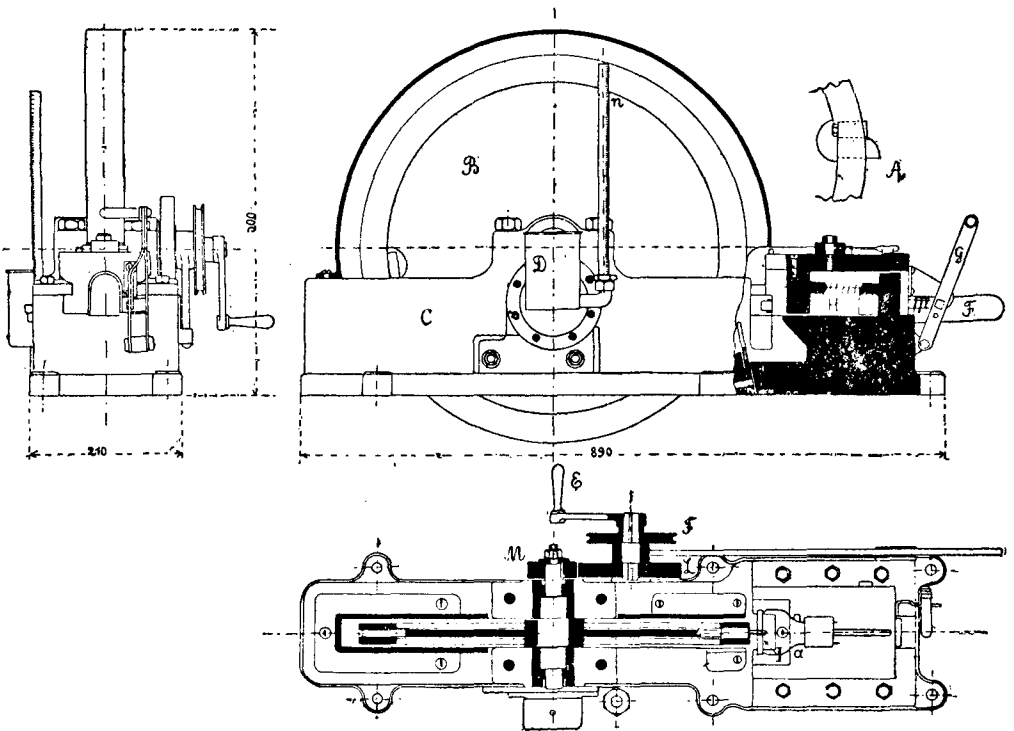


Рис. 47.

зомъ удерживается въ крайнемъ правомъ положеніи, при которомъ ножъ диска проходитъ не задѣвая испытуемаго образца. Стержень *ab* имѣетъ четырехгранный каналъ, въ который входитъ другой четырехгранный стержень *cd* потоньше. Въ концѣ *c* тонкій стержень имѣетъ кулачекъ. Когда щеколда стержня *ab* удерживаетъ наковальню въ крайнемъ правомъ положеніи кулачекъ *c* занимаетъ горизонтальное положеніе и ножъ диска его не задѣваетъ. Когда скорость диска достигла желаемой величины, рукояткой *G* нажимаютъ на конецъ *d*, кулачекъ *c* оставаясь горизонтальнымъ перемѣщается влѣво на столько,

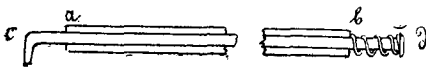


Рис. 48.

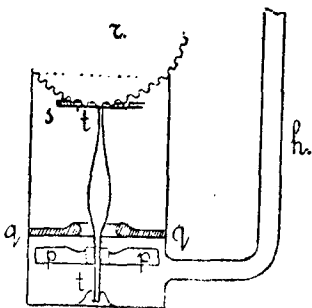


Рис. 49.

что ножъ ударяетъ по немъ, при этомъ стержень *cd*, а вмѣстѣ съ нимъ и *ab* поворачивается, щеколда стержня *ab*, удерживавшая наковальню въ крайнемъ правомъ положеніи, выскакиваетъ изъ паза и наковальня, предоставленная дѣйствию цилиндрической пружины внутри ея, перемѣщается въ крайнее свое лѣвое положеніе. Происходитъ это настолько быстро, что при слѣдующемъ уже оборотѣ диска ножъ ударяетъ по испытуемому образцу. При этомъ имѣетъ мѣсто нѣкоторая

ошибка по столько по сколько уменьшилась скорость вращения диска при слѣдующемъ оборотѣ его.

Для того чтобы знать моментъ, въ который слѣдуетъ произвести ударъ, имѣется приспособленіе, дающее возможность наблюдать измѣненіе скорости вращения диска. На оси вращения диска насажено зубчатое колесо  $r$  (рис. 49), зацѣпляющееся съ горизонтальнымъ зубчатымъ колесомъ  $s$ , находящимся въ сосудѣ  $D$ . Колесо  $s$  укрѣплено на вертикальномъ стержнѣ  $tt$ . Сосудъ  $D$  горизонтальной перегородкой  $qq$  раздѣленъ на двѣ сообщающіяся камеры.

Въ нижней камерѣ на той же оси  $tt$  насажены четыре крыла  $p$ . Въ зависимости отъ скорости вращения диска вращаются и крылья  $p$ ; при этомъ вода изъ сосуда  $D$  гонится въ стеклянную трубку  $h$ . Высота уровня воды измѣняется пропорціонально квадратамъ скоростей вращения.

Градуировка прибора не представляетъ никакихъ затрудненій. Пусть число оборотовъ диска въ минуту  $N$ , тогда угловая скорость вращения

$$\omega = \frac{\pi}{30} N$$

а живая сила

$$T = \frac{1}{2} \sum mv^2 = \frac{\omega^2}{2} J_0,$$

гдѣ  $J_0$  моментъ инерціи относительно оси вращения диска. Такъ какъ высоты уровней воды въ трубѣ пропорціональны  $\omega^2$ , то на шкалѣ могутъ быть написаны величины для  $T$ .

Приборъ имѣющійся на Станціи Испытанія Матеріаловъ при Алексѣевскомъ Донскомъ Политехническомъ Институтѣ даетъ при  $N=294$  обор.;  $\omega=30,772$  и  $T=60$  кгм.

На дѣленіи шкалы, отвѣчающему уровню воды при 294 оборотахъ въ минуту стоитъ 0, дѣленія внизъ идутъ до 60 кгм. черезъ 1 килгр. м. Когда дискъ приведенъ во вращеніе болѣе быстрое чѣмъ 294 об. въ минуту уровень воды поднимается выше 0, вращеніе постепенно замедляется и уровень падаетъ. Въ тотъ моментъ, когда онъ стоитъ на 0, нажатіемъ рукоятки  $G$  испытуемый образецъ подводится подъ ножъ диска. Происходитъ разрушеніе образца, тратится слѣд. нѣкоторая доля живой силы, уровень воды въ трубкѣ соотвѣтственно падаетъ на нѣкоторое число дѣленій, цифра отвѣчающая остановкѣ уровня воды даетъ непосредственно величину работы, пошедшей на разрушеніе образца.

Изъ приведеннаго описанія видно, что пользованіе этимъ приборомъ весьма просто и удобно. Опыты можетъ производить одинъ наблюдатель. Приборъ, производя большую сравнительно работу (60 килогр. метр.), чрезвычайно компактенъ. Для опытовъ требуются малые по размѣру образцы (въ поперечн. сѣченіи около 1 кв. сант., въ длину около 6 сант., съ надрѣзомъ по срединѣ квадратнаго сѣченія въ 1 мм.), что даетъ возможность вырѣзать ихъ больше по количеству изъ различныхъ мѣстъ издѣлія, чѣмъ достигается несомнѣнно большая правильность оцѣнки свойствъ матеріала.

Кромѣ того въ этомъ приборѣ испытуемый образецъ представляетъ изъ себя брусъ свободно лежащій на опорахъ.



## ГЛАВА VIII.

### Общія свѣдѣнія о другихъ испытаніяхъ и специальныхъ пробахъ металловъ.

Кромѣ вышеописанныхъ существуетъ еще цѣлый рядъ другихъ испытаній и пробъ. Такъ какъ они примѣняются либо лишь при научныхъ изслѣдованіяхъ металловъ, либо при приѣмкѣ металловъ, имѣющихъ специальное назначеніе, мы ограничимся здѣсь только перечнемъ ихъ и нѣкоторыми замѣчаніями, тѣмъ болѣе, что общія основныя свѣдѣнія о нихъ приведены нами въ «Введеніи въ курсъ механическихъ испытаній матеріаловъ» (Выпускъ II, Гл. III и Гл. V). Къ числу этихъ испытаній относятся.

I. Изъ категоріи статическихъ пробъ:

- 1) испытаніе на сжатіе,
- 2) испытаніе на продольный изгибъ,
- 3) опыты на перерѣзываніе и продавливаніе дыръ,
- 4) опыты на стираніе.

II. Колебательныя пробы при повторномъ дѣйствіи нагрузки и

III. Технологическія, или заводскія пробы, а именно:

- 1) пробы на гнутье въ холодномъ и горячемъ состояніи,
- 2) разнаго рода кузнечныя пробы: расплющиваніе, сплющиваніе, пробивка дыръ съ послѣдующимъ увеличеніемъ діаметра ихъ, свариваніе и т. п.
- 3) пробы на перегибъ и перекручиваніе.

Наконецъ, надо упомянуть объ испытаніяхъ металловъ на сопротивленіе разнаго рода усиліямъ при повышенной и пониженной температурахъ и о цѣломъ рядѣ другихъ испытаній чисто научнаго характера.

Такъ какъ, всѣ эти испытанія производятся въ исключительныхъ случаяхъ и имѣютъ специальное, различное для cadaго даннаго случая, значеніе, они вообще говоря не подчиняются какимъ-либо правиламъ, и выполняя ихъ заботятся, какъ и при всѣхъ испытаніяхъ лишь о томъ, чтобы методы производства ихъ соответствовали основнымъ положеніямъ науки объ испытаніи матеріаловъ: цѣлесообразность и соответствіе испытанія съ предполагаемой службой и работой матеріала, и однообразіе и сравнимость результатовъ испытанія.

Въ частности относительно *испытанія на сжатіе* замѣтимъ, что, если не считать чугуна, оно при приѣмкѣ матеріаловъ не примѣняется, и имѣетъ исключительно научное значеніе. Общій ходъ производства такихъ опытовъ, подчиняющійся основнымъ положеніямъ, изложеннымъ въ Гл. III, § 2 «Введеніе въ курсъ механическихъ испытаній», совершенно аналогиченъ производству испытаній на сжатіе цементовъ и каменныхъ матеріаловъ \*).

Что касается опытовъ на *перерѣзываніе и продавливаніе дыръ*, равно какъ и *технологическихъ пробъ*, въ связи съ которыми они часто примѣ-

\*) См. Н. М. Абрамовъ. «Испытаніе цементовъ» Спб. 1906 г. и его же «Испытаніе каменныхъ матеріаловъ». Спб. 1907 г.

няются, то они также уже описаны нами въ общихъ чертахъ въ «Введеніи въ курсъ механическихъ испытаній» (Гл. III, § 6 и Гл. V §§ 1—4). Детали производства этихъ пробъ, равно какъ и приборы примѣняемые при этомъ настолько разнообразны и въ то же время настолько произвольны, что было бы затруднительно перечислить ихъ всѣ. Поэтому мы напомнимъ здѣсь лишь, что при производствѣ технологическихъ пробъ необходимо руководствоваться правилами, рекомендуемыми международнымъ обществомъ испытанія матеріаловъ, приложенными къ этому выпуску (См. часть II, приложение II).

Наконецъ, обратимъ вниманіе, что при научныхъ изслѣдованіяхъ металловъ не рѣдко производятъ такіе спеціальныя опыты, какъ испытаніе на *растягиваніе при высокихъ температурахъ*, испытаніе на *стираніе* и испытаніе на сопротивленіе при *колебательныхъ пробахъ*.

---

## Часть II.

### Приложенія.

- I. Схема полученія продуктовъ желѣзной промышленности.
  - II. Методы механическихъ испытаній металловъ и сплавовъ.
  - III. Инструкція для изготовленія нормальныхъ образцовъ на разрывъ при пріемкѣ металловъ.
  - IV. Машины для испытанія металловъ на разрывъ.
  - V. Классификація изломовъ, предложенная инженеромъ Пелымскимъ.
  - VI. Образецъ журнала опыта для опредѣленія упругихъ свойствъ металла при растяженіи.
  - VII. Таблица чиселъ твердости по Фепплю.
  - VIII. Ребондиметръ или склероскопъ.
  - IX. Приборъ „Альфа“.
  - X. Таблицы чиселъ твердости по Бринелю.
  - XI. Образецъ журнала записи опытныхъ данныхъ при скручиваніи металловъ.
-

## С Х Е М А

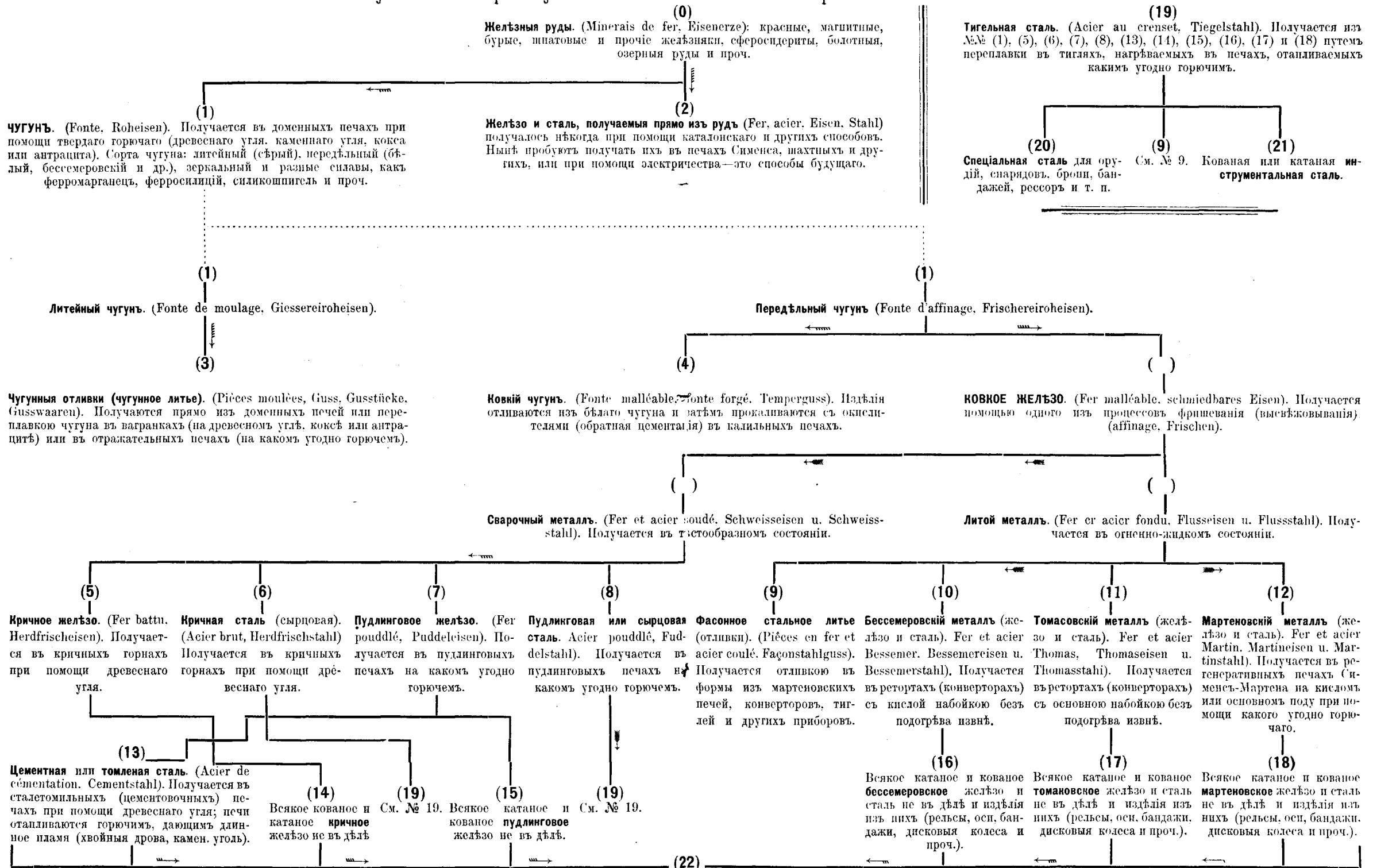
полученія продуктовъ желѣзной промышленности,

изданная отдѣломъ по испытанію и освидѣтельствуванію заказовъ Министерства Путей Сооб-  
щенія и составленная инженеромъ при Отдѣлѣ *С. Жуковскимъ*.



# СХЕМА

## получения продуктовъ желѣзной промышленности.



## Методы механическихъ испытаній металловъ и сплавовъ, рекомендованныя IV-мъ Конгрессомъ Международнаго Общества Испытанія Матеріаловъ.

### I. Общія положенія.

§ 1. Результаты испытаній необходимо дополнять возможно болѣе полными свѣдѣніями о природѣ матеріала, его происхожденіи, способѣ фабрикаціи, а равно и способѣ изготовленія образцовъ для опытовъ; необходимо также указывать по возможности всѣ механическія, микроскопическія и химическія свойства.

§ 2. Всѣ приспособленія, служащія для испытанія матеріаловъ, должны быть конструированы такимъ образомъ, чтобы можно было легко и точно ихъ провѣрять.

§ 3. Необходимо возможно часто провѣрять точность машинъ, равно какъ и измѣрительныхъ приборовъ.

§ 4. При научныхъ изслѣдованіяхъ нужно стремиться къ достиженію такихъ условій производства опытовъ, при которыхъ была бы гарантирована наибольшая возможная точность результатовъ.

§ 5. Приборы служащіе для повѣрки машинъ и инструментовъ должны обладать значительно большею степенью точности, нежели машины, для повѣрки которыхъ они предназначены.

§ 6. При производствѣ опытовъ съ практической цѣлью нѣтъ необходимости добиваться точности, превосходящей точность испытательныхъ машинъ, а при вычисленіи результатовъ опытовъ нужно сообразоваться со свойственнымъ испытываемому матеріалу предѣломъ, за которымъ существенные недостатки его легко могутъ быть смѣшаны съ случайными недочетами въ испытываемыхъ образцахъ, т. е. за которымъ полученные результаты могутъ зависѣть какъ отъ существенныхъ недостатковъ матеріала, такъ и отъ случайныхъ недочетовъ въ испытываемыхъ образцахъ.

§ 7. Вообще, точность отъ 1 до 2-хъ % считается достаточной.

§ 8. Въ протоколахъ испытаній слѣдуетъ также возможно подробно указывать методы испытаній и приборы, съ помощью которыхъ они были произведены, чтобы можно было сравнивать результаты и оцѣнивать числовыя данныя, т. е. устанавливать степень ихъ точности.

### II. Методы.

#### A. Испытаніе сопротивленія.

##### а. Общія замѣчанія.

§ 9. Прежде всего матеріалы должны при испытаніи подвергаться такого же рода усиліямъ, каковымъ они подвергаются при ихъ практическомъ примѣненіи.

§ 10. При испытаніи металловъ, которые обыкновенно примѣняются при постройкахъ, скорость производства опытовъ должна быть умѣренная, такъ какъ иначе результаты будутъ только приблизительные.

**в. Испытаніе постепенно возрастающей нагрузкой \*).**

*1) Машины съ приспособленіями.*

а) Машины и измѣрительные приборы.

§ 11. Испытательныя машины должны быть построены такимъ образомъ, чтобы нормально онѣ работали безъ толчковъ.

**б) Захваты.**

§ 12. Захваты должны быть сдѣланы такъ, чтобы дѣйствіе разрывающей или сжимающей нагрузки (усилія) распредѣлялось по возможности равномерно по всему сѣченію образца.

§ 13. Для этого нужно:

а) при испытаніи на сжатіе: чтобы одна изъ двухъ опоръ съ гладкой, полированной поверхностью могла вращаться на сферическомъ подшипникѣ;

б) при испытаніи на разрывъ: чтобы испытуемый брусокъ обладалъ возможно большею подвижностью для того, чтобы онъ могъ самъ принять надлежащее положеніе съ самаго начала опыта.

§ 14. При испытаніи на разрывъ это условіе, какъ доказываетъ опытъ, можетъ быть выполнено:

а) для цилиндрическихъ образцовъ, если сферическій захватъ сдѣланъ по преимуществу изъ цѣльнаго куска;

б) для образцовъ съ прямоугольнымъ сѣченіемъ, если въ головкѣ образцовъ сдѣлано отверстие съ проходящимъ черезъ него стержнемъ. Необходимо, чтобы эти отверстия точно совпадали съ продольной осью образцовъ.

*Примѣчаніе.* Захваты съ нарѣзкой съ завершенными углами легко способствуютъ появленію косыхъ усилій; тѣмъ не менѣе они удобны для практики, и при употребленіи ихъ результаты обыкновенно получаются достаточно точные.

**с) Автоматическіе регистраторы (для діаграммъ).**

§ 15. Регистраторы для діаграммъ должны обладать такой же точностью, какъ машины и измѣрительные приборы (см. § 7).

*Примѣчаніе.* Регистраторы предпочтительно употреблять, какъ контрольные аппараты, даже въ томъ случаѣ, если точность ихъ менѣе точности послѣднихъ.

*2) Образцы.*

а) Выемка образцовъ.

§ 16. Нужно вообще брать образцы въ томъ мѣстѣ испытываемаго куска,

\*) Въ этой главѣ разсматриваются только испытанія на сжатіе и на разрывъ, такъ какъ другіе способы испытанія постепенно возрастающей нагрузкой, а именно:

испытаніе на сгибаніе (для рельсовъ, чугуна и т. д.);

испытаніе на продольный изгибъ (изломъ при сжатіи);

испытаніе на скручиваніе,

испытаніе на срѣзываніе и

испытаніе на продавливаніе дыръ.

вообще рѣдко примѣняются при испытаніи матеріаловъ; они производятся только въ спеціальныхъ случаяхъ, поэтому ниже приведены особія указанія по этому вопросу.

гдѣ качество его, которое желательно провѣрить, имѣетъ наибольшее практическое значеніе или гдѣ оно наиболѣе желательно.

Такъ какъ условия выемки образцовъ зависятъ отъ специальныхъ свойствъ даннаго матеріала, о нихъ будетъ сказано для каждаго матеріала отдѣльно.

### б) Размѣры и изготовленіе образцовъ.

#### Испытаніе на сжатіе.

§ 17. Поверхности образцовъ, непосредственно воспринимающія нагрузки, должны быть по возможности плоски, параллельны между собой и перпендикулярны къ оси, проходящей черезъ ихъ центры.

§ 18. Для образцовъ, испытываемыхъ на сжатіе, слѣдуетъ по возможности придерживаться формы куба.

§ 19. Въ тѣхъ случаяхъ, когда нельзя имѣть квадратное сѣченіе, длина  $l$  образца должна быть равна величинѣ:

$$\sqrt{f}.$$

гдѣ  $f$  есть площадь поперечнаго сѣченія.

#### Испытаніе на разрывѣ.

§ 20. Для металловъ, обладающихъ суженіемъ, выборъ расчетной длины  $l$  значительно вліяетъ на величину удлиненія при разрывѣ. Ее опредѣляютъ обыкновенно по формулѣ  $l = n\sqrt{f}$ . Во многихъ странахъ принимаютъ  $n = 11,3$ . Во всѣхъ случаяхъ вычисленную такимъ образомъ длину округляютъ до цѣлаго числа сантиметровъ и указываютъ величину  $n$  въ видѣ индекса, напр.  $\delta_{11,3} = 10,9^{10}$ .

§ 21. Ввиду вліянія формы сѣченія на суженіе, у образцовъ съ прямоугольнымъ сѣченіемъ по возможности дѣлаютъ ширину въ 3—4 раза больше толщины.

§ 22. Во избѣжаніе вліянія головокъ образцовъ, если они ихъ имѣютъ, или захватовъ, въ которыхъ закрѣпляются образцы не имѣющіе головокъ, необходимо, чтобы длина призматической части или части образца между захватами превосходила расчетную длину по крайней мѣрѣ:

на одинъ діаметръ съ каждой стороны у цилиндрическихъ образцовъ, на ширину ихъ съ каждой стороны для образцовъ съ прямоугольнымъ сѣченіемъ.

§ 23. У пробныхъ брусковъ съ головками необходимо эти послѣднія сопрягать закругленіями съ остальной частью образца.

### 3) Производство опытовъ.

#### Испытаніе на сжатіе.

§ 24. Нѣтъ необходимости давать спеціальныя указанія о производствѣ опытовъ на сжатіе.

#### Испытаніе на разрывѣ.

§ 25. При *простыхъ* опытахъ на растяженіе нужно опредѣлять:

- а) кажущійся предѣлъ упругости,
- б) сопротивленіе разрыву,
- в) удлиненіе послѣ разрыва,
- г) суженіе въ мѣстѣ разрыва;



а при болѣе *полномъ* испытаніи:

- e) предѣлъ упругости,
- f) предѣлъ пропорціональности,
- g) коэффициентъ удлиненія (упругости) или модуль упругости.

§ 26. Измѣрительные приборы, служащіе для опредѣленія предѣла упругости и пропорціональности, должны давать удлиненіе съ точностью до 0,0005%.

§ 27. За предѣлъ упругости принимаютъ напряженіе, подѣ дѣйствіемъ котораго можно на практикѣ считать металлъ совершенно упругимъ. Предѣлъ упругости долженъ быть установленъ съ точностью до 0,001%, постояннаго удлиненія.

§ 28. За предѣлъ пропорціональности принимаютъ напряженіе, до котораго приращенія удлиненій остаются равными при увеличеніи напряженія на одну и ту же величину, примѣрно 100 клг. на кв. сант; при такихъ интервалахъ величину приращенія удлиненія можно считать постоянной, если она отличается отъ средней величины приращенія не болѣе, какъ на 0,0005% наблюдаемой длины.

§ 29. При ходовыхъ испытаніяхъ (практическихъ) необходимо опредѣлять кажущійся предѣлъ упругости съ помощью приборовъ, которые позволяли бы вычислять измѣренія длины съ точностью по крайней мѣрѣ до 0,1%.

§ 30. За кажущійся предѣлъ упругости принимаютъ напряженіе, при которомъ удлиненіе отличается отъ постояннаго, примѣрно на 0,2—0,5%.

*Примѣчаніе.* На основаніи сказаннаго можно легко опредѣлять кажущійся предѣлъ упругости съ помощью масштаба, раздѣленнаго на сотыя доли расчетной длины. Для многихъ матеріаловъ установка или паденіе жидкости въ манометръ или рычага указываетъ съ достаточной точностью кажущійся предѣлъ упругости.

§ 31. За сопротивленіе разрыву принимаютъ наибольшее напряженіе, которое было достигнуто при опытѣ.

§ 32. Напряженія, соотвѣтствующія различнымъ предѣламъ, нужно вычислять съ точностью до 10 киллограммовъ на квадратный сантиметръ.

§ 33. При опредѣленіи напряженія при разрывѣ, т. е. сопротивленія разрыву, должно увеличивать нагрузку по возможности прибавляя не болѣе 50 киллограммовъ на квадратный сантиметръ.

§ 34. Удлиненіе можно опредѣлить: 1) измѣряя двѣ части бруска, заключающіяся между поверхностями излома и мѣтками, опредѣляющими расчетную длину, 2) измѣряя дѣленія, намѣченныя на призматической части образца.

§ 35. Въ первомъ случаѣ исключаютъ изъ опредѣленія удлиненія тѣ образцы, въ которыхъ разрывъ происходитъ въ крайней четверти расчетной длины.

§ 36. Во второмъ случаѣ при опредѣленіи удлиненія при разрывѣ можно всегда допустить предположеніе, что разрывъ произошелъ посрединѣ, такъ какъ деформации обѣихъ половинокъ образца почти совершенно симметричны.

*Примѣчаніе.* Если, напримѣръ, расчетная длина, соотвѣтствующая сѣченію, равна 18 сант., то нужно измѣрить въ сантиметрахъ по 9 дѣленій съ каждой стороны сѣченія въ мѣстѣ разрыва. Измѣреніе нужно начать съ ближайшаго къ мѣсту разрыва дѣленія и прибавить обѣ части того дѣленія, гдѣ произошелъ разрывъ.

Если разрывъ произошелъ не на 9 дѣленій отъ какого-нибудь края, а только, напримѣръ, на 5, то недостающія 4 дѣленія дополняютъ соотвѣтствующими 4-мя дѣленіями съ другой стороны сѣченія вблизи разрыва.

§ 37. Для измѣренія удлиненія достаточно пользоваться масштабомъ съ дѣленіями.

### с. Испытанія при ударномъ дѣйстви нагрузки.

#### 1) Приборы для ударной пробы.

§ 38. Ударная проба должна производиться аппаратами, удовлетворяющими слѣдующимъ условіямъ.

§ 39. Обыкновенный вѣсъ бабы долженъ быть въ 1000 клг. или въ 500 клг. Въ особыхъ случаяхъ можно допустить большій вѣсъ бабы.

§ 40. Бабы могутъ быть чугуныя и изъ кованой или литой стали.

§ 41. Центръ тяжести бабы долженъ находиться по возможности ниже.

§ 42. Вертикальная линія, совпадающая съ центромъ тяжести бабы, должна совпадать съ осью симметріи направляющихъ.

§ 43. Направленіе вертикальной линіи, проходящей чрезъ центръ тяжести бабы, должно быть ясно обозначено на станкѣ или на наковальнѣ.

§ 44. Отношеніе между діаметромъ бабы и разстояніемъ между двумя направляющими должно быть больше, чѣмъ 2:1.

§ 45. Приспособленія, направляющія бабу, должны сообщать ей вертикальное паденіе; они должны быть расположены такимъ образомъ, чтобы треніе при паденіи было наименьшее. Направляющія слѣдуетъ смазывать графитомъ.

§ 46. Ударяющая часть бабы должна быть изъ кованой стали. Она должна имѣть фаски по угламъ и быть скруглена на концѣ; центръ тяжести ея долженъ лежать на одной вертикальной линіи съ центромъ тяжести массы всей бабы. Для повѣрки правильности положенія этой линіи должны быть специальныя отмѣтки.

§ 47. Нижняя часть бабы, непосредственно ударяющая испытуемый образецъ, должна быть закруглена радіусомъ въ 150 миллиметровъ. При опытахъ, при которыхъ предписано употребленіе формы, соотвѣтствующей профилю части образца, получающей ударъ, на примѣръ при испытаніи бандажей, нужно, чтобы верхняя непосредственно воспринимающая ударъ часть формы была плоская.

§ 48. Формы эти должны быть легки и вѣсить, если возможно 20 клг.

§ 49. Захватъ для подъема бабы долженъ быть устроенъ такимъ образомъ, чтобы онъ не оказывалъ ни малѣйшаго вліянія на свободное паденіе ея.

§ 50. Необходимо имѣть механизмъ, который препятствовалъ бы случайному паденію бабы.

§ 51. Станина должна быть чугуныя, цѣльная и вѣсъ ея долженъ быть по меньшей мѣрѣ въ 10 разъ больше вѣса бабы.

§ 52. Каменный фундаментъ долженъ представлять изъ себя солидный и прочный массивъ, вѣсъ котораго можетъ быть различный въ зависимости отъ находящагося въ распоряженіи мѣста, а объемъ по крайней мѣрѣ въ 6 разъ больше объема станины.

§ 53. Опорныя части, поддерживающія испытываемые образцы, должны быть прочно закрѣплены на станинѣ.

§ 54. Необходимо имѣть приспособленіе, которое препятствовало бы пробному образцу выпадать отъ опорныхъ частей прежде, чѣмъ онъ выдержитъ работу на ударъ.

§ 55. Шкала, служащая для измѣренія высоты паденія бабы, должна быть раздѣлена на сантиметры и должна быть подвижна.

#### 2) Исполненіе опытовъ.

§ 56. Необходимо повѣрять вертикальность направляющихъ и свободное паденіе бабы.

§ 57. Пробные образцы должны лежать такимъ образомъ, чтобы баба ударяла ихъ точно серединой своего ударнаго приспособленія.

*Примѣчаніе.* Въсь бабы и высоты паденія необходимо указывать особо, (такъ какъ дѣйствіе удара зависитъ отъ каждой этой величины).

## В. Заводскія (технологическія) пробы.

### а. Пробы на сгибаніе до соприкасанія сторонъ, на сгибаніе по лекалу (на опредѣленный уголъ) и на гнутье.

§ 58. Эти пробы должны производиться съ помощью машины съ медленнѣмъ равномернымъ ходомъ дѣйствія.

§ 59. Онѣ могутъ исполняться двумя способами:

- а) машина производитъ давленіе на средину образца, помѣщеннаго на двухъ опорахъ или
- б) производитъ боковое давленіе на образецъ, закрѣпленный только съ одной стороны.

§ 60. Образцы можно согнуть:

1) нажимая его свободно дѣйствующимъ ребромъ, помѣщеннымъ на концѣ поршня (§ 59а), или клещами (§ 59б) (сгибаніе до соприкасанія сторонъ);

2) сгибая его вокругъ ребра такъ, чтобы внутренняя часть образца плотно прилегала къ послѣднему (сгибанію по лекалу).

§ 61. Во всѣхъ пробахъ на сгибаніе до соприкасанія или на сгибаніе по лекалу нужно брать величину діаметра послѣдняго такъ, чтобы она соотвѣтствовала испытываемому металлу и чтобы число, выражающее ее, было кратнымъ числа, выражающаго толщину испытываемаго куска.

§ 62. Ширина образцовъ должна быть обыкновенно въ четыре раза больше толщины ихъ.

§ 63. Для образцовъ изъ профильнаго желѣза нужно по возможности сохранять размѣръ сѣченій ихъ.

§ 64. Грани (ребра) средней части образцовъ должны быть закруглены.

§ 65. При пробахъ на сгибаніе до соприкосновенія сторонъ, качество металла можно опредѣлить по отношенію толщины образца ( $a$ ) къ радіусу кривизны ( $\rho$ ) нейтральнаго волокна, на который можно согнуть образецъ, не ломая его.

§ 66. Характеристикой качества металла при сгибаніи до соприкасанія является величина  $50 \frac{a}{\rho}$ .

§ 67. Простѣйшимъ способомъ можно измѣрить радіусъ кривизны съ достаточной точностью съ помощью лекала, которое прикладываютъ къ наружной поверхности образца.

§ 68. Радіусы лекалъ должны возрастать на 2 миллиметра, начиная съ 2-хъ.

§ 69. Дуга отверстія лекала всегда должно равняться  $45^\circ$ .

§ 70. Опыты на сгибаніе до соприкасанія нужно производить:

а) *надъ металлами въ томъ видѣ, какъ они доставлены.* Въ этомъ случаѣ необходимо отрѣзывать образецъ въ холодномъ состояніи (безъ нагрѣва) и по возможности такимъ образомъ, чтобы онъ не подвергался никакимъ деформациямъ (безъ употребленія ножницъ, см. § 88);

б) *посль отжига.* Металлъ отжигается соотвѣтственно его качествамъ: желѣзо примѣрно до  $800^\circ$  С., т. е. до краснаго каленія, затѣмъ даютъ ему медленно остыть; относительно мѣди см. § 125;

г) *послѣ закалки*. Образцы нагрѣваютъ примѣрно до  $800^{\circ}$  и тотчасъ же охлаждають въ водѣ при температурѣ отъ  $15-30^{\circ}$  С., постоянно помѣшивая воду.

§ 71. Опыты на сгибаніе до соприкасанія въ холодномъ состояніи производять при температурѣ окружающаго воздуха ( $10-30^{\circ}$  С.), или искусственно охлаждая ихъ (ниже  $0^{\circ}$  С.).

§ 72. Пробы на сгибаніе до соприкосновенія въ горячемъ состояніи можно дѣлать надъ образцами нагрѣтыми до синяго или до краснаго каденія. Въ первомъ случаѣ температура, до которой нагрѣваютъ, должна быть достаточна, чтобы окрасить въ синій цвѣтъ часть образца, отполированную напилькомъ. (Если желательная температура не была достигнута, нельзя получить синее окрашиваніе; если же температура была выше, окраска сгущается почти до чернаго цвѣта).

Во второмъ случаѣ образцы должны быть нагрѣты настолько, чтобы въ темнотѣ они казались совершенно красными (примѣрно около  $600^{\circ}$  С.).

§ 73. Пробѣ на сгибаніе до соприкасанія можно подвергать также образцы, предварительно надрѣзанные, съ продавленными дырами и т. д.

§ 74. Надрѣзы дѣлають на внѣшней сторонѣ образца, съ помощью строгальнаго или фрезернаго станка, въ видѣ желобка съ прямымъ угломъ, глубиною въ 0,2 толщины образца.

§ 75. Продавливать дыры нужно по срединѣ, по возможности на образцахъ, ширина которыхъ въ 5 разъ больше толщины, съ помощью пробойника (пуансона), діаметръ котораго равенъ двойной толщинѣ образца.

## в. Кузнечныя пробы.

### 1) Пробы на расплющиваніе.

(Перпендикулярно къ оси образца).

§ 76. Пробы на расплющиваніе производять либо съ помощью молотвъ, либо съ помощью маленькаго песта (колотушки), работающаго съ большой быстротой. Часть молота, непосредственно производящая ударъ, должна представлять цилиндръ діаметромъ въ 15 мм. и должна ударять перпендикулярно направленію, по которому желательно расплющить образецъ.

§ 77. Образецъ долженъ имѣть ширину въ 3 раза больше толщины, и ширина эта или длина расплющиваемой части должна сдѣлаться въ  $1\frac{1}{2}$ —2 раза больше первоначальной ширины.

§ 78. За мѣру расширенія или удлиненія, до появленія какихъ-либо надрывовъ, нужно принимать величину  $100 \frac{b_1}{b}$ , или соотвѣтственно  $100 \frac{h}{l}$ .

### 2) Пробы на сплющиваніе.

(Вдоль оси образца).

§ 79. Пробы на сплющиваніе производять съ помощью молота или песта (колотушки), работающаго съ большой скоростью.

§ 80. Образцы должны имѣть по возможности форму цилиндровъ, высота которыхъ равна двойному діаметру.

§ 81. Мѣрой сплющиванія служитъ уменьшеніе высоты, до появленія трещины, выраженное въ  $\%$  отъ первоначальной.

### 3) Пробы на продавливаніе.

§ 82. При пробахъ на продавливаніе дыръ узнають, на какомъ разстояніи отъ края можно пробить правильную безъ надрывовъ по краямъ

дыру на образцѣ, нагрѣтомъ до краснаго каленія, имѣющемъ ширину въ 5 разъ больше толщины, дѣйствуя пробойникомъ (пуансономъ), діаметръ котораго равенъ толщинѣ образца.

§ 83. Мѣрой сопротивленія образованію надрывовъ и трещинъ считаютъ отношеніе между величиной толщины образца и удвоеннымъ разстояніемъ окружности продавленной дыры до края образца.

#### *4) Пробы на увеличеніе діаметра дыръ съ помощью пробойника.*

§ 84. При пробахъ на увеличеніе діаметра дыры съ помощью пробойника, въ образцѣ, ширина котораго въ 5 разъ больше толщины, нагрѣтомъ до краснаго каленія, пробиваютъ сначала съ помощью пуансона и молотка дыру, діаметръ которой въ два раза больше толщины образца, и потомъ съ помощью конического пробойника разбиваютъ дыру (увеличиваютъ въ діаметрѣ) до появленія трещинъ.

§ 85. Степень коничности пробойника должна быть такова, чтобы на каждый сантиметръ его длины діаметръ его увеличивался на одинъ миллиметръ.

§ 86. Если необходимо, образецъ нагрѣваютъ въ нѣсколько приемовъ и забиваютъ пробойникъ поочередно съ двухъ сторонъ, чтобы избѣжать такимъ образомъ образования острыхъ закраинъ на одной изъ сторонъ.

§ 87. Мѣрой достигнутаго расширенія дыры считаютъ величину  $\frac{d_1}{d} 100$ , гдѣ  $d$  діаметръ дыры, пробитой пуансономъ, а  $d_1$  діаметръ увеличенный.

### **III. Спеціальныя правила для испытанія матеріаловъ съ опредѣленнымъ назначеніемъ.**

#### **A. Желѣзныя и стальные издѣлія, прокатныя и кованыя.**

##### **а. Общія замѣчанія.**

§ 88. Образцы должны быть изготовлены въ холодномъ состояніи (безъ нагрѣва) и по возможности съ помощью инструментовъ, не вызывающихъ въ матеріалѣ деформаций.

§ 89. Если образцы вырѣзаны изъ кривыхъ частей или, если при изготовленіи съ помощью ножницъ, они подвергались деформации, необходимо ихъ выправить въ холодномъ состояніи съ помощью прессы или съ помощью мѣдной колотушки въ томъ случаѣ, если металлъ не долженъ быть нагрѣтъ; въ противномъ случаѣ ихъ нагрѣваютъ до вишнево-краснаго каленія (примѣрно 650° С.).

§ 90. Если образцы при изготовленіи подвергались дѣйствию ножницъ, зубила или пробойника, необходимо на каждомъ образцѣ съ каждой стороны его, на протяженіи всей полезной длины (§ 22), снять металлъ по крайней мѣрѣ на 5 миллиметровъ съ помощью рѣжущихъ инструментовъ (на строгательномъ или на фрезерномъ станкѣ).

§ 91. Не должно, если этого не требуется для приготовленія образца, отжигать образцы до опыта. Отжигъ долженъ производиться приблизительно при 800° С., охлажденіе же должно быть медленное.

§ 92. На образцахъ должна быть по возможности сохранена поверхность, непосредственно подвергавшаяся дѣйствию прокатныхъ валовъ.

§ 93. Въ отрѣзанныхъ листахъ берутъ пробы вдоль и поперекъ, съ

обѣихъ сторонъ. Въ листахъ необрѣзанныхъ (листы не обдѣланные) ихъ изготовляютъ изъ боковыхъ кромокъ или обоихъ концовъ.

Въ листахъ не обрѣзанныхъ берутъ пробу по крайней мѣрѣ на разстояніи 30 миллиметровъ отъ необдѣланнаго конца.

### в. Желѣзнодорожные рельсы.

§ 94. Рельсы прежде всего надо испытывать на *изгибъ при ударномъ дѣйствіи* нагрузки \*) (§§ 38—57).

§ 95. Для устраненія вліянія концовъ, свѣшивающихся за опоры, длину ихъ берутъ равной высотѣ профиля.

§ 96. Если является потребность въ какихъ-либо другихъ данныхъ о природѣ металла, то производятъ по крайней мѣрѣ простыя опыты на растяженіе.

§ 97. При испытаніи на разрывъ рекомендуется изготовлять образцы, преимущественно изъ наружныхъ частей профиля.

### с. Оси и бандажи.

§ 98. Оси и бандажи нужно испытывать на *изгибъ при ударномъ дѣйствіи* нагрузки. (Пролетъ для первыхъ долженъ быть равенъ 1,5 метрамъ).

Въ тѣхъ случаяхъ, когда является необходимость въ большемъ выясненіи природы металла, прибѣгаютъ къ *опытамъ на разрывъ*.

### д. Мостовое желѣзо.

#### 1) Сварочное желѣзо.

§ 99. Сварочное желѣзо, служащее для постройки мостовъ, должно быть подвергаемо *испытаніямъ на растяженіе* и *пробамъ на гнутье*.

§ 100. Пробы на гнутье должны быть производимы надъ образцами безъ надрѣзовъ, какъ въ холодномъ состояніи, такъ и въ нагрѣтомъ (до краснаго каленія) (§§ 71, 72).

§ 101. Желѣзо, предназначенное для изготовленія заклепокъ, необходимо подвергать также пробамъ на сплющиваніе (вдоль оси образца) въ нагрѣтомъ до краснаго каленія состояніи, сохраняя наружную поверхность, непосредственно подвергавшуюся обработкѣ.

#### 2) Литое желѣзо (мягкая сталь).

§ 102. Для литого желѣза остаются въ силѣ всѣ тѣ правила, какими руководствуются при испытаніи сварочнаго желѣза; необходимо только вмѣсто пробъ на гнутье въ горячемъ состояніи, производить пробы на гнутье надъ образцами послѣ закалки, нагрѣтыми до синяго каленія и *надъ образцами съ надрѣзами*.

### е. Котельное желѣзо.

#### 1) Сварочное желѣзо.

§ 103. Листы должны быть подвергаемы: испытанію на растяженіе; пробамъ на гнутье образцовъ въ холодномъ состояніи и нагрѣтыхъ до

\*) *Примѣчаніе.* Пробы на вдавливаніе шарика (пробы на твердость), на вытраиваніе и на испытаніе ударомъ надрѣзанныхъ образцовъ оставлены въ сторонѣ, такъ какъ работы комиссій, занятыхъ ихъ изученіемъ еще не закончены.

краснаго каленія; пробамъ на расплющиваніе перпендикулярно къ направленію прокатки и на увеличеніе діаметра дыръ.

§ 104. Когда нужно испытать листы уже обработанные или желательнo узнать, какими качествами обладали до своей службы листы, уже бывшіе въ употребленіи, пробы для испытаній нужно брать въ частяхъ листовъ, не слишкомъ утоненныхъ путемъ обработки и по возможности наиболѣе прямыхъ.

§ 105. Въ тѣхъ случаяхъ когда имѣются въ распоряженіи только гнутые листы, для выемки образца пользуются сверломъ или круглой пилой. Вслѣдъ за тѣмъ образцы должны быть подвергнуты тщательной обработкѣ, согласно указаніямъ §§ 89—91.

§ 106. Уголки должно подвергать испытаніямъ на растяженіе, на гнутье въ холодномъ и горячемъ состояніяхъ, на расплющиваніе и на увеличеніе діаметра дыръ

§ 107. Кромѣ обыкновенныхъ пробъ на гнутье въ холодномъ состояніи и нагрѣтыхъ до краснаго каленія образцовъ безъ надрѣзовъ, взятыхъ изъ полокъ, очень полезно подвергать уголки слѣдующей пробѣ: у отрѣзка длиною въ 100 миллиметровъ стараются либо развернуть въ одну плоскость, либо сложить вмѣстѣ обѣ полки до появленія надрывовъ.

§ 108. Желѣзо, назначенное для изготовленія заклепокъ, должно быть подвергнуто простому испытанію на растяженіе и пробамъ на гнутье (безъ надрѣзовъ) и на сплющиваніе (вдоль оси образца) (въ холодномъ состояніи).

## 2) *Литое желѣзо (мягкая сталь).*

§ 109. При испытаніи литого желѣза соблюдать тѣ же правила, что и при испытаніи сварочнаго; при пробахъ на гнутье можно ограничиваться сгибаніемъ послѣ закалки.

## f. Желѣзо для судостроенія.

### 1) *Сварочное желѣзо.*

§ 110. Сварочное желѣзо должно быть подвергаемо слѣдующимъ испытаніямъ: на растяженіе, на гнутье (безъ надрѣзовъ) въ холодномъ состояніи (§ 71) и при красномъ каленіи (§ 72) и на расплющиваніе (перпендикулярно къ оси образца).

### 2) *Литое желѣзо (мягкая сталь).*

§ 111. Литое желѣзо должно быть подвергаемо испытаніямъ: на растяженіе, на гнутье въ холодномъ состояніи (§ 71), при красномъ каленіи (§ 72), послѣ закалки (§ 70) и кузнечнымъ пробамъ.

## g. Проволока.

§ 112. Проволока должна подвергаться слѣдующимъ испытаніямъ: на простое растяженіе, на скручиваніе, на гнутье и на переменное сгибаніе и расгибаніе.

§ 113. При испытаніяхъ на растяженіе полезная длина должна равняться минимум 50 діаметрамъ.

§ 114. Испытаніе на скручиваніе должно дѣлать на специальной машинѣ. Испытаніямъ подвергаются образцы, полезная длина которыхъ равна минимум 75 діаметрамъ проволоки. Такую же полезную длину берутъ и при испытаніи на растяженіе.

§ 115. Машина должна допускать измѣненіе длины такъ, чтобы не было чувствительнаго ограниченія для скручиванія.

§ 116. При гнутѣ проволоку зажимаютъ въ клещахъ съ закругленными краями, причемъ радіусъ закругленія долженъ быть вдвое больше діаметра проволоки (см. § 61).

§ 117. Часть проволоки, находящаяся внѣ клещей, не должна испытывать никакихъ продольныхъ напряженій. Длина проволоки между началомъ закругленія въ клещахъ и той точкой, въ которой касается проволоки приспособленіе, заставляющее ее сгибаться, должна равняться 15 діаметрамъ проволоки.

§ 118. Число перегибовъ служитъ мѣрой для опредѣленія качества проволоки.

Полный перегибъ получаютъ, сгибая проволоку на 90° и возвращая ее потомъ въ ея первоначальное положеніе. Сгибаніе производятъ попеременно вправо и влево такимъ образомъ, чтобы въ сгибаемой части проволоки чередовались растягивающія и сжимающія усилія.

## II. Металлическіе канаты.

§ 119. Металлическіе канаты нужно прежде всего подвергать испытанію на растяженіе.

§ 120. Полезная длина должна быть по возможности въ 30 разъ больше діаметра каната, но не менѣе 500 миллиметровъ.

§ 121. Прежде чѣмъ отрѣзать отъ каната образецъ для испытанія, оба конца намѣченного для отрѣзыванія куска должны быть прочно перевязаны на протяженіи по крайней мѣрѣ 25 миллиметровъ.

*Примѣчаніе.* Обдѣлку концовъ съ цѣлью приспособленія ихъ къ закрѣпленію въ машинѣ лучше всего производить въ коническихъ формахъ, зашивая концы каната съ расплетенными проволоками сплавомъ Вуда (1 ч. кадмія, 1 ч. олова, 8 ч. свинца и 15 ч. висмута)\*; для обдѣлки берутъ длину отъ 10 до 12 разъ большую діаметра; прежде чѣмъ отрѣзать кусокъ каната, прочно перевязываютъ его желѣзной проволокой и концы каната внѣ перевязки расплетаютъ, чтобы лучше удержатъ на мѣстѣ канатныя пряди при испытаніи каната. Концы расплетенныхъ проволокъ должны быть также выдужены для увеличенія сѣченія ихъ со сплавомъ Вуда. Такое луженіе концовъ не оказываетъ ощутительнаго вліянія на составъ сплава, которымъ можно пользоваться нѣсколько разъ. Канаты съ діаметромъ больше 15 мм. можно приготовить для закрѣпленія въ машинѣ съ помощью мѣднаго клина длиной не менѣе 20 сантиметровъ, помѣщая его между прядями каната и обвивая желѣзной проволокой весь конецъ, предназначенный для закрѣпленія въ машинѣ.

## В. Чугунъ.

§ 122. Образцы должны имѣть длину въ 110 сантиметровъ и квадратное сѣченіе въ 3 сантим. въ сторонѣ. Нужно указывать способъ отливки ихъ (въ лежачемъ положеніи, стоя или въ еще какомъ-нибудь). Испытаніе заключается въ сгибаніи брусковъ сосредоточенной нагрузкой, дѣйствующей по срединѣ пролета въ 1 метръ. Половинки переломленнаго бруска подвергаютъ испытаніямъ на разрывъ и на сжатіе. Образцы, необходимые для этого, вытачиваютъ на токарномъ станкѣ.

## С. Мѣдь.

§ 123. Мѣдь должна быть подвергаема слѣдующимъ испытаніямъ:

1) въ формѣ пластинокъ, листовъ и брусковъ: испытанію на *разрывъ*

\*) Или слѣдующимъ сплавомъ: 9 ч. свинца, 1 ч. висмута и 2 ч. антимонія.



и пробамъ на *гнутье* въ холодномъ (§ 71) и въ нагрѣтомъ состояніи (§ 72) [бруски подвергають также пробѣ на сплющиваніе (вдоль оси)];

2) въ формѣ проволоки: испытаніямъ на *разрывъ*, на *перемѣнное сгибаніе* и на *скручиваніе* (см. §§ 113 и слѣд.).

§ 124. Металлъ долженъ подвергаться испытанію въ томъ видѣ, въ какомъ онъ доставленъ, а въ случаѣ п. 1 (§ 123) послѣ отжига (см § 125).

§ 125. Для отжига мѣдь нагрѣвають самое большее до 600<sup>o</sup>—700<sup>o</sup> С. Сначала ее охлаждають на воздухъ до исчезновенія краснаго окрашиванія, а потомъ ее погружаютъ въ воду, имѣющую температуру около 15<sup>o</sup> С.

§ 126. Образцы должны быть вырѣзаны въ холодномъ состояніи съ помощью рѣжущихъ инструментовъ. Необходимо по возможности избѣгать выправленія образцовъ послѣ вырѣзыванія ихъ.

§ 127. Во всякомъ случаѣ выправлять необходимо со всевозможными предосторожностями съ помощью деревянныхъ или мѣдныхъ колотушекъ.

§ 128. Въ томъ случаѣ, когда желаютъ испытывать мѣдь въ отожженномъ состояніи, можно для выправленія образцовъ нагрѣть ихъ послѣ приданія имъ окончательной формы; но для отжига ихъ надо нагрѣть снова.

§ 129. Для мѣди обработка образцовъ оказываетъ громадное вліяніе на результаты испытанія. Окончательную обработку нужно исполнять съ самыми большими предосторожностями, особенно не должна прерываться работа на протяженіи всей полезной длины (§ 22) образца; толщина послѣдней стружки должна быть очень маленькая.

§ 130. Образцы должны быть простроганы напилькомъ по направленію ихъ длины и отполированы наждачной бумагой. Ребра образцовъ прямоугольнаго сѣченія должны быть немного скруглены.

§ 131. Пробы на гнутье въ холодномъ состояніи нужно производить при температурѣ не менѣе 10<sup>o</sup> С.

§ 132. Пробы на гнутье въ горячемъ состояніи должны быть сдѣланы надъ образцами, нагрѣтыми до темно-вишнево-краснаго каленія (примѣрно 600<sup>o</sup> С.).

§ 133. Относительно производства испытаній мѣдной проволоки см. уже приведенные выше указанія (§§ 112—118).

## Д. Другіе металлы и сплавы.

§ 134. Металлы и сплавы необходимо подвергать испытаніямъ на растяженіе, сжатіе, изгибъ, а также пробамъ на гнутье въ холодномъ и горячемъ состояніи (§§ 70—72).

---

## Инструкція для изготовленія нормальныхъ образцовъ на разрывъ при приѣмкѣ металловъ.

(Утвержденная Г. Министромъ Путей Сообщенія, 15 апрѣля 1901 г.).

Нормальные образцы приготавливаются круглаго или плоскаго сѣченія, указанныхъ ниже размѣровъ, обточкой или обстрожкой брусковъ, вырѣзанныхъ изъ испытываемаго металла.

При изготовленіи образцовъ изъ болѣе крупныхъ сортовъ металловъ допускается, по усмотрѣнію приѣмщика, раздѣлять таковыя холоднымъ путемъ выпиливаніемъ или сверленіемъ безъ употребленія прессованія, удара или рѣзанія ножницами на куски меньшаго поперечнаго сѣченія, но не менѣе 30 мм. шириною.

Испытанія должны быть производимы по возможности надъ образцами нормальныхъ размѣровъ.

*Круглые образцы.* Нормальный круглый образецъ имѣетъ діаметръ ( $d$ ) въ 20 мм. и длину ( $L$ ) цилиндрической части между кернами въ 200 мм.

Вообще же образцы круглаго сѣченія, въ зависимости отъ толщины испытываемаго металла дѣлаются преимущественно четырехъ діаметровъ ( $d$ ), а именно: 10, 15, 20 и 25 мм.

Разсчетная длина ихъ ( $L$ ) берется равною десяти діаметрамъ, т. е.

$$L = 10d$$

Величины, получаемыя при такихъ разсчетахъ, округляются до ближайшихъ цѣлыхъ чиселъ сантиметровъ. Опредѣленная такимъ образомъ разсчетная длина образцовъ раздѣляется на соотвѣтственное число частей, равныхъ каждая одному сантиметру, которыя и намѣчаются на самомъ образцѣ.

Форма головокъ обуславливается видомъ захватовъ разрывной машины; предлагается, однако, для испытанія круглыхъ образцовъ, пользоваться шарнирными вкладышами и посему придерживаться формы головокъ, соотвѣтствующей нормальнымъ сферическимъ вкладышамъ, принятымъ въ лабораторіяхъ согласно постановленіямъ Мюнхенской Конференціи 1884 г.

Въ послѣднемъ случаѣ образцы имѣютъ слѣдующіе размѣры, (рис. 50).

Название размѣровъ въ миллиметрахъ:					
Діаметръ образца. . . . .	$d =$	10	15	20	25
» широкаго основанія . . . . .	$d_1 =$	13	18	24	28
» головки. . . . .	$d_2 =$	20	26	32	40
Длина конической шейки . . . . .	$L_1 =$	25	25	25	25
» головки. . . . .	$L_2 =$	10	15	20	25
» цилиндрической части. . . . .	$L =$	120	170	220	270
Полная длина образца . . . . .	$L_1 =$	190	250	310	370

Образцы эти изображены на рис. 51.

Для упрощенія производства испытаній образцовъ предоставляется указанная выше длины цилиндрической

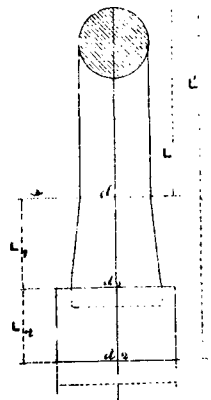


Рис. 50.

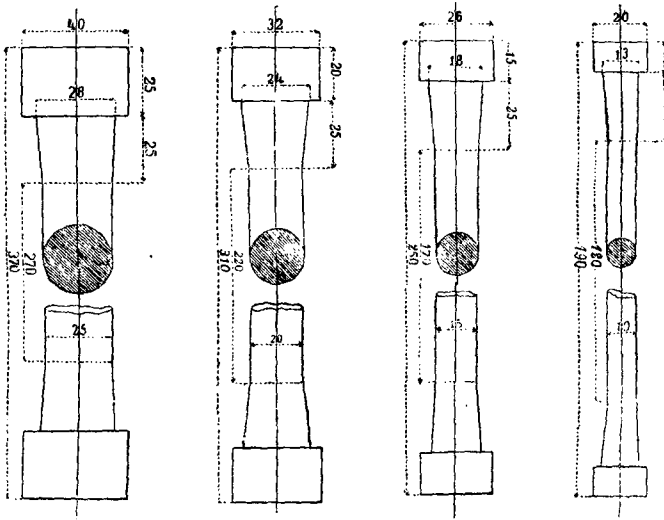


Рис. 51.

части образцов распространять на группы образцов, различающихся по величине диаметров следующим образом:

*Группа 1.* Образцы диаметром от 10 до 15 мм. включительно, при расчетной длине  $l$  от 100 до 150 мм., могут иметь длину цилиндрической части  $L=170$  мм.

*Группа 2.* Образцы диаметром свыше 15 мм. до 20 мм. включительно, при расчетной

длине от 150 до 200 мм., могут иметь длину цилиндрической части  $L=220$  мм.

*Группа 3.* Образцы диаметром свыше 20 мм. до 25 мм. включительно, при расчетной длине от 200 до 250 мм., могут иметь длину цилиндрической части  $L=270$  мм.

Для образцов, диаметр которых меньше 10 мм. или больше 25 мм. длина цилиндрической части образцов  $L$  берется равной расчетной длине, с прибавлением 20 мм. причем для образцов диаметром меньше 10 мм. длины эти во всяком случае должны быть не меньше 100 мм.

Наименьший нормальный диаметр образцов в 10 мм. применяется для металлов толщиной, позволяющей снабдить головки заплечиками не меньше 3 мм., т. е. в 16 и больше миллиметров; круглые профили меньшего диаметра испытываются без обточек в естественном виде, закладка же образцов делается помощью зажимов в виде двух завершенных вкладышей, которые обхватывают концы образца и стягиваются конической обоймой.

*Плоские образцы.* Нормальный плоский образец имеет поперечное сечение  $a \times b=10 \times 30$  мм. при длине ( $L$ ) между кернами в 200 мм. (рис. 52).

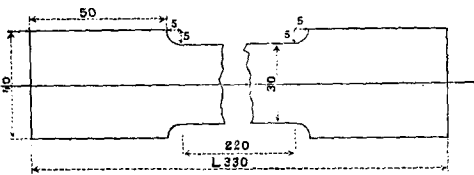


Рис. 52.

Такие размеры придаются в тех случаях, когда образцы готовятся из штук с большим поперечным сечением. Во всех случаях, когда размеры захватов позволяют сохранить поверхностные слои испытываемой штуки, безразлично по ширине и толщине образца, таковые должны

быть сохранены, и тогда принимаются следующие размеры сечений образцов, стараясь, по возможности, чтобы отношение ширины образца к его толщине было не больше трех.

1. *Для листов и полос.* Ширина образца 30 мм., толщина равна толщине самой штуки. При толщине свыше 25 мм. толщина принимается

за ширину образца, толщина же послѣдняго берется въ 10 мм. и головка получаетъ небольшое утолщеніе (въ 1 мм.) не по ширинѣ образца, а по толщинѣ.

Въ этихъ случаяхъ допускается вытачивать образцы круглаго сѣченія.

2. *Для брусковъ.* Если одинъ изъ поперечныхъ размѣровъ менѣе 25 мм., а другой не болѣе 30 мм., то образцы испытываются съ сохраненіемъ поперечныхъ размѣровъ самаго бруска и только, во избѣжаніе разрыва по линіи захвата, они спиливаются немного по тому измѣренію, которое принято въ образцѣ за толщину, для образованія запаса въ головкѣ. Въ случаѣ, когда ширина болѣе 30 мм., соблюдаются правила, указанныя для листовъ и полосъ. Расчетная длина ( $L$ ) такихъ образцовъ въ томъ случаѣ, когда сѣченіе образца отступаетъ отъ сѣченія нормального образца  $10 \times 30 = 300$  кв. мм. болѣе чѣмъ на  $5^{\circ}$ , берется по формулѣ

$$L = 11,3\sqrt{\sigma}$$

за исключеніемъ тѣхъ случаевъ, когда, въ предположеніи опредѣленной длины образца, указано техническими условіями на изготовленіе испытуемаго матеріала какое-либо соотношеніе между удлиненіемъ и толщиной образца. Величины, получаеыя изъ приведенной формулы, округляются до ближайшихъ цѣлыхъ сантиметровъ.

Для опредѣленія расчетныхъ длинъ въ зависимости отъ поперечныхъ сѣченій рекомендуется пользоваться нижеприложенной таблицей I, составленной на основаніи формулы  $L = 11,3\sqrt{\sigma}$ . Кромѣ того прилагается таблица II для опредѣленія площади поперечнаго сѣченія образцовъ по заданной расчетной длинѣ ихъ.

Опредѣленные, какъ указано выше, расчетныя длины образцовъ раздѣляются на соответственное число частей, равныхъ каждая одному сантиметру, которыя и намѣчаются на самомъ образцѣ.

Что касается головокъ, то форма и размѣры ихъ зависятъ отъ рода захватовъ, вообще же, въ предположеніи зажима зубчатыми щечками, для образца нормальной ширины  $b = 30$  мм. размѣры головки должны быть слѣдующіе: ширина  $b_1 = b : 10 = 40$ , длина  $b_2 = 50$  мм.; сопряженіе образца съ головкой дѣлается закругленіемъ четвертью круга (рис. 52). При малой ширинѣ испытуемаго металла можно придавать головкѣ ширину, почти равную нормальной ширинѣ образца, но переходъ къ головкѣ долженъ быть плавный.

При испытаніяхъ, согласно постановленію Мюнхенской Конференціи, дѣлается фрезеромъ нарѣзка бороздъ на головкахъ образцовъ, чтобы достигнуть возможно правильнаго зажима ихъ зубчатыми щечками, или же головки плоскихъ образцовъ стесываются къ боковымъ ребрамъ и въ такомъ случаѣ не дѣлается бороздъ фрезеромъ.

Длина образца  $L$  считается между началами головныхъ закругленій, т. е. не включая длины головокъ образцовъ, назначается на 20 мм. болѣе расчетной длины (рис. 52).

Для упрощенія производства испытаній плоскихъ образцовъ предоставляется изготовлять таковыя длину  $L$ , соответствующей извѣстной группѣ расчетныхъ длинъ  $L$ . Группы эти, соответственно различнымъ поперечнымъ сѣченіямъ плоскихъ образцовъ, подраздѣляются слѣдующимъ образомъ:

*Группа I-я* при площади сѣченія до 200 мм. и расчетной длинѣ до 160 мм.,

длина заказываемыхъ образцовъ  $L = 180$  мм.

*Группа 2-я* при площади сѣченія до 300 мм. и расчетной длинѣ до 220 мм.,

длина заказываемыхъ образцовъ  $L=240$  мм.

*Группа 3-я* при площади сѣченія до 450 мм. и расчетной длинѣ до 240 мм.,

длина заказываемыхъ образцовъ  $L=260$  мм.

*Группа 4-я* при площади сѣченія до 600 мм. и расчетной длинѣ до 280 мм.,

длина заказываемыхъ образцовъ  $L=300$  мм.

Для образцовъ, съ площадью сѣченія болѣе 600 мм., длина заказываемыхъ образцовъ берется равною расчетной, увеличенной на 20 мм.

### Т А Б Л И Ц А I

Опредѣленіе расчетной длины плоскихъ образцовъ  $l$  по имѣющейся площади поперечнаго сѣченія  $\omega$ .

Формула:  $l=11,3\sqrt{\omega}$ .

$a$ мм.	$b$ мм.	$\omega$ кв. мм.	$\sqrt{\omega}$ .	$11,3\sqrt{\omega}=l$ мм.	Расчетная длина въ цѣльяхъ сантиметрахъ.
8	8	64	8,0000	90,4000	9
8	16	128	11,3137	127,8482	13
8	24	192	13,8564	156,5728	16
9	9	81	9,0000	101,7000	10
9	18	162	12,7279	143,8264	14
9	27	243	15,5885	176,1444	18
10	10	100	10,0000	113,0000	11
10	20	200	14,1421	159,8046	16
10	30	300	17,3205	195,7160	20
11	30	330	18,1659	205,2758	21
12	30	360	18,9737	213,4062	21
13	30	390	19,7484	233,1524	22
14	30	420	20,4939	231,5822	23
15	30	450	21,2132	239,7069	24
16	30	480	21,9089	247,5717	25
17	30	510	22,5832	255,1879	26
18	30	540	23,2379	262,5894	26
19	30	570	23,8747	269,7875	27
20	30	600	24,4949	276,7935	28
21	30	630	25,0998	281,1200	28
22	30	660	25,6905	290,2970	29
23	30	690	26,2679	296,8284	30
24	30	720	26,8328	303,2129	30
25	30	750	27,3861	309,4618	31
26	30	780	27,9285	313,5864	31
27	30	810	28,4605	321,5980	32
28	30	840	28,9228	327,5079	33
29	30	870	29,4958	333,3048	33
30	30	900	30,0000	339,0000	34

Т А Б Л И Ц А II.

Определение площади сечения плоских образцов  $\omega$  по заданной расчетной длине их  $l$

$$\text{Формула } \omega = l^2 \times \frac{1}{11,3^2} = l^2 \cdot 0,00783$$

$l$ мм.	$l^2$	$\omega$	$\omega$ вЪ ЦѢЛЫХЪ ММЛММЕТ- РАХЪ.	$l$	$l^2$	$\omega$	$\omega$ вЪ ЦѢЛЫХЪ ММЛММЕТ- РАХЪ.
60	3600	28,138	28	180	32400	253,692	254
70	4900	38,367	38	190	36100	282,663	283
80	6400	50,112	50	200	40000	313,200	313
90	8100	63,423	63	210	44100	345,303	345
100	10000	78,300	78	220	48400	378,972	379
110	12100	94,743	95	230	52900	414,207	414
120	14400	112,752	113	240	57600	451,008	451
130	16900	132,327	132	250	62500	489,375	489
140	19600	153,468	153	260	67600	529,308	529
150	22500	176,175	176	270	72900	570,807	571
160	25600	200,448	200	280	78400	613,872	614
170	28900	226,287	226	290	84100	658,503	658
				300	94000	704,700	705

### Машины для испытанія металловъ на разрывъ.

*Описаніе машины Мора и Федергаффа.* Машина Мора и Федергаффа по способу возбужденія силы принадлежитъ къ разряду машинъ винтовыхъ, по способу расположенія образца—къ вертикальнымъ и по способу измѣренія силы—къ рычажнымъ машинамъ. Къ особенностямъ ея относится то, что оба захвата ея, служащіе для закладки испытываемаго образца, подвижны.

На фундаментѣ машины укрѣплена гайка, получающая вращеніе отъ мотора съ помощью червячной передачи. При вращеніи этой гайки нижній захватъ, укрѣпленный на соотвѣтствующемъ этой гайкѣ стержнѣ съ винтовой нарѣзкой опускается внизъ и тянетъ за собой образецъ *A* (рис. 53).

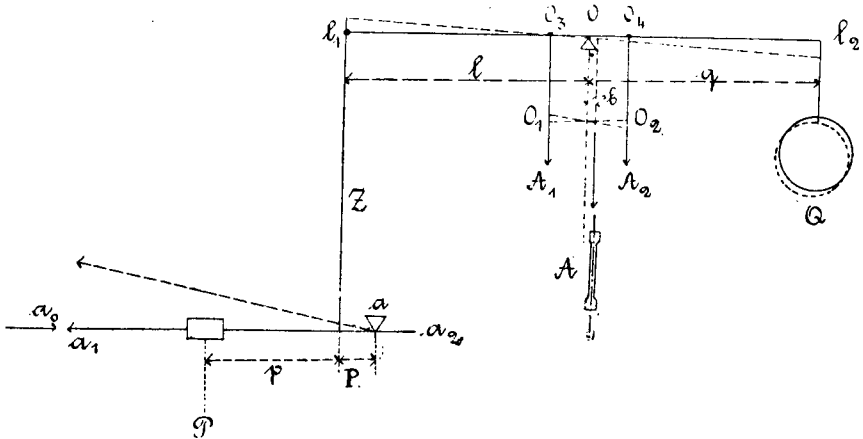


Рис. 53.

Этотъ послѣдній естественно тянетъ за собой верхній захватъ машины. Усиліе, дѣйствующее на верхній захватъ, передается балкѣ  $O_1 O_2$  и разлагается на двѣ опорныя реакціи  $A_1$  и  $A_2$ . Такъ какъ усиліе  $A$  дѣйствуетъ на балку  $O_1 O_2$  не по серединѣ ея, то составляющія  $A_1$  и  $A_2$  не равны между собою и такъ какъ въ точкахъ  $O_1$ ,  $O_2$ ,  $O_3$  и  $O_4$  имѣются опорныя призмы (на схемѣ для простоты эти призмы замѣнены шарнирами), то балка  $O_1 O_2$  принимаетъ положеніе указанное пунктиромъ.

Силы  $A_1$  и  $A_2$ , дѣйствующія въ точкахъ  $O_1$  и  $O_2$  на рычагъ  $l_1 l_2$ , снова складываясь въ равнодѣйствующую  $A$ , приложенную по оси образца на разстояніи  $b$  справа отъ опоры рычага  $O$ , выводятъ его изъ положенія равновѣсія въ положеніе указанное пунктиромъ. Сила  $Z$ , возникающая вслѣдствіе этого на концѣ  $l_1$ , рычага  $l_1 l_2$  выводитъ изъ положенія равновѣсія рычагъ второго рода  $a_1 a_2$  и онъ занимаетъ тогда положеніе указанное пунктиромъ.

Чтобы подвергнуть образецъ  $A$  растяженію, необходимо удержать на мѣстѣ верхній захватъ, для чего необходимо съ помощью постояннаго

груза  $P$  уравновѣситъ всю систему рычаговъ. Видимымъ образомъ это выражается тѣмъ, что конецъ  $a_1$  рычага  $a_1 a_2$  становится противъ нѣкоторой неподвижной точки  $a_2$ . Машина устроена такъ, что для измѣренія въ килограммахъ величины усилія, разрывающаго образецъ, достаточно опредѣлить по извѣстному масштабу длину плеча  $p$ , уравновѣшивающаго систему груза  $P$ . По конструкціи машины длина въ 20 мм. на рычагѣ  $a_1 a_2$  должна выражать 1000 килограммовъ. Для достиженія этого необходимо, чтобы при данныхъ размѣрахъ постоянныхъ частей машины, а именно

$$\begin{aligned} P &= 40 \text{ миллиметровъ} \\ l &= 1160 \text{ миллиметровъ} \\ b &= 5,8 \text{ миллиметра} \\ P &= 10 \text{ килогр.} \end{aligned}$$

постоянный противовѣсъ  $Q$  давалъ нѣкоторый опредѣленный моментъ  $Qq$  относительно точки  $0$ .

Выведемъ эти условія.

Изъ условій равновѣсія рычаговъ  $a_1 a_2$  и  $l_1 l_2$  получаемъ

$$1) ZP = P(p : P)$$

$$2) Zl = Qq \cdot Ab,$$

откуда исключая  $Z$  находимъ:

$$3) \frac{P \cdot p \cdot P}{P} = \frac{Qq \cdot Ab}{l}$$

Подставляя въ уравненіе (3) значеніе указанныхъ выше постоянныхъ величинъ, получимъ:

$$\frac{10(20 \cdot 40)}{40} = \frac{Qq \cdot 1000 \times 58}{1160}$$

откуда находимъ

$$Qq = 11600 \text{ килогр. миллим.}$$

Зная  $Q$ , легко можно найти плечо  $q$ , соответствующее указанной величинѣ момента  $Qq$ , при которомъ дѣйствительно 20 мм. на рычагѣ  $a_1 a_2$  будутъ выражать 1000 килограммовъ.

Зная  $Qq$ , для опредѣленія по данному плечу  $p$  величины  $A$ , мы изъ того же (3) уравненія получимъ такую зависимость:

$$4) A \text{ килогр.} = 50 p.$$

При наибольшей возможной длинѣ плеча  $p=1$  метру, на основаніи указанной зависимости наибольшая сила, которую машина можетъ развить, и мы можемъ измѣрить есть

$$A_{max} = 50 \times 1000 = 50000 \text{ кил.} = 50 \text{ тоннъ.}$$

Ясно, что при постоянномъ пониженіи нижняго захвата мы должны увеличивать грузъ, удерживающій верхній захватъ въ неподвижномъ положеніи. Другими словами, мы должны постоянно передвигать грузъ  $P$  по рычагу  $a_1 a_2$ . Это можно дѣлать либо отъ руки, либо автоматически.

Передвиженіе груза совершаютъ конечно не непосредственно рукой, а вращая соответственной ручкой, расположенной рядомъ стержень, соединенный помощью зубчатаго зацепленія съ грузомъ, причемъ, если вращать стержень въ одну сторону, грузъ движется въ одномъ направленіи, при вращеніи ручки въ другую сторону грузъ передвигается въ обратномъ направленіи. Такимъ образомъ все время, пока длится опытъ, мы, вращая ручку, имѣемъ возможность измѣрить силу въ каждый данный моментъ.

Для автоматическаго передвиженія груза пользуются той же силой, которая производитъ разрывъ образца, причемъ направленіе вращенія въ ту или другую сторону выполняется силой тока электрической батареи, такъ скомбинированной, что стержень вращается по одному направленію



въ случаѣ, если конецъ вспомогательнаго рычага поднимается выше неподвижнаго индекса, и по другому направленію, если онъ опускается ниже индекса. Приспособленіе это къ машинѣ Мора и Федергаффа построено Якубенко. Около индекса имѣются два контакта; чуть рычагъ отойдетъ отъ горизонтальнаго положенія, онъ соединяется либо съ верхнимъ контактомъ, либо съ нижнимъ; въ зависимости отъ этого токъ идетъ либо въ одну сторону, либо въ другую. На стержнѣ надѣты три желѣзные шкива, изъ которыхъ средній, закрѣпленный на стержнѣ, является безразличнымъ якоремъ, магнитомъ же дѣлается правый или лѣвый шкивъ (оба вращаются свободно на стержнѣ) въ зависимости отъ того, по которому изъ нихъ пойдетъ токъ, направляясь въ ту или другую сторону.

Отъ шкива, приводимаго во вращеніе энергіей, доставляющей разрывающую силу, имѣется безконечная веревочная передача къ означеннымъ выше крайнимъ шкивамъ, которые при этомъ постоянно вращаются въ противоположныя стороны.

Когда средній якорь притянется къ правому шкиву, ставшему магнитомъ, тогда вращеніе стержня направлено въ одну сторону, когда же якорь составитъ одно цѣлое съ лѣвымъ шкивомъ, вращеніе происходитъ въ обратную сторону.

При испытаніи металловъ на разрывъ съ помощью машины Мора и Федергаффа можно получать автоматически діаграмму разрыва. Для этого имѣется при машинѣ особый барабанъ съ наверху на немъ бумагой. Барабанъ этотъ вращается пропорціонально удлинению, а пропорціонально увеличенію груза двигается карандашъ по образующей цилиндра. Къ грузу привязана веревка, которая перекинута черезъ два блока и по мѣрѣ удаленія груза отъ начала шкалы натягиваетъ пружину, заставляющую карандашъ подниматься вверхъ. Одновременно съ этимъ барабанъ, вращающійся на неподвижной вертикальной оси, получить вращательное движеніе, если конецъ веревки, обмотанной вокругъ него, соединимъ съ нижней точкой наблюдаемой на образцѣ длины, проведя эту веревку черезъ блокъ или просто проволочное колечко противъ верхняго конца этой длины. По мѣрѣ увеличенія означенной длины горизонтальная часть веревки отъ образца до барабана укоротится и барабанъ начнетъ поворачиваться. Отъ сложенія этихъ двухъ движеній карандашъ начертитъ на бумагѣ опредѣленную кривую зависимости удлиненія отъ нагрузки.

### Краткое описаніе машины Амслера силою въ 50 тоннъ.

Кромѣ машины Мора и Федергаффа для производства опытовъ на разрывъ можно также пользоваться машиной Амслера силою въ 50 тоннъ, имѣющей также приспособленія для испытанія на сопротивленіе сгибанію и сжатію (рис. 54).

По способу возбужденія силы машина эта относится къ типу гидравлическихъ прессовъ, по способу расположенія образца—къ вертикальнымъ и по способу измѣренія силы—къ манометрическимъ.

По идеѣ прессъ этотъ тождественъ съ прессами въ 30 тоннъ для испытанія цементовъ и 60 тоннъ для раздавливанія камней \*).

Приборъ состоитъ изъ двухъ отдѣльно установленныхъ машинъ, а именно собственно разрывной машины и насоса. Отдѣльное устройство представляетъ ту большую выгоду, что разрывная машина доступна со

\*) См. соответственные выпуски курса.

всѣхъ сторонъ, вслѣдствіе чего чрезвычайно удобно закрѣплять и наблюдать за образцами. Взаимное расположение машины и насоса можно измѣнять по произволу сообразно съ помѣщеніемъ для машины и расположенію передаточныхъ валовъ.

*Разрывная машина.* Образецъ закрѣпляется нижнимъ концомъ въ захватъ, который неподвиженъ во время испытанія, но который передъ испытаніемъ можно быстро устанавливать на надлежащей высотѣ путемъ вращенія рукоятки. Верхній конецъ закрѣпленъ въ захватъ, соединенномъ съ самою верхнею поперечною машины, свободно лежащею на серединѣ поршня, выступающаго вверху изъ большого цилиндра.

Масло нагнетается по трубчкѣ насосомъ въ цилиндръ, вслѣдствіе чего поднимается вверхъ поршень съ верхнимъ захватомъ и образецъ растягивается. Величину растягивающаго усилія читаютъ по придѣланному къ насосу ртутному манометру около  $1\frac{1}{2}$  метра высотой.

Давленіе жидкости въ цилиндрѣ, служащее мѣрой испытываемаго образцомъ растяженія, передается по трубкѣ установленному на столѣ насоса цилиндру, понижателю давленія. Въ этомъ цилиндрѣ заключается система поршней, передающихъ въ уменьшенной степени давленіе жидкости ртути въ манометръ (ср. описаніе понижателя давленія въ отдѣлѣ объ испытаніи камней).

Усилію въ 50000 килогр. соотвѣтствуетъ высота поднятія ртутнаго столба въ  $1\frac{1}{2}$  метра высотой; на шкалѣ слѣва ртутнаго столба можно читать величину силы, причемъ одно дѣленіе соотвѣтствуетъ 100 килогр.

Понижатель давленія можно также переставить весьма просто такимъ образомъ, что вся высота поднятія ртути соотвѣтствуетъ усилію только въ 1000 килогр. и въ этомъ случаѣ пользуются дѣленіями съ правой стороны ртутнаго столба, причемъ одно дѣленіе соотвѣтствуетъ 10 килогр.

Снаружи по понижателю давленія видно, на какое отношеніе передачи онъ установленъ, а слѣдовательно пользоваться ли дѣленіями съ лѣвой или съ правой стороны манометра.

Образцы закрѣпляются такимъ образомъ въ захватахъ, что каждый образецъ при началѣ испытанія свободно устанавливается въ осевой плоскости машины. Этому способствуютъ шаровая поверхность захватовъ, удерживающихъ концы образца.

Закрѣпленіе образца въ этихъ захватахъ можно производить или въ самой машинѣ или въ сторонѣ отъ машины, послѣ чего образецъ вмѣстѣ съ сжимающими его клиньями вставляется сбоку въ открытые спереди захваты.

При машинѣ имѣется діаграммный приборъ. Для вычерчиванія удлиненія образца на немъ закрѣпляется двумя зажимами подвижная рамочка. Взаимное разстояніе зажимовъ равняется вначалѣ 20 сант. При растягиваніи об-

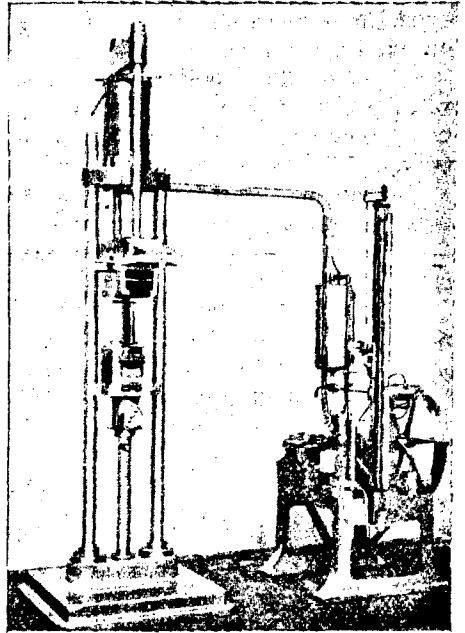


Рис. 51.

разца оба зажима отдаляются другъ отъ друга. Измѣненіе въ разстояніи передается прямо регистрирующему барабану посредствомъ натянутого грузомъ шнура. Приборъ вычерчиваетъ въ естественную величину соотвѣтствующее каждому растягивающему усилию удлиненіе образца на листѣ діаграммной бумаги.

*Насосъ.* Для производства давленія служитъ насосъ, всасывающій масло изъ находящагося сзади манометра резервуара и вгоняющаго его безъ всякихъ толчковъ въ цилиндръ испытательной машины. Всасывающія части смазываются автоматически, такъ что насосъ почти не требуетъ присмотра.

Цилиндръ испытательной машины опоражниваютъ открывая запорный клапанъ. Поршень тогда опускается и вгоняетъ масло обратно въ резервуаръ.

Насосъ можно приводить въ дѣйствіе рукою или ремнемъ отъ привода или двигателя.

Насосъ дѣйствуетъ всегда съ одною и тою же скоростью. Регулирующій клапанъ допускаетъ измѣнять во время испытанія въ широкихъ предѣлахъ скорость, съ которою масло вгоняется въ цилиндръ.

Всѣ поршни, служащіе для передачи давленія ртутному столбу, ходятъ почти безъ всякаго тренія въ своихъ цилиндрахъ. Поршни не имѣютъ набивки, которая могла бы быть причиною не поддающагося учету тренія. Поршни просто такъ точно пригнаны, что хотя и ходятъ весьма легко, но все-таки позволяютъ маслу немного просачиваться. Это масло смазываетъ поршни безъ всякаго вліянія на показанія манометра.

Высота поднятія ртутнаго столба зависитъ при извѣстномъ растягивающемъ усилии только отъ отношеній поперечныхъ сѣченій поршней и отъ удѣльнаго вѣса ртути, т. е. отъ легко и точно измѣряемыхъ величинъ, не измѣняющихся даже при наибольшемъ усилии и при сильнѣйшихъ толчкахъ. Части, служащія для измѣренія не ухудшаются, а скорѣе улучшаются отъ частаго употребленія машины, вслѣдствіе постепеннаго сглаживания шероховатостей на стѣнкахъ поршней и цилиндровъ. Изнашиваются только приспособленія для зажиманія образцовъ.

Посредствомъ приложенныхъ къ машинѣ зажимныхъ приспособленій можно подвергать испытанію слѣдующіе образцы:

#### а) *На сопротивленіе разрыву.*

Круглые образцы съ головкою у каждаго конца (нормальные образцы) діаметромъ въ 13, 19, 25, 30 милл. соотвѣтственно толщинѣ стержня въ 10, 15, 20, 25 милл.

Круглые образцы безъ головки 10—20 милл. толщиною.

Плоскіе образцы толщиною до 18 милл. и шириною до 60 милл. у концовъ.

Захваты можно сближать до соприкосновенія.

Наибольшее разстояніе между захватами до испытанія образца 100 сант.

Ходъ верхняго захвата около 20 сант.

Наибольшее усилие 50000' килогр.

По особому требованію доставляются при машинѣ приспособленія для испытанія:

- 1) Круглыхъ деревянныхъ брусковъ съ головками толщиною въ 6 сант.
- 2) Призмъ изъ цемента, камня, чугуна съ поперечнымъ сѣченіемъ въ 8×10 сант.
- 3) Круглыхъ образцовъ на срѣзываніе.
- 4) Цѣпей.
- 5) Проволочныхъ канатовъ съ залитыми концами.
- 6) Пеньковыхъ канатовъ.

б) *На сопротивление сжатію:*

Образцы съ плоскими параллельными основаніями.  
Наибольшая площадь основанія: кругъ діаметромъ 8 сант.  
Наибольшая высота 20 сант.  
Наибольшее усиліе 50000 килогр.

в) *На сопротивление сгибанію:*

Рельсы не болѣе 19 сант. шириною и 20 сант. высотой.  
Наибольшее разстояніе между опорными призмами 110 сант.  
Наименьшее разстояніе между опорными призмами 30 сант.  
Наибольшее усиліе 50000 килогр.

Краткое описаніе машины Вердера.

Машина Вердера по способу возбужденія силы, дѣйствующей на образецъ, принадлежитъ къ разряду гидравлическихъ прессовъ, по способу расположенія образца къ горизонтальнымъ машинамъ, а по способу измѣренія силы, дѣйствующей на образецъ, къ рычажнымъ машинамъ.

Такъ какъ съ помощью ея возможно производить всѣ механическія испытанія, она называется универсальной \*).

*Машина Вердера* состоитъ изъ гидравлическаго пресса силой 100 тоннъ и вѣсовъ для измѣренія этой силы. Принадлежностями машины являются приспособленія для испытанія различныхъ матеріаловъ на сопротивленія сжатію, растяженію, сгибанію, скручиванію, скальванію и продольному изгибу, а равно подвижной подъемный кранъ.

Сбоку гидравлическаго пресса (черт. 1, 2 и 3 листа 1) имѣется насосъ о 2-хъ цилиндрахъ, поршень одного изъ которыхъ имѣетъ 30 мм., а другого 10 мм. въ діаметрѣ; оба эти поршня приводятся въ движеніе рычагами съ рукоятками, причеиъ болъшій рычагъ служитъ для произведенія малыхъ давленій, а рычагъ покороче для болъе значительныхъ давленій. Вода накачивается подъ поршень пресса изъ отдѣльнаго резервуара, помѣщаемаго подъ насосомъ. Насосъ снабженъ выпускнымъ краномъ для воды, а цилиндръ пресса краномъ для выпуска воздуха; послѣдній долженъ быть открытъ при началѣ накачиванія, пока вода не начнетъ выступать черезъ него. Насосъ соединенъ съ цилиндромъ пресса мѣдной трубой. Поршень *K* гидравлическаго пресса (черт. 1 листа 2 и черт. 3 листа 1) чугунный съ мѣдной оболочкой, діаметромъ 300 мм., укрѣпленъ на полозьяхъ *S*, лежащихъ на направляющихъ *F*, съ которыми соединенъ цилиндръ *C*. На концѣ полозьевъ имѣется небольшое зубчатое колесо, сцепляющееся съ зубчатой полосой; послѣдняя соединена съ выступомъ направляющихъ подставокъ *F*. Вращая колесо, насаженное на оси этого зубчатаго колеса, можемъ вытолкнуть усиліемъ воды поршень загнать обратнo въ цилиндръ. Зубчатая полоса дѣлается отводною, такъ какъ она можетъ пострадать отъ сотрясенія, которое иногда получается при испытаніи болъшими усиліями, причеиъ отъ ударовъ зубьевъ колеса о зубья полосы могутъ лопнуть нѣкоторыя части. Балансиръ является по существу (листъ 1, черт. 1, 2 и 3; листъ 2, черт. 1, 3 и 5) колычатый рычагомъ; онъ состоитъ изъ чугуна

\*) Ради удешевленія стоимости изданія и малаго распространенія этой машины мы не приводимъ здѣсь всѣ необходимыя чертежи для вышененія конструкции машины, и рекомендуемъ изучать устройство ея непосредственно въ Лабораторіи, оборудованной машиной Вердера, пользуясь имѣющимися при ней чертежами, на которые сдѣланы мною ссылки, и разсматривая машину въ натурѣ.

ной плиты, по серединѣ которой противъ поршня укрѣплена горизонтальная призма I, длиною 360 мм. изъ закаленной стали, составляющая точку I рычага схемы. Такая же призма II находится на поршнѣ, она отличается отъ I только тѣмъ, что она не оканчивается остриемъ, а небольшою площадкой, которою соприкасается съ остриемъ I. Съ обѣихъ сторонъ послѣдняго, въ четырехугольныхъ отверстіяхъ балансира, симметрично расположены стальные призмы III длиною 190 мм., находящіяся съ средней призмой въ той же вертикальной плоскости, но расположенныя выше ея на 3 мм.; означенныя призмы образуютъ точку 3 схемы и надавливаютъ на призмы IV, находящіяся въ поперечинахъ D. Ясно, что, какъ только получится давленіе на среднюю призму, т. е. точку I колѣнчатого рычага, въ то время какъ точка 3 удерживается неподвижно, балансиръ получитъ движеніе такое, что вѣсы, укрѣпленные на концѣ рычага H приподымутся. Длина горизонтального рычага отъ средней призмы 1 до точки 5 привѣса вѣсовъ равна 1500 мм., длина вертикальнаго колѣна рычага 3 мм. Отношеніе плечъ 500. Балансиръ можетъ качаться около одной горизонтальной оси, на которой онъ подвѣшенъ слѣдующимъ образомъ: съ двухъ его сторонъ приболчены малыя призмы, расположенныя въ одной вертикальной и горизонтальной плоскости съ средней призмой (листъ 2, черт. 5). Балансиръ подвѣшенъ на этихъ призмочкахъ при помощи 2-хъ хомутовъ за концы поперечнаго бруса A, поддерживаемаго кронштейнами, прикрѣпленными къ поршню. Распределеніе массы въ балансирѣ такое, что въ подвѣшенномъ состояніи онъ располагается горизонтально, на что указываетъ помѣщенный на поверхности его уровень. Чтобы легче получить при установкѣ машины означенную горизонтальность, имѣется прикрѣпленный къ нижней поверхности балансира добавочный грузъ  $g$  (черт. 2 листа 1 и черт. 3 листа 2), который можно передвигать при помощи винта. Было объяснено, что, производя давленіе на призмы III, мы приподымаемъ чашку вѣсовъ. На чертежѣ 1 и 3 листа 2 видно, какъ переносится на эти призмы сопротивление испытываемаго образца. Черезъ указанныя выше отверстія въ балансирѣ, въ коихъ находятся боковыя призмы, проходятъ двѣ вертикальныя поперечины D, имѣющія призмы IV, обдѣланныя небольшою плоскостью вмѣсто острія. Эти плоскости находятся въ соприкосновеніи съ остріями призмъ III, а поперечины D соединены горизонтальными болтами D съ отливкой G, служащей для укрѣпленія захватовъ и иныхъ частей, нужныхъ при испытаніи. 4 болта D вмѣстѣ съ отливкой G и двумя поперечинами D составляютъ одно цѣлое и являются подвѣшенными на кольцахъ. Два нижніе болта подвѣшены за выступы, находящіяся съ обѣихъ сторонъ салазокъ S, а два верхніе за поперечину A, лежащую на поршнѣ. Когда вода накачивается въ цилиндръ, приходятъ въ движеніе поршень K и салазки, которыя съ нимъ соединены, балансиръ W, 4 болта поперечины D и отливка G. Преимущество такого расположенія состоитъ въ томъ, что треніе поршня не оказываетъ вліянія на игру балансира, въ отличіе отъ иныхъ конструкцій, въ которыхъ усиліе дѣйствуетъ на одинъ конецъ испытываемаго образца, а на другомъ усиліе измѣряется, причѣмъ приходится приспособливать какой нибудь приборъ для измѣренія тренія поршня.

Понятно, что громадное значеніе имѣетъ то обстоятельство, чтобы призмы I и III были такъ расположены, чтобы разстояніе между ними по высотѣ, составляющее вертикальное плечо рычага (3 мм.) было точно равно  $\frac{1}{500}$  части горизонтальнаго плеча. Такъ какъ невозможно получить этого результата въ точности непосредственнымъ отмѣриваніемъ, то на этотъ предметъ имѣется второй балансиръ, являющійся контрольнымъ. Онъ состоитъ изъ двухъ рычаговъ W съ подвѣшенной на 2-хъ стержняхъ l общей

чашкой *K*. Рычаги *W* колѣнчатые; ихъ точки вращенія *r* находятся на подушкахъ, укрѣпленныхъ съ 2-хъ сторонъ салазокъ *s*. Концы у вертикальныхъ плечъ длиною 35 мм. опираются на стальные подставки, прикрѣпленныя къ отливкѣ *G*. На концахъ плечъ длиною 350 мм. подвѣшена общая чашка *K*. Точка опоры большого рычага *I*, какъ было указано, наглухо скрѣплена съ поршнемъ; точка опоры *r* малыхъ рычаговъ скрѣплена съ салазками, соединенными наглухо съ поршнемъ. Точка у рычаговъ *W* черезъ посредство отливки *G*, болтовъ *D*, и поперечинъ *D* нажимаетъ на призмы III, т. е. на точку 3 балансира *W*; такимъ образомъ точка у нажимаетъ съ силой въ 10 разъ большею, чѣмъ грузъ, лежащій на поддонѣ *k* на точку 3, которая испытываетъ давленіе въ 500 разъ большее, чѣмъ грузъ, имѣющійся на большой чашкѣ. Такимъ образомъ, если отношеніе плечъ балансира *W* есть 1:500, каждый грузъ на большой чашкѣ долженъ уравновѣшивать грузъ въ 500:10=50 разъ большій на чашкѣ *k*, приводя балансиръ въ горизонтальное положеніе. Слѣдуетъ до тѣхъ поръ регулировать положеніе призмы I, пока уровень не укажетъ горизонтальности при указанномъ отношеніи нагрузокъ. Эта установка производится помощью подушекъ *b* (черт. 2, табл. 1), которая можно перемѣщать въ горизонтальномъ направленіи посредствомъ винтовъ, производя одновременно передвиженіе, какъ клиньями, стальной обдѣлкой на наклонной поверхности, на которой находится призма I.

*Приспособленія для опредѣленія сопротивленія растяженію.* У цилиндра имѣются 4 параллельные горизонтальные бруса прямоугольнаго сѣченія *B*, концы которыхъ соединены въ одно цѣлое распорками. На эту раму опирается звѣздообразная отлитая часть *G*<sub>3</sub>, которая можетъ двигаться по двумъ рельсамъ тавроваго сѣченія. Сообразно съ длиной испытываемого образца необходимо большее или меньшее разстояніе между отливкой *G*<sub>3</sub> и штангами *B*, которое заполняется вставными рамами (черт. 1 листа 2). Звѣзда *G*<sub>3</sub> снабжена болтомъ съ вилкой *x*, такой же другой болтъ прикрѣпленъ къ отливкѣ *G*, принадлежащей къ составу поршня и соединенной съ поршнемъ. Въ вилки вставляются захваты *y*, которые удерживаютъ концы испытываемого плоскаго образца. Отверстія захватовъ имѣютъ сѣченіе ласточкина хвоста; въ нихъ вставляется образецъ помощью 2-хъ клиньевъ изъ закаленной стали. Эти клинья имѣютъ зубья на сторонахъ, соприкасающихся съ образцомъ, на который они надавливаютъ, скользя по наклоннымъ плоскостямъ захватовъ. Такъ какъ поперечное сѣченіе концовъ образца ослаблено давленіемъ клиньевъ, ихъ необходимо уширять, если опытъ надо вести далѣе предѣла упругости, напр. до разрыва. Такого рода опытъ интересенъ тѣмъ, что можно наблюдать, какъ увеличивается сопротивленіе матеріаловъ, если ихъ подвергать вытягиванію много разъ. Для практическихъ изслѣдованій имѣютъ значеніе лишь опыты, при коихъ не превосходитъ граница пропорціональности. Какимъ образомъ производится измѣреніе деформаций испытываемого матеріала указано на черт. 1 листа 2. На испытываемомъ образцѣ лежатъ два малые бруска, изъ коихъ одинъ снабженъ призмой, а другой роликомъ со стрѣлкой и подвѣленнымъ на части сегментомъ. Бруски эти лежатъ на концахъ испытываемой полосы и соединены лежащей сверху деревянной планкой. При болѣе длинныхъ образцахъ означенная планка поддерживается по срединѣ еще однимъ роликомъ, подвѣшеннымъ на деревянной балочкѣ. Когда полоса вытягивается, означенные бруски удаляются другъ отъ друга и деревянная планка, поддерживаемая призмой одного бруска, приведетъ въ движеніе роликъ другого. Стрѣлка укажетъ по сегменту съ дѣленіями удлинненіе въ увеличенномъ въ 10 разъ масштабѣ, такъ какъ она въ 10 разъ длиннѣе радіуса

ролика. Если опытъ ведется до разрыва образца, который наступаетъ при самомъ большомъ удлинении, при сильномъ ударѣ и дрожании машины, измѣрительный приборъ прикрѣпляютъ подвѣшеннымъ на горизонтальныхъ штангахъ, укрѣпленныхъ на стойкахъ  $i$ . Если желаютъ испытать образецъ какой-нибудь иной формы, которые имѣютъ отверстия по концамъ, захваты становятся лишними и указанные выше штанги подлежатъ соединению при помощи накладокъ или промежуточныхъ частей съ болтами  $X$ . При испытании круглаго желѣза, снабженнаго по концамъ нарѣзкою, не нужны также означенные болты, такъ какъ такой образецъ продвѣгается прямо черезъ отливки  $G$  и  $G_3$  и укрѣпляется при помощи шайбъ, которыя должны быть нѣсколько больше, чѣмъ отверстия въ отливкахъ, и при помощи навинченныхъ на концы гаекъ.

*Приспособленія для опредѣленія сопротивленія сжатію (листъ II).*

Въ описанной выше отливкѣ находятся съ 2-хъ сторонъ плоскія (черт. 1 и 6) распорки, сквозь которыя пропущены по 2 крѣпкія штанги  $s$ , скрѣпленные съ  $G$  вставными болтами. Эти 4 штанги  $s$  соединяютъ отливку  $G$  съ крѣпкой горизонтальной распоркой  $Q$ , опирающейся съ 4-мя роликами на рельсовый путь  $T$ , причеиъ  $Q$  имѣетъ въ серединѣ шаровую выкружку. Кругъ  $p$ , снабженный шаровымъ выступомъ, соответствующимъ означенной выкружкѣ, соединенъ болтомъ съ распоркой. Другой такой кругъ  $p_1$  такимъ же образомъ соединенъ съ распоркой которая движется по рельсамъ и опирается на машину. Между этими двумя кругами  $p$  и  $p_1$  помѣщается испытуемый образецъ. Гакъ какъ длина рельсоваго пути  $T$  равна 9 метрамъ, то могутъ быть испытываемы колонны или балки длиной до 8 м. Для испытанія болѣе короткихъ кусковъ разстояніе между досками можетъ быть уменьшено такимъ образомъ, что между отливкой  $G_2$  и машиной вставляется соответственно число вкладышей  $Z$ . Подвижная доска  $p$  и  $p_1$  устанавливаются сообразно съ длиной испытуемаго образца, причеиъ дѣлается небольшое надавливаніе при помощи насоса и тогда онѣ могутъ быть укрѣплены помощью 4-хъ винтовъ. 4 штанги, соединяющія  $G$  съ  $Q$ , при ихъ значительной длинѣ, для болѣе удобнаго передвиженія состоятъ изъ 2-хъ частей; соединенныхъ болтами. Вблизи этого соединенія прикрѣплены къ пути 2 вкладыша, служащіе для установки 2-хъ подставокъ  $c$ . На эти подставки кладутся концы штангъ при установкѣ всѣхъ приспособленій. Для измѣренія выѣба испытуемаго образца устанавливаются на обоихъ концахъ и посрединѣ его измѣрительные приборы (черт. 3). Каждый приборъ соединяется съ путемъ  $T$  сжимаемыми и можетъ перемѣщаться въ вертикальномъ направленіи въ соответствии съ сѣченіемъ образца и снабженъ горизонтальной и вертикальной стрѣлками и циферблатами. Вертикальная стрѣлка соединена при помощи шарнира со стержнемъ  $a$ , имѣющимъ на другомъ концѣ остріе, опирающееся въ укрѣпленный на испытуемомъ образцѣ кернѣ. Этотъ стержень имѣетъ сверху углубленіе, служащее для воспріятія вертикальнаго стержня  $b$ , соединяющаго образецъ съ горизонтальной стрѣлкой. Такъ какъ точки прикасанія стержней къ стрѣлкамъ находятся какъ разъ по серединѣ стрѣлокъ, то эти послѣднія указываютъ измѣненіе положенія въ двойномъ масштабѣ. Для опредѣленія укороченія образца можетъ быть употребленъ измѣрительный приборъ, упомянутый при описаніи производства растяженія. Короткіе образцы, какъ напр. кубики, могутъ быть помѣщены непосредственно между днищемъ цилиндра  $c$  и отливкой  $G$ , какъ показано на черт. 4 листа 3. Съ этою цѣлью на штангахъ  $B$ , соединенныхъ съ цилиндромъ, укрѣплена доска съ шаровой выкружкой, доска эта соединена съ днищемъ цилиндра. Съ этой доской находится въ соприкосновеніи вторая подвижная доска  $p_2$ , соединенная съ первой такимъ же обра-

зомъ, какъ вышеописанная доска  $p$ . Къ отливкѣ  $G$  приболчена доска  $e$ , закрывающая находящееся по срединѣ отверстие; между этими досками сжимается образецъ.

*Приспособленіе для опредѣленія сопротивленія изгибу (листъ V).*  
 Балка длиной 3,5 мм. можетъ передвигаться по пути  $T$  и опирается на машину. Двѣ поперечины съ катками  $h$  (ч. 1 и 2), могущія двигаться вдоль балки, съ которой могутъ быть соединены болтами на любомъ другъ отъ друга разстояніи, служатъ точками опоры для испытываемаго образца. Для удобства производящаго опытъ наверху балки нанесены дѣленія, дабы легче можно было разставлять подвижныя балочки на желаемое разстояніе. Подвижныя поперечины имѣютъ внизу кронштейны, на которые можно положить испытываемый образецъ, приспособивши соотвѣтствующія его формѣ подкладки. Вагончикъ  $M$  на 4-хъ роликахъ можетъ двигаться по пути  $T$  и соединенъ 2-мя штангами и съ отливкой  $G$ ; со стороны, обращенной къ испытываемому образцу, имѣется вертикальная стальная призма  $m$  со срѣзанной гранью. Когда накачиваемъ воду въ цилиндръ, тогда вмѣстѣ съ поперечиной  $G$  движется вагонъ  $M$  по направленію стрѣлки (черт. 4) и производитъ сгибаніе испытываемаго образца. Для измѣренія прогиба можетъ быть примѣненъ описанный выше аппаратъ, употребляемый для измѣренія растяженія, состоящій изъ штанги съ роликомъ, стрѣлки и циферблата (черт. 1). На черт. 3 листа V показано испытаніе желѣзнодорожнаго рельса, который укрѣпленъ кромѣ точекъ опоры еще болтами у концовъ, что соотвѣтствуетъ случаю балки съ задѣланными концами или положенной на многихъ опорахъ. (См. также *Н. М. Абрамовъ*. «Изгибъ рельсовъ статической нагрузкой». Спб. 1905 г.)

*Приспособленіе для опредѣленія сопротивленія крученію (листъ VI).*  
 Для испытаній на скручиваніе имѣются при описанной выше поперечинѣ  $G$  2 балки  $N$  и  $N_1$ , прикрѣпленныя каждая помощью 8-ми болтовъ. Балка  $N$  имѣетъ подвижной кронштейнъ  $O$ , къ которому приболчена стальная оковка  $E$  съ четырехугольной дырой. Въ эту оковку вставляется конецъ испытываемаго вала, который по концамъ долженъ быть квадратнаго сѣченія. Чтобы охранить отъ выгиба укрѣпленіе стальной оковки съ кронштейномъ, имѣются кромѣ болтовъ, еще 2 клина  $K$ . На концѣ кронштейна  $O$  длиной  $\frac{1}{2}$  метра имѣется вагонъ  $M$ , нажимающій такимъ же образомъ какъ при сжатіи образцовъ, только тамъ, гдѣ въ послѣднемъ случаѣ находится заостренная призма, здѣсь имѣется плоская призма  $m_1$ . Другой конецъ испытываемаго образца закладываютъ въ стальную оковку  $E_1$ , соединенную съ зубчатымъ колесомъ  $R$ , укрѣпленнымъ на балкѣ  $N_1$ . Это колесо сдерживается клиномъ  $K_1$ , помѣщаемымъ между зубомъ колеса и приливомъ къ балкѣ  $N_1$ . При движеніи вагончика  $M$  по направленію стрѣлки (черт. 2) кронштейнъ  $O$  балки  $N$  станетъ двигаться и повернетъ зажатую въ немъ ось, другой конецъ которой удерживается зубчатымъ колесомъ. Возможное перемѣщеніе конца рычага  $O$  есть 100 мм. Если нужно, чтобы вращеніе продолжалось, надо выпустить часть воды изъ цилиндра, и тогда поршень сдѣстъ назадъ. Клинь между зубомъ колеса и балочкой поднимется, колесо сдѣстъ на одинъ зубъ и клинь снова попадетъ на прежнее мѣсто. Такъ можно продолжать до разрушенія образца. У балки  $N$  прикрѣпленъ сегментъ съ дѣленіями  $h$ , а на рычагѣ  $O$  имѣется стрѣлка  $o$  для измѣренія угловъ вращенія.

Кромѣ описанныхъ приспособленій, къ машинѣ приложенъ аппаратъ (черт. 1 листа 3) для испытаній на срѣзываніе, состоящій изъ 2-хъ отливокъ  $R$  и  $R_1$ , снабженныхъ рѣзцами, изъ которыхъ одна скрѣплена съ вагончикомъ  $M$ , другая съ поперечиной  $G$ . Испытываемый образецъ закладывается между ножами, какъ указано на черт. 1 листа 3.



*Катучій кранъ.* Для подниманія отдѣльныхъ частей машины при ея установкѣ и различныхъ принадлежностей ея при самомъ производствѣ опытовъ необходимымъ является катучій кранъ, изображенный на листѣ 8. Онъ состоитъ изъ платформы изъ двутавроваго желѣза, на концахъ которой укрѣплены 2 балки. Сквозь эти балки проходитъ ось, которая опирается на фрикціонныя колеса и поддерживаетъ два колеса, движущіяся по пути, укрѣпленному у стѣнъ помѣщенія.

Балочки снабжены каждая 2-мя отвѣтвленіями, имѣющими малыя колесики, мѣшающія крану упасть. Два рычага, укрѣпленные во вкладышахъ, придѣланныхъ къ балкѣ, служатъ для направленія крана вдоль машины. По платформѣ катается большое колесо, на ось котораго привѣшенъ хомутъ, нижній конецъ котораго служитъ къ подвѣшиванію дифференціального блока. Съ помощью этого катучаго крана можетъ быть легко и скоро всякая часть машины перенесена на любое мѣсто.

---

## Классификація типовъ изломовъ при испытаніи на разрывъ стали и желѣза, предложенная инж. Пелымскимъ.

(см. рис. 55).

### 1. Чашечка.

Чашечка получается при разрывѣ стали *всякъ степеней твердости*; характеризуетъ *максимальное удлиненіе для данной твердости* и полную однородность металла безъ признаковъ какихъ-либо пороковъ.

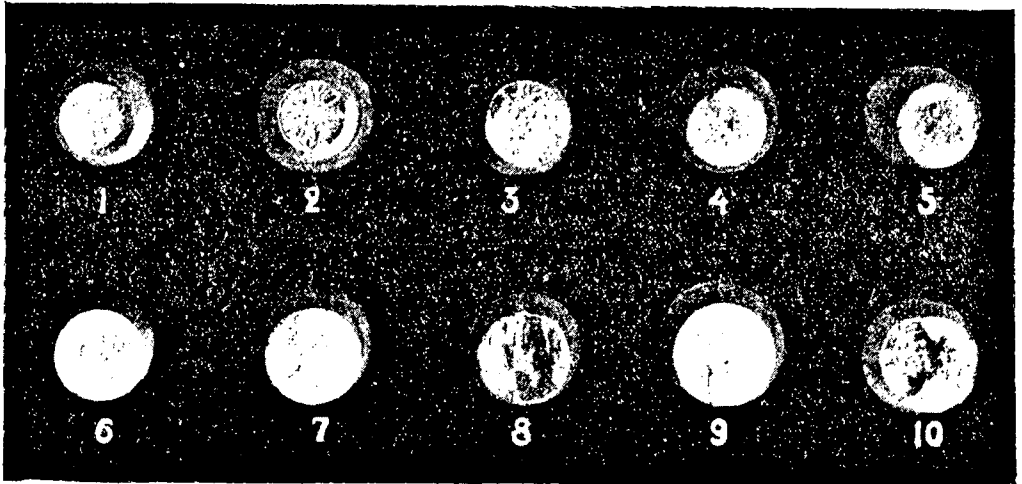


Рис. 55.

### 2. Звѣздочка.

Звѣздочка встрѣчается при разрывѣ брусковъ болѣе твердыхъ сортовъ стали и преимущественно подвергавшихся термической обработкѣ (закалка, отжигъ); характеризуетъ *достаточное удлиненіе и однородность металла*.

### 3. Аморфный на глазъ изломъ.

Разламывая полосу *незакаленной* стали ударомъ молота по надрубку отъ зубила, всегда получимъ *кристаллическій* изломъ; если же подвергать эту полосу растяженію, то кристаллы ея, теряя свою первоначальную форму, при разрывѣ обнаружатъ на глазъ аморфный изломъ.

Сказанное относится къ сортамъ стали всякой твердости, но при такомъ лишь условіи, чтобы сталь давала достаточно для полной деформации кристалловъ удлиненіе, а потому аморфный изломъ характеризуетъ очень хорошее удлиненіе для стали данной твердости при однородности металла.

#### 4. *С в и с т о к ъ.*

Скошенный изломъ, площадь котораго не перпендикулярна къ оси бруса, а наклонена къ ней приблизительно подъ угломъ около  $45^\circ$ , получается преимущественно при разрывѣ брусковъ, выточенныхъ изъ кусковъ стали въ перпендикулярномъ направленіи къ механической обработкѣ металла; такъ напр., такой изломъ часто встрѣчается при разрывѣ брусковъ отъ пушекъ, гдѣ бруски вытачиваются въ перпендикулярномъ положеніи къ оси пушки. Разорванные бруски съ такими изломами, если на поверхности излома не замѣчается какихъ-либо пороковъ, даютъ достаточное удлинёніе.

#### 5. *Г л а з о к ъ.*

Разсматривая этотъ изломъ, замѣчаемъ вокругъ темнаго пятна кристаллическую поверхность, а такъ какъ нѣтъ положительныхъ причинъ видѣть въ темномъ пятнѣ какой-либо порокъ, то можно съ увѣренностью полагать, что темное пятно образовалось отъ растяженія тѣхъ же кристалловъ. Такой изломъ чаще встрѣчается при разрывѣ брусковъ отъ твердыхъ сортовъ стали съ содержаніемъ С отъ  $0,5\%$  и характеризуетъ не очень значительное удлинёніе.

### Кристаллическіе изломы.

Вообще такой изломъ при разрывѣ брусковъ указываетъ на металлъ не дающій удлинёнія или же дающій незначительное, такъ какъ кристаллы, не вытягиваясь не измѣняютъ своей формы, если же и измѣняютъ, то очень незначительно. Типичными представителями кристаллическихъ изломовъ будутъ мелкій кристаллъ и крупный кристаллъ.

#### 6. *Мелкій кристаллъ.*

Такой изломъ получается при разрывѣ брусковъ очень твердой стали. Величина кристалловъ бываетъ иногда такой незначительной, что изломъ невооруженному глазу кажется аморфнымъ. Очень мелкій кристаллъ излома встрѣчается при разрывѣ брусковъ вольфрамистой, хромистой и закаленныхъ сортовъ углеродистой стали. Этотъ изломъ характеризуетъ большія сопротивленія разрыву.

#### 7. *Крупный кристаллъ.*

Въ противоположность мелко-кристаллическому излому, крупно-кристаллическій изломъ характеризуетъ не большое сопротивленіе разрыву. Этотъ изломъ чаще встрѣчается при разрывѣ брусковъ отъ стальныхъ формовочныхъ отливокъ, не подвергавшихся уплотненію проковкой, отъ различныхъ сортовъ стали, получившихся при неудачныхъ термическихъ обработкахъ отъ плохо выработаннаго (сырого) сварочнаго желѣза.

#### 8. *С т у п е н ь к а.*

Ступенчатый видъ излома, какъ и изломъ въ видѣ свистка, получается при разрывѣ брусковъ, выточенныхъ изъ кусковъ стали въ перпендикулярномъ направленіи къ волокнамъ, получившимся отъ механической обработки металла. Ступенчатый видъ излома заставляетъ предполагать незначитель-

ное сѣпленіе между собою волоконъ, что вполне подтверждается опытомъ; бруски съ такими изломами разрываются при небольшихъ усиляхъ и малыхъ удлиненіяхъ. Нарушеніе сѣпленія между волокнами происходитъ вѣроятно отъ пережога металла при термической обработкѣ.

### 9. Ж и л о к а.

Иногда въ стальныхъ болванкахъ при обработкѣ запутываются пузырьки газа; при обработкѣ такихъ болванокъ прокаткой или проковкой пузырьки, вытягиваясь образуютъ въ металлѣ пороки въ видѣ жилокъ, прослоекъ, волосовинъ, обнаруживающихся при разрывѣ въ видѣ этого излома. Бруски съ такимъ изломомъ даютъ меньшее сопротивленіе разрыву и меньшее удлиненіе.

### 10. Р а к о в и н а.

Въ стальныхъ отливкахъ, не подвергавшихся обработкѣ, прокаткѣ или проковкѣ, пузырьки газа запутавшіеся во время отливанія, обнаружатся при разрывѣ въ видѣ этого излома. Раковины сильно уменьшаютъ сопротивленіе разрыву и удлиненію.

---



Таблица чиселъ твердости по Фепплю.

<i>d</i> мм.	$\omega$ мм.	1,5 <i>t</i>	2 <i>t</i>	2,5 <i>t</i>	3 <i>t</i>
2	3,14	477	636	796	955
2,1	3,46	433	577	722	866
2,2	3,80	395	526	660	789
2,3	4,15	361	482	602	723
2,4	4,52	332	442	553	664
2,5	4,91	305	408	509	611
2,6	5,31	282	376	471	565
2,7	5,73	261	349	436	523
2,8	6,16	243	325	406	487
2,9	6,61	227	302	378	453
3,0	7,07	212	283	353	424
3,1	7,55	199	265	331	397
3,2	8,04	186	249	311	373
3,3	8,55	175	234	292	351
3,4	9,08	165	220	275	330
3,5	9,62	156	208	260	312
3,6	10,18	147	196	245	294
3,7	10,75	139	186	232	279
3,8	11,34	132	176	220	264
3,9	11,95	125	167	209	251
4,0	12,57	119	159	199	238
4,1	13,20	113	151	189	227

<i>d</i> MM.	$\omega$ MM.	1,5 <i>t</i>	2 <i>t</i>	2,5 <i>t</i>	3 <i>t</i>
4,2	13,85	108	144	180	216
4,3	14,52	103	137	172	206
4,4	15,21	98	131	164	197
4,5	15,90	94	126	157	188
4,6	16,62	90	120	150	180
4,7	17,35	86	115	144	172
4,8	18,10	83	110	138	166
4,9	18,86	79	106	132	159
5,0	19,64	76	102	127	153
5,1	20,43	73	98	122	146
5,2	21,24	70	94	117	141
5,3	22,06	68	90	113	136
5,4	22,90	65	87	109	131
5,5	23,76	63	84	105	126
5,6	24,63	61	81	101	122
5,7	25,52	58	78	98	117
5,8	26,42	57	75	94	113
5,9	27,34	55	73	91	109
6,0	28,27	53	71	88	106
6,1	29,22	51	68	85	102
6,2	30,19	49	66	82	99
6,3	31,17	48	64	80	96
6,4	32,17	47	62	78	93
6,5	33,18	45	60	75	90
6,6	34,21	44	58	73	88
6,7	35,26	42	57	71	85

## Ребондимеръ, или склероскопъ.

Если съ извѣстной высоты бросать на тѣло стальной шарикъ, то онъ отскакиваетъ назадъ больше или меньше, смотря по свойству разсматриваемыхъ тѣлъ.

Высота отскакиванія можетъ быть использована какъ одно изъ средствъ для изслѣдованія матеріала. На этомъ принципѣ и построены ребондимеръ.

Хотя ребондимеръ предложенъ для опредѣленія твердости, но принимая во вниманіе, что при двухъ столь различныхъ матеріалахъ, какъ желѣзо и каучукъ, обратное отскакиваніе шара у каучука вообще больше, чѣмъ при желѣзѣ, слѣдуетъ заключить, что высота отскакиванія ребондимера зависитъ больше отъ эластичности, чѣмъ отъ твердости матеріала.

Если, поэтому, проба ребондимеромъ при двухъ различныхъ образцахъ даетъ одинаковыя числа, то можетъ быть, что одинъ образецъ тверже, но менѣе эластиченъ, чѣмъ другой, и только, если эти образцы одинаковаго происхожденія и сложенія, то очевидно, что у этихъ двухъ образцовъ, какъ твердость, эластичность, такъ и другія механическія свойства одинаковы. Поэтому точнѣе надо сказать, что ребондимеръ служитъ для изученія степени однородности металловъ.

Ребондимеръ имѣетъ видъ изображенный на рис. 56. Онъ состоитъ изъ градуированной стеклянной трубки и устроеннаго на верхнемъ концѣ ея приспособленія для освобожденія стального шара посредствомъ сжиманія каучуковой груши. Этотъ шарикъ падаетъ по стеклянной трубкѣ на положенный снизу образецъ и отскакиваетъ назадъ, причемъ наивысшая точка, которой при этомъ отскакиваніи достигаетъ шарикъ, можетъ быть опредѣлена по дѣленіямъ стеклянной трубки. Каучуковую грушу нужно сжимать до тѣхъ поръ, пока шарикъ остается на испытуемомъ образцѣ. Затѣмъ отпускаютъ ее, причемъ шарикъ приводится въ свое первоначальное положеніе въ верхней части аппарата посредствомъ соответствующаго всасывающаго дѣйствія по особому каналу.

Вся высота паденія шарика 500 милл. Высота отскакиванія читается въ тысячныхъ доляхъ этой высоты паденія. Аппаратъ можетъ перемѣщаться вертикально, такъ что можно помѣщать образцы до 200 милл. высотой.

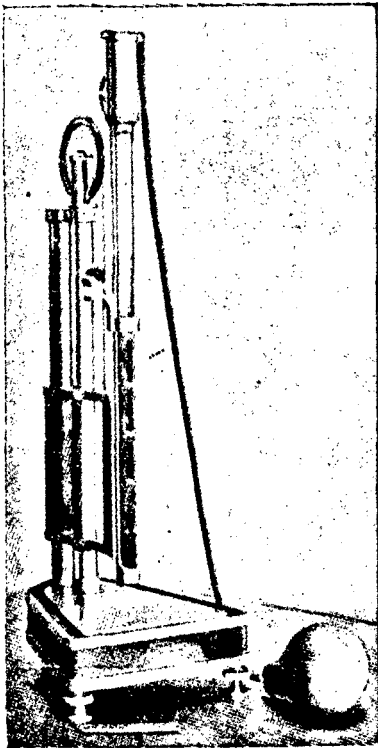


Рис. 56.



При испытаніи большихъ предметовъ, напр. вальцовъ, вынимаютъ ребондиметръ изъ штатива и ставятъ его вертикально на то мѣсто, которое желаютъ испробовать. При этомъ аппаратъ держатъ лѣвой рукой, пока правая управляетъ грушей.

Ватерпасъ, который помѣщается въ аппаратѣ для повѣрки вертикальности положенія, передвигается на немъ вдоль до точки, на которой предполагается прочесть высоту отскакиванія, и можно тогда удобно наблюдать съ помощью находящагося на аппаратѣ маленькаго заркала, какъ ватерпасъ, такъ и высоту отскакиванія.

Какъ уже сказано, посредствомъ ребондиметра можно опредѣлять главнымъ образомъ однородность матеріала. На приложенной фигурѣ (рис. 57) наглядно представленъ результатъ такого изслѣдованія сѣченія бывшаго въ употребленіи желѣзно-дорожнаго рельса. При подобномъ изслѣдованіи раздѣляютъ поверхность сѣченія на малые квадраты и въ каждомъ квадратѣ производятъ пробу нѣсколько разъ.

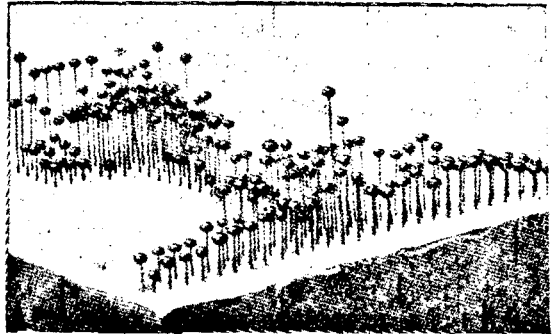


Рис. 57.

Изъ полученныхъ при этомъ результатовъ опредѣлено среднее арифметическое для каждого квадрата и эти среднія числа изображены при помощи иглъ различной высоты. Разница въ высотѣ иглъ характеризуетъ такимъ образомъ степень неоднородности матеріала.

## Приборъ для производства Бринелевскихъ пробъ, изготовляемый на заводѣ „Альфа“ въ Стокгольмѣ.

Описываемый приборъ, изображенный на рис. 58, состоитъ изъ гидравлическаго пресса, въ станинѣ котораго 1 имѣется отростокъ 2, съ вращающимся въ немъ винтомъ 3. На находящейся сверху этого винта площадкѣ 4, съ нижней шаровой поверхностью, кладется испытываемый образецъ, который при вращеніи рукою колеса 6, поднимаясь вмѣстѣ съ винтомъ, прижимается къ шарикъ 7,

закрѣпленному въ штемпелѣ пресса 8, составляющей одно цѣлое съ поршнемъ гидравлическаго пресса 9. При давленіи масло изъ цилиндра пресса по трубкѣ 10 переливается въ сосудъ 11, изъ котораго снова его можно черезъ отверстие 12 перелить въ цилиндръ. Давленіе въ прессѣ 9 на поршень можно произвести съ помощью ручнаго насоса 13, а измѣрить его можно съ помощью манометра 16, указывающаго нагрузку въ килограммахъ.

Для контроля прибора служитъ вѣсовая аккумуляторъ приводимый въ дѣйствіе съ помощью гирь 15 вѣсомъ въ 500, 1000, 1500, 2000, 2500 и 3000 килограммовъ.

При производствѣ опыта приводя въ соприкосновеніе шарикъ съ испытываемымъ образцомъ, и запирая вентиль 14, прекращаютъ сообщеніе между прессомъ и сосудомъ съ масломъ, и съ помощью насоса 13 сжимаютъ масло въ цилиндрѣ и прижимаютъ шарикъ къ образцу.

Черезъ  $\frac{1}{4}$ — $\frac{1}{2}$  минуты давленіе прекращаютъ и разгружаютъ образецъ. Послѣ чего снова отпираютъ вентиль 14.

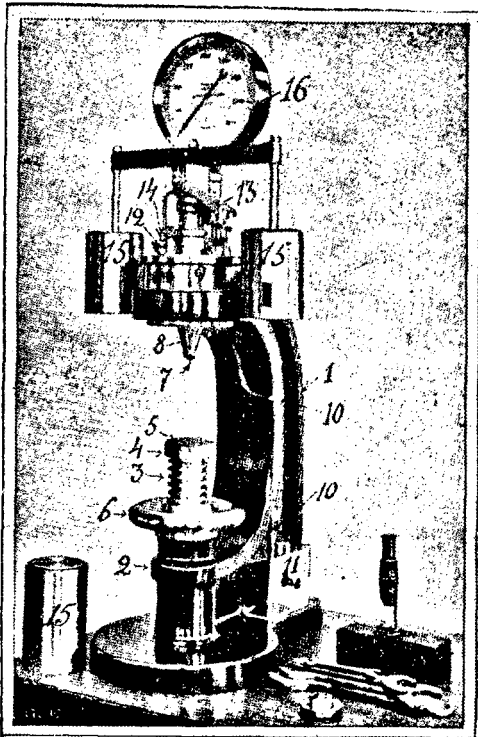


Рис. 58.

I.

Таблица для опредѣленія твердости посредствомъ опытовъ давливанія шарика діаметромъ 10 мм. по способу Бринеля.

$p$ —давленіе въ килограммахъ.  
 $d$ —діаметръ пятна.

$\omega$ —поверхность пятна.  
 $D$ —число твердости.

$d$	$\omega$	$D = \frac{p}{\omega}$					$d$	$\omega$	$D = \frac{p}{\omega}$				
		$\frac{5000}{\omega}$ $D =$	$\frac{3000}{\omega}$ $D =$	$\frac{1000}{\omega}$ $D =$	$\frac{500}{\omega}$ $D =$	$\frac{200}{\omega}$ $D =$			$\frac{5000}{\omega}$ $D =$	$\frac{3000}{\omega}$ $D =$	$\frac{1000}{\omega}$ $D =$	$\frac{500}{\omega}$ $D =$	$\frac{200}{\omega}$ $D =$
1,50	1,8095	2770	1660	551	277	111	3,15	8,0001	625	375	125	63	25
1,55	1,8975	2640	1582	528	264	105	3,20	8,2624	606	361	121	61	24
1,60	2,0232	2180	1187	495	218	99	3,25	8,5310	587	351	117	59	23,5
1,65	2,1866	2290	1373	458	229	91,5	3,30	8,7996	569	340	114	57	23
1,70	2,2871	2180	1310	437	218	87,5	3,35	9,0792	551	332	111	55	22
1,75	2,4378	2055	1236	411	206	82	3,40	9,3588	535	321	107	54	21,4
1,80	2,5761	1940	1164	388	194	77,5	3,45	9,6478	518	311	104	52	20,7
1,85	2,7112	1848	1108	368	185	73,8	3,50	9,9369	502	302	101	50	20,2
1,90	2,8620	1750	1048	350	175	69,9	3,55	10,2353	488	293	98	49	19,6
1,95	3,0159	1660	995	332	166	66,2	3,60	10,5338	476	286	95	48	19
2,00	3,1762	1577	946	316	157,7	63	3,65	10,8416	462	277	92	46	18,45
2,05	3,3427	1498	898	298	149,8	59,8	3,70	11,1495	448	269	90	45	18
2,10	3,5290	1430	857	286	143	57	3,75	11,4495	436	262	88	44	17,5
2,15	3,6757	1361	817	273	136	54	3,80	11,7496	425	255	85	43	17
2,20	3,8485	1304	782	261	130	52	3,85	12,0951	414	248	83	41	16,5
2,25	4,0275	1242	741	248	124	50	3,90	12,4407	402	241	81	40	16
2,30	4,2097	1189	713	238	119	48	3,95	12,7785	392	235	78	39	15,6
2,35	4,3982	1139	683	227	114	46	4,00	13,1162	382	228	76	38	15,2
2,40	4,5930	1090	652	218	109	44	4,05	13,4712	372	223	75	37	14,9
2,45	4,7885	1045	627	209	105	42	4,10	13,8262	362	217	73	36	14,5
2,50	4,9889	1000	600	200	100	40	4,15	14,1719	353	212	71	35	14,1
2,55	5,1931	963	578	193	96	39	4,20	14,5236	345	207	69	34,5	13,8
2,60	5,4036	925	555	185	93	37	4,25	14,8913	336	202	67	33,6	13,4
2,65	5,6188	889	532	178	89	36	4,30	15,2650	326	196	65	32,6	13,1
2,70	5,8310	855	512	171	86	34	4,35	15,6451	319	192	64	32	12,8
2,75	6,0586	827	495	166	83	33	4,40	16,0253	312	187	63	31,2	12,5
2,80	6,2832	798	477	159	80	32	4,45	16,4118	304	183	61	30,4	12,2
2,85	6,5172	767	460	153	77	31	4,50	16,8041	297	179	60	29,7	12
2,90	6,7513	741	444	148	74	30	4,55	17,2065	291	174	58	29,1	11,6
2,95	6,9696	718	430	144	73	29	4,60	17,6087	284	170	57	28,4	11,4
3,00	7,1880	696	418	140	70	28	4,65	18,0186	278	166	56	27,8	11,1
3,05	7,4029	670	402	134	67	27	4,70	18,4286	272	163	54	27,2	10,9
3,10	7,7378	645	387	129	65	26	4,75	18,8527	265	159	53	26,5	10,

d	ω	$D = \frac{p}{\omega}$					d	ω	$D = \frac{p}{\omega}$				
		5000	3000	1000	500	200			5000	3000	1000	500	200
		$D = \frac{p}{\omega}$	$D = \frac{p}{\omega}$	$D = \frac{p}{\omega}$	$D = \frac{p}{\omega}$	$D = \frac{p}{\omega}$			$D = \frac{p}{\omega}$	$D = \frac{p}{\omega}$	$D = \frac{p}{\omega}$	$D = \frac{p}{\omega}$	$D = \frac{p}{\omega}$
1,80	19,2768	259	156	52	25,9	10,4	6,15	37,0126	135	81	27	13,5	5,1
1,85	19,7135	254	153	51	25,4	10,1	<b>6,50</b>	37,7086	133	80	26,5	13,3	5,3
1,90	20,1502	249	149	50	24,9	9,9	6,55	38,3872	131	79	26	13,1	5,2
1,95	20,5978	244	146	49	24,4	9,7	6,60	39,0720	128	77	25,5	12,8	5,1
<b>5,00</b>	21,0455	238	143	48	23,8	9,5	6,65	39,7632	126	76	25,2	12,6	5
5,05	21,5041	233	140	46,5	23,3	9,3	6,70	40,4700	124	74	24,7	12,4	4,95
5,10	21,9629	228	137	45,5	22,8	9,1	6,75	41,1832	122	73	24,4	12,2	4,87
5,15	22,4357	223	134	44,5	22,3	8,9	6,80	41,9058	119	71,5	23,8	11,9	4,8
5,20	22,9085	218	131	44	21,8	8,7	6,85	42,6409	117	70	23,5	11,7	4,7
5,25	23,3939	215	128	43	21,5	8,6	6,90	43,3855	115	69	23	11,5	4,6
5,30	23,8793	210	126	42	21	8,4	6,95	44,1391	113	68	22,6	11,3	4,5
5,35	24,3694	206	124	41	20,6	8,2	<b>7,00</b>	44,9028	111	67	22	11,1	4,4
5,40	24,8720	201	121	40	20,1	8	7,05	45,6877	109	65,5	21,8	10,9	4,36
5,45	24,3778	197	118	39,5	19,7	7,9	7,10	46,4612	107,5	64,5	21,5	10,75	4,3
<b>5,50</b>	25,8931	193	116	39	19,3	7,7	7,15	47,2622	106	63,5	21,2	10,6	4,24
5,55	26,4114	190	114	38	19	7,6	7,20	48,0696	104	62,5	20,8	10,4	4,16
5,60	26,9392	186	112	37	18,6	7,4	7,25	48,8895	102,2	61,5	20,4	10,22	4,09
5,65	27,4733	182	109	36,5	18,2	7,3	7,30	49,7221	100,2	60,3	20,1	10,02	4,02
5,70	28,0168	178	107	35,7	17,8	7,1	7,35	50,5703	99	59,4	19,8	9,9	3,95
5,75	28,5634	175	105	35	17,5	7	7,40	51,4279	97,6	58,6	19,5	9,76	3,9
5,80	29,1163	172	103	34,4	17,2	6,9	7,45	52,2982	96	57,5	19,2	9,6	3,84
5,85	29,6818	169	101	33,8	16,9	6,75	<b>7,50</b>	53,1810	94,5	56,5	18,9	9,45	3,77
5,90	30,2536	166	99	33	16,6	6,6	7,55	54,0795	92,8	55,6	18,5	9,28	3,7
5,95	30,8316	162	97	32,5	16,2	6,5	7,60	54,9905	91,3	54,8	18,2	9,13	3,65
<b>6,00</b>	31,4160	159	95	31	15,9	6,4	7,65	55,9173	89,8	53,9	17,9	8,98	3,59
6,05	32,0066	156	91	31	15,6	6,25	7,70	56,8567	88,3	53	17,6	8,83	3,53
6,10	32,6098	153	92	30,6	15,3	6,15	7,75	57,7332	87	52,1	17,3	8,7	3,47
6,15	33,2136	151	90	30	15,1	6	7,80	58,7824	85,4	51,2	17,1	8,45	3,41
6,20	33,8350	148	89	29,6	14,8	5,9	7,85	59,8192	83,8	50,3	16,8	8,38	3,35
6,25	34,4602	145	87	29	14,5	5,8	7,90	60,7742	82,5	49,5	16,5	8,25	3,3
6,30	35,0634	143	86	28,5	14,3	5,7	7,95	61,7931	81,2	48,7	16,2	8,12	3,25
6,35	35,7325	140	84	28	14	5,6	<b>8,00</b>	62,8320	80	48	16	8	3,2
6,40	36,3828	138	82	27,5	13,8	5,5							

II

Таблица поверхностей шарового сегмента для опредѣленія чиселъ твердости по Бринелю при діаметрѣ шарика=10,319 мм. \*).

Діаметръ пятна <i>d.</i>	Площадь сегмента.	Діаметръ пятна <i>d.</i>	Площадь сегмента.	Діаметръ пятна <i>d.</i>	Площадь сегмента.
1,50	1,7764	2,55	5,1936	3,60	10,5166
1,55	1,8978	2,60	5,4040	3,65	10,8240
1,60	1,9992	2,65	5,6143	3,70	11,1314
1,65	2,1523	2,70	5,8247	3,75	11,4469
1,70	2,2856	2,75	6,0512	3,80	11,7624
1,75	2,4230	2,80	6,2777	3,85	12,0860
1,80	2,5645	2,85	6,5113	3,90	12,4096
1,85	2,7102	2,90	6,7469	3,95	12,7412
1,90	2,8600	2,95	6,9861	<b>4,00</b>	13,0729
1,95	3,0139	<b>3,00</b>	7,2253	4,05	13,4207
<b>2,00</b>	3,1719	3,05	7,4795	4,10	13,7686
2,05	3,3358	3,10	7,7338	4,15	14,1245
2,10	3,4997	3,15	7,9926	4,20	14,4805
2,15	3,7132	3,20	8,2515	4,25	14,8526
2,20	3,9268	3,25	8,5184	4,30	15,2248
2,25	4,0676	3,30	8,7854	4,35	15,5969
2,30	4,2084	3,35	9,0604	4,40	15,9690
2,35	4,3976	3,40	9,3355	4,45	16,3573
2,40	4,5869	3,45	9,6267	<b>4,50</b>	16,7456
2,45	4,7851	<b>3,50</b>	9,9180	4,55	17,1420
<b>2,50</b>	4,9833	3,55	10,2173	4,60	17,5384

\*) Шарикомъ такого діаметра приходилось пользоваться въ Механической Лабораторіи И. И. П. С. при изслѣдованіи рельсовъ для Рельсовой Комиссіи.

Диаметръ пятна <i>d</i> .	Площадь сегмента.	Диаметръ пятна <i>d</i> .	Площадь сегмента.	Диаметръ пятна <i>d</i> .	Площадь сегмента.
4,65	17,9509	5,45	25,2396	6,25	34,1868
4,70	18,3635	<b>5,50</b>	25,7412	6,30	34,8016
4,75	18,7841	5,55	26,2589	6,35	35,4406
4,80	19,2048	5,60	26,7767	6,40	36,0797
4,85	19,6335	5,65	27,3106	6,45	36,7269
4,90	20,0623	5,70	27,8445	<b>6,50</b>	37,3741
4,95	20,5072	5,75	28,3865	6,55	38,0374
<b>5,00</b>	20,9522	5,80	28,9285	6,60	38,7008
5,05	21,4052	5,85	29,5367	6,65	39,3884
5,10	21,8582	5,90	30,0449	6,70	40,0760
5,15	22,3274	5,95	30,6192	6,75	40,7798
5,20	22,7966	<b>6,00</b>	31,1936	6,80	41,4836
5,25	23,2739	6,05	31,7841	6,85	42,2035
5,30	23,7512	6,10	32,3747	6,90	42,9235
5,35	24,2446	6,15	32,9733	6,95	43,6596
5,40	24,7381	6,20	33,5720	<b>7,00</b>	44,3958

