

620.1  
М 66

А. МИТИНСКІЙ.

---

ОСНОВНЫЯ ПОЛОЖЕНІЯ  
ОЦѢНКИ  
КАЧЕСТВА МАТЕРІАЛА.

---

Отдѣльный оттискъ  
изъ «Журнала Русскаго Металлургическаго Общества»  
1914 г.



ПЕТРОГРАДЪ.  
1914.



1991

А. МИТИНСКІЙ.

*Многочисленным  
членам Академии  
России*

*о. м. Митинский*

Абонемент научно-  
технической литературы  
Дата *2004*

*620.1  
M 66*

# ОСНОВНЫЯ ПОЛОЖЕНІЯ

## ОЦѢНКИ

# КАЧЕСТВА МАТЕРІАЛА.

*50525*

Отдельный оттискъ  
изъ «Журнала Русскаго Металлургическаго Общества»  
1914 г.



ПЕТРОГРАДЪ.

1914.

1075



## Основные положенія оцѣнки качества металла<sup>1)</sup>.

А. Митинскій.

### I. Значеніе результатовъ испытаній на разрывъ.

Основой всей теории упругости, теоретической части строительной механики и всѣхъ расчетовъ инженерныхъ сооружений является законъ Гука, т. е. пропорціональность упругихъ деформаций тѣла дѣйствующему на него усилию. Въ сферы дѣйствія этого закона всѣ наши расчеты прочности рѣшительно ничѣмъ не оправдываются, кромѣ нѣкоторыхъ простѣйшихъ случаевъ, когда мы умѣемъ рѣшать задачи и за этимъ предѣломъ, но съ допущеніями и т. д. Поэтому предѣлъ пропорціональности матеріала есть естественная основа всѣхъ сужденій при проектированіи сооружений «съ расчетомъ». Онъ-то и составляетъ «предѣлъ упругости», встрѣчаемый въ теоріи, а мѣрой линейной зависимости между величинами нагрузки и упругой деформации въ предѣлахъ пропорціональных удлиненій является «модуль упругости» — основной элементъ всѣхъ формулъ теории упругости съ точки зрѣнія характеристики качества матеріала.

Германская школа часто даетъ иное опредѣленіе предѣла упругости, а именно, — какъ предѣла нагрузки, при достиженіи котораго впервые появятся остаточныя деформации. Если принимать во вниманіе законъ *Герстнера* (подтвержденный *Вертеймомъ* и другими), а именно, что величины упругихъ деформаций, и при наличности уже остающихся, находятся въ томъ же числовомъ отношеніи къ нагрузкамъ (постоянство коэффициента упругости), какъ и до нагрузокъ, вызывающихъ остаточныя деформации, то приходится признать полное совпаденіе опредѣленія величины предѣла пропорціональности деформаций усиліямъ и предѣла остаточныхъ деформаций; на діаграммѣ деформаций это одинаково выражается измѣненіемъ тангенса кривой деформаций.

Поэтому при господствѣ надъ учеными нѣмецкой терминологіи наименованіе «предѣлъ упругости» перенесли и на предѣлъ проявленія остаточныхъ деформаций.

<sup>1)</sup> Докладъ, сдѣланный въ засѣданіи Р. М. О. 15 мая 1914 г.



При практическомъ опредѣленіи величинъ предѣла остаточныхъ деформаций легко однако получить несовпаденіе его величины съ предѣломъ пропорціональности въ предѣлахъ практическихъ неточностей наблюденія.

Дѣйствительно, опредѣляются съ одной стороны наличность пропорціональности удлинений деформациямъ, съ другой,—величина остающихся удлинений. Методъ опредѣленія послѣдняго заключается въ разгрузкѣ давленія и опредѣленіи совпаденія прежнихъ показаній съ новыми,—это длится обычно очень долго; поэтому около предѣла играетъ роль новый факторъ—время.

При длительномъ опытѣ могутъ проявиться остаточныя удлинения и нѣсколько раньше, т. е. при опредѣленіи предѣла пропорціональности, производимомъ быстро, можно при металлахъ, дающихъ за предѣломъ кривую деформаций, немного лишь отклоняющуюся отъ первоначальной прямой, не замѣтить этого отклоненія при нѣкоторомъ (незначительномъ конечно) избыткѣ нагрузки. Съ другой стороны при нѣсколько неаккуратной работѣ по опредѣленію методомъ остаточной деформации, можно наклепать нѣсколько металлъ и получить цифры, опять таки, немного выше.

Разными такого рода явленіями и обусловлено появленіе въ Германіи цѣлаго ряда разныхъ «предѣловъ упругости».

*С. И. Дружининымъ* (Журналъ Р. М. О. 1912 и 1913 г.) подробно разработанъ вопросъ о физическомъ смыслѣ предѣла упругости нормальныхъ напряженій, какъ совпадающаго съ моментомъ достиженія скальвающими напряженіями величинъ, обусловливающихъ разрушеніе матеріала, что вполне соотвѣтствуетъ извѣстнымъ даннымъ *Баушнера* и др. При этомъ появляются линіи Гартмана, сдвиги внутри металла, повышается температура тѣла и т. д. Послѣ этого металлъ уже не тотъ, какъ былъ раньше—онъ измѣнился, поглотивъ на остающіяся деформации (сдвиги и т. д.) часть приложенной къ нему энергіи. При вторичной нагрузкѣ металла, уже разъ нагруженнаго выше первоначальнаго предѣла пропорціональности, опредѣляемый наблюдениемъ предѣлъ пропорціональности повысится, ибо явленія будутъ слѣдовать закону Герстнера при наличіи уже имѣющихся остаточныхъ деформаций; для полученія новыхъ остающихся деформаций надо повысить нагрузку, чтобы произошли новые внутренніе сдвиги, т. е. вновь опредѣляемый предѣлъ пропорціональности получится выше первоначально опредѣленнаго и т. д. Внутренніе сдвиги происходятъ съ большей или меньшей трудностью въ зависимости отъ мѣста ихъ въ образцѣ. У периферіи имъ всего легче образоваться—у центра образца всего труднѣе.

Общеизвѣстно со временъ опытовъ *Велера* и *Баушнера*, что растяженіемъ образца на испытательной машинѣ нѣсколько выше предѣла пропорціональности достигается то, что при слѣдующемъ испытаніи величина предѣла пропорціональности нѣсколько выше. Такимъ путемъ можно искусственно повышать предѣлъ пропорціональности, не выше однако предѣла текучести; разъ послѣдній превзойденъ, наблюдается рѣзкое по-



нижение предѣла пропорціональности. Отъ толчковъ и ударовъ такой искусственно повышенный предѣлъ пропорціональности падаетъ до естественной величины. Повторныя колебанія нагрузокъ отъ 0 до нѣкоторыхъ все возрастающихъ величинъ могутъ замѣтно даже повысить предѣлъ пропорціональности. На величину временнаго сопротивленія такія колебанія не оказываютъ вліянія.

Повышеніе предѣла пропорціональности при растяженіи сопровождается паденіемъ предѣла пропорціональности при сжатіи бруска и, притомъ, очень быстрымъ—даже до нуля.

Разъ пониженный (путемъ противоположнаго напряженія) предѣлъ пропорціональности можетъ быть снова повышенъ при постепенно возрастающихъ напряженіяхъ, попеременно растягивающихъ и сжимающихъ, но лишь до величины значительно болѣе низкой, чѣмъ первоначальный предѣлъ пропорціональности.

Къ этому же порядку явленій относятся явленія «предѣлъ ложной упругости» мягкаго металла, каковой получается при очень медленномъ плавномъ ходѣ испытательной машины и рѣзко падаетъ до нормальной величины при малѣйшемъ толчкѣ.

Все это явленія, обусловленныя внутреннимъ треніемъ частицъ металла образца.

Распространимы ли они въ той же формѣ на всякіе металлы и нѣтъ ли металловъ, для которыхъ по структурнымъ ихъ свойствамъ, обработка ихъ на холоду, въ родѣ той, какая происходитъ на разрывной машинѣ, окажется прочно улучшающей ихъ качества—вопросъ совершенно пока открытый.

Металлъ при повторныхъ напряженіяхъ можетъ разрушиться и отъ усталости. Къ сожалѣнію, этотъ одинъ изъ наиболѣе важныхъ для службы желѣзнодорожныхъ принадлежностей (особенно осей) вопросъ является чрезвычайно мало изученнымъ. Особенно не выяснена роль тутъ предѣла пропорціональности. Обычно въ данныхъ опытовъ (*Wöhler, Reynolds, Smith, Bauschinger, Föppl, Kommerz, Boudouard*) приводятъ величины временнаго сопротивленія, удлиненія и предѣла текучести.

Опыты *Stanton* и *Bairston* хотя и говорятъ о предѣлѣ пропорціональности, но даютъ для него такія величины (напримѣръ, для бессемеровской неотожженной обыкновенной стали 44,8 временнаго сопротивленія и 33,6 предѣлъ пропорціональности), что выводовъ болѣе осторожно на нихъ не основывать.

*Seaton* и *Jude* изслѣдовали, какимъ напряженіямъ подвергаются стальные и желѣзные части паровой машины средней величины. Оказывается, что подвергается постоянному растяженію и удару 48,8%, повторному растяженію и удару 36%, попеременному растяженію и сжатію съ ударомъ 2,8%, т. е. огромное большинство элементовъ машины нельзя рассчитывать, исходя изъ соображеній статики. Мосты, стрѣлки, оси и т. д. все подвержены ударамъ.

Очевидно à priori, что напряженія не должны (при переменнѣ знаковъ) заходить за величину теоретическаго предѣла упругости, имѣющуюся у



данного металла послѣ многократныхъ колебаній нагрузки. Совпадаетъ ли этотъ предѣлъ упругости съ предѣломъ пропорціональности, опредѣляемымъ для металла еще не подвергнутого такимъ нагрузкамъ, т. е. до нихъ — вопросъ совершенно новый и отвѣта на него мы не знаемъ. Очевидно только, что всякая наклепка, всякое искусственное повышение предѣла пропорціональности будетъ при этомъ снято — новый предѣлъ упругости долженъ быть естественнымъ, вполне соответствующимъ основной структурѣ металла. Съ наибольшей вѣроятностью мы должны считать, что, чѣмъ выше полученный нами при испытаніи на простой разрывъ — безъ всякихъ искусственныхъ мѣръ повышения — предѣлъ пропорціональности, тѣмъ выше таковой и послѣ многократныхъ переходовъ отъ растяженія къ сжатію.

Надо отмѣтить, что распространять выводы, сдѣланные надъ разрывными образцами, на сооруженія можно только принявъ въ расчетъ ихъ величину, форму и условія ихъ напряженій — ибо все дѣло въ образованіи внутреннихъ сдвиговъ частицъ.

Разъ, какъ это имѣетъ мѣсто въ огромномъ большинствѣ случаевъ, наибольшему напряженію подвергаются именно крайнія волокна, т. е. сдвиги частицъ коихъ облегчены, то нельзя рассчитывать на повышение предѣла пропорціональности въ этихъ сооруженіяхъ, даже если разрывной образецъ за счетъ среднихъ своихъ волоконъ его и показывалъ бы нѣкоторое повышение предѣла пропорціональности при послѣдовательныхъ перегрузкахъ.

Въ простѣйшихъ случаяхъ повышение и понижение предѣла пропорціональности подъ дѣйствіемъ усилій, возбуждавшихъ остаточныя деформации, наблюдать удается. При изученіи бандажного <sup>брасел</sup> производства на русскихъ заводахъ въ связи съ выработкой новыхъ ~~пониженныхъ~~ условий на бандажи Министерства Путей Сообщенія обнаружались при испытаніи разрывныхъ образцовъ изъ бандажей, подвергнутыхъ уже ударной пробѣ подъ копромъ, рѣзкія расхожденія по предѣлу пропорціональности при постоянствѣ (въ предѣлахъ точности наблюденія) временнаго сопротивленія разрыву, удлиненія и предѣла текучести. Въ связи съ этимъ Инженеромъ Отдѣла по И. и О. З. М. П. С., Д. И. Спелтъцъ были произведены слѣдующіе прямые опыты. Послѣ испытанія бандажа тремя ударами по 1200 пудофутъ изъ него было вырѣзано три комплекта образцовъ — со стороны гребня (1), по серединѣ (2) и съ противоположной гребню грани (3) всѣ три нормальныхъ размѣровъ, выточенные возможно ближе къ рабочей поверхности бандажа, т. е. первый образецъ наиболѣе далеко отъ центра его.

Комплекты образцовъ взяты: I — осями въ мѣстѣ удара бабой нормально къ направленію удара, т. е. горизонтально во время его, II — рядомъ съ этимъ мѣстомъ, III — еще дальше, такъ что оси ихъ во время удара были вертикальны, IV — діаметрально противъ I, причѣмъ взято было два образца — а) возможно ближе къ внутренней и — б) возможно ближе къ наружной окружности бандажа.

Результаты разрывной пробы были:



	Временное сопроти- вление.	Предѣлъ пропорціо- нальности.	Удлиненіе.
I 1 . . . . .	70	20,5	14
I 2 . . . . .	70	15	15
I 3 . . . . .	69,5	17,5	15
II 1 . . . . .	70,5	29	15
II 2 . . . . .	71	23	13,5
II 3 . . . . .	70,5	26,5	16
III 1 . . . . .	70,5	22	14
III 2 . . . . .	70	20	16
III 3 . . . . .	68	15	15
IV а . . . . .	73,5	44,5	11,5
IV б . . . . .	70,5	22,5	15,5

Временное сопротивление не мѣняется—оно въ предѣлахъ точности наблюденія. Удлиненіе мѣняется слабо, предѣлъ же пропорціональности—очень сильно. Особенно интересны образцы IV—растянутый при ударѣ далъ предѣлъ пропорціональности вдвое больше сжатого.

Бандажей плавки № 610 было взято два. Одинъ изъ нихъ былъ не правленъ и не подвергался ударамъ. При всытаніи четырехъ образцовъ, взятыхъ по концамъ двухъ перекрещивающихся подъ прямымъ угломъ діаметровъ, изъ гребня получилось:

Временное сопроти- вление.	Предѣлъ пропорціо- нальности.	Предѣлъ текучести.	Удлиненіе.
72	23	36,5	12,5
73	26,4	41	15
74,5	24,5	40	13
74,5	26,5	40	13

Второй бандажъ былъ подвергнутъ тремъ ударамъ по 420 пудофуть и тремъ по 1.200 пудофуть. Были взяты образцы ближайшіе къ наружной поверхности бандажа (1, 3, 5) и къ внутренней (2, 4, 6). Образцы 1 и 2 взяты изъ мѣста удара бойка, 3 и 4—рядомъ съ этимъ мѣстомъ, 5 и 6—діаметрально противъ 1 и 2. Результаты были:

	Временное сопроти- вление.	Предѣлъ пропорціо- нальности.	Предѣлъ текучести.	Удлиненіе.
1 . . . . .	76	18,5	40,5	12,5
2 . . . . .	77	29,5	40,5	10,5
3 . . . . .	75,5	24,5	40,5	12,5
4 . . . . .	75	29,5	40,5	12,5
5 . . . . .	76,5	16,5	41	12,5
6 . . . . .	76	разорвался въ верхней трети.		

Колебанія предѣла пропорціональности при постоянствѣ прочихъ элементовъ очень велики особенно для 1 и 5 образцовъ.



Паровозный бандажъ не подвергнутый ударамъ далъ временное сопротивление 68 килогр., предѣлъ пропорціональности 25, удлиненіе 12<sup>0</sup>/<sub>100</sub>. Второй бандажъ такой же плавки и обработки былъ подвергнутъ 3 ударамъ по 1.200 пудофуть и расколотъ на двѣ части, по предварительнымъ надрѣзамъ снутри по оси ударовъ; разрушеніе началось изломомъ верхней части бандажа, сильно при этомъ вогнутого внутрь. Былъ вырѣзанъ одинъ образецъ по наружной сторонѣ этого вогнутого куска ближе всего къ мѣсту излома, т. е. сперва сжатого, потомъ вытянутого, а другой — изъ части его нѣсколько подальше — сперва растянутой, а затѣмъ сильно сжатой. Временное сопротивление было одинаковое — 66 килогр.; предѣлъ пропорціональности для перваго образца былъ 29,5, а при разрывѣ второго съ самаго начала замѣчены были все нарастающія удлиненія; относительное удлиненіе перваго образца 11,5, второго — 14,5.

Приведу еще испытанія инж. *Гиджаръ*. Бандажъ одного изъ западнорусскихъ заводовъ, съ несовершенно поставленнымъ отжигомъ, былъ испытанъ въ 8 мѣстахъ, равномерно расположенныхъ по его окружности; въ каждомъ мѣстѣ было взято 2 образца — изъ самаго гребня и изъ середины тѣла бандажа. Результаты были:

#### Гребень.

Временное сопротивление .	40,5	72	69	71,5	70,5	69	66,5	66,5
Предѣлъ пропорціональности	31	32,5	25,5	31	32	29	22,5	28,5
Удлиненіе, . . . . .	15,5	17	17,5	15,5	15	17	16	16
Суженіе поперечнаго сѣченія	42	42	40	39	38,5	40,5	45	44

#### Середина.

Временное сопротивление .	70	68,5	69,5	71	69	67,5	66	65,5
Предѣлъ пропорціональности	31,5	28,5	32	32	34	22,5	29,5	25,5
Удлиненіе . . . . .	15,5	15,5	18	16	15,5	13,5	15,5	15
Суженіе поперечнаго сѣченія	35	40	42,5	37,5	36	36	39	36

Бандажъ того же качества, испытанный послѣ ударной пробы (5 ударовъ 80-пуд. бабой съ 15-футовой высотой, причемъ бандажъ 897 милл. діаметромъ далъ прогибъ стрѣлой 163 мм., т. е. на 18<sup>0</sup>/<sub>100</sub>), такъ что образецъ 1 приходился непосредственно около мѣста удара вправо, а образецъ 5 непосредственно отъ линіи удара (съ противоположной стороны бандажа) влѣво, причемъ соответствующіе концы этихъ образцовъ прирывавшіе къ линіи удара, далъ при испытаніяхъ на разрывѣ:

#### Гребень.

Временное сопротивление .	69	68,4	70,8	70	67	66,5	67,5	66,5
Предѣлъ пропорціональности	17	31	39,5	31	17	28,5	37	31
Удлиненіе . . . . .	16	14	13	14	17,5	18	12	16,5
Суженіе . . . . .	41,5	36	40,5	38	39,5	44,5	39	41

#### Середина.

Временное сопротивление .	69,5	67,5	67	69	66,5	66	67	67,5
Предѣлъ пропорціональности	20	33,5	14	28,5	17	25,5	14	28,5
Удлиненіе . . . . .	14	15,5	14	12,5	16	16,5	15	16
Суженіе . . . . .	36	43	40	36	36	36	23,5	35



Выводъ тотъ же — предѣлъ пропорціональности при растяженіи чрезвычайно сильно измѣняется послѣ остающихся деформаций, падая чрезвычайно въ сжатыхъ волокнахъ.

Изъ всѣхъ этихъ опытовъ выведено заключеніе, что предѣлъ пропорціональности для сужденія о качествѣ металла, — на примѣръ, бандажа — надо опредѣлять въ бандажѣ еще не битомъ подъ копромъ, иначе результаты могутъ получиться совершенно не отвѣчающіе основнымъ свойствамъ его металла. Что же касается опредѣленія временнаго сопротивленія, то опредѣлять его можно и изъ бандажа уже битого подъ копромъ.

Съ другой стороны, изъ вышеизложеннаго вытекаетъ возможность повысить предѣлъ пропорціональности образцовъ для испытанія искусственно. Разумѣется, со стороны заводууправленія ожидать подобной обработки образцовъ бандажей неудавшихся отжиговъ нельзя, но все же возможность эта должна быть исключена. Поэтому въ новыхъ условіяхъ Министерства Путей Сообщенія на поставку бандажей сохранено при разрывной пробѣ и требованіе минимальнаго удлиненія и минимальнаго временнаго сопротивленія. Первое гарантируетъ отъ искусственной наклепки нормальной твердости бандажа, ибо при таковой очень рѣзко понижается удлиненіе. Последнее гарантируетъ отъ сдачи бандажа съ очень сильнымъ удлиненіемъ (томленаго, на примѣръ, при отжигѣ) помощью предварительнаго натяга образца изъ него.

Предѣломъ текучести — по заграничной терминологіи: *yield point* (металлъ сдаетъ), *limite d'élasticité apparente* (кажущійся предѣлъ упругости) *Streckgrenze* (предѣлъ вытягиванія) — называется нагрузка, при которой удлиненіе прибавляется безъ дальнѣйшаго увеличенія нагрузки. Иногда, особенно въ послѣднее время, когда съ рельефностью стала выдѣляться роль предѣла пропорціональности, лица не оцѣнившіе еще послѣдней, стали называть предѣлъ текучести практическимъ предѣломъ упругости. Оправдывается это названіе тѣмъ, что при наиболѣе распространенныхъ и элементарныхъ приспособленіяхъ при разрывныхъ машинахъ на практикѣ очень легко и удобно опредѣлять при испытаніяхъ величину предѣла текучести. При примѣненіи же этого названія иногда производится какъ бы подмѣна понятій, при чемъ считаютъ, что это то и есть тотъ предѣлъ упругости, который надо принимать на практикѣ, что совершенно невѣрно, ибо обычно для всѣхъ тѣлъ (кромѣ вполне упругихъ, гдѣ предѣла текучести нѣтъ, а предѣлъ упругости совпадаетъ съ временнымъ сопротивленіемъ) предѣлъ текучести лежитъ за предѣлами упругихъ деформаций, въ области, къ которой непримѣнимы уже какіе бы то ни было расчеты теоріи сопротивленія матерьяловъ, лежащей на основахъ теоріи упругости.

Если бы предѣлъ текучести находился въ какой либо зависимости отъ предѣла пропорціональности, т. е. не слишкомъ отличался бы отъ него или отличался бы всегда примѣрно хотя бы на сколько-нибудь постоянное число процентовъ, то можно было бы вести расчеты на предѣлъ пропорціональности, вычисляя его по предѣлу текучести, т. е. обратно разсчитывать по предѣлу текучести съ извѣстнымъ коэффициентомъ. Еще недавно такое мнѣніе было преобладающимъ по недостатку испытаній матерьяловъ, а главное — по соблазнительной простотѣ приѣма.



По окончаніи трудовъ рельсовой комиссіи, техническія условія 1907 г. на стальные рельсы М. П. С. заключали въ себѣ требованіе предѣла текучести (упругости по диаграммному аппарату) 30 килограммъ, что было выведено изъ предположенія, что при этомъ предѣлъ упругости (пропорціональности), который былъ для хорошо служившихъ рельсовъ установленъ около 25 килограммъ, будетъ около этихъ 25 килограммъ. На самомъ дѣлѣ такой связи не оказалось; такъ, напримѣръ, на сибирской жел. дор. пришлось изъять со службы за смятіемъ головокъ около  $1\frac{1}{2}$  миллионъ пудовъ рельсовъ съ предѣломъ текучести 31—49,5 килограммъ, предѣломъ пропорціональности въ огромномъ большинствѣ случаевъ ниже 20 кг., доходящемъ даже до 9,5 кг.

Какъ примѣръ того, что между предѣлами пропорціональности, текучести и временнымъ сопротивленіемъ нѣтъ связи, кромѣ приведенныхъ въ другихъ мѣстахъ этой статьи данныхъ, могу привести еще слѣдующія изъ заводской практики:

	Временное сопроти- вленіе.	Предѣлъ пропорціо- нальности.	Предѣлъ текучести.	Удлиненіе.
Бандажъ безъ отжига . . . . .	65	12	29,5	21,5
Той же плавки, того же от- жига, но въ разныхъ мѣстахъ печи плохо про- грѣваемой . . . . .	61 59 58	25,5 25 21	30 29 30	29,5 22,5 34,5
Бандажи той же плавки, но разныхъ температуръ прокатки . . . . .	75 71,5	17,5 14	39,5 40	10,5 10
Бандажная сталь одной и той же болванки . . . . .	70,5 70,5	24,5 18	32,5 31	14 14
Бандажная сталь, неотож- женная, разныхъ пла- вокъ, примѣрно одинако- ваго химическаго состава: С около 0,6, Мп — 1, Si—0,28% . . . . .	74 71,5 72 71,5 73,5	23,5 20 14,5 23 23	37 36 38,5 36 38	18,5 14 18,5 18,5 14,5
Равномѣрно и быстро сно- сившійся паровозный бандажъ . . . . .	76,5	14	31,5	18,5
Вагонные невыдержавшіе гарантіи бандажи . . . . .	62 69,5	12,5 16	34,5 33,5	22,5 22

Этихъ данныхъ можно привести очень много, но мнѣ кажется подобное отсутствіе зависимости между вышеуказанными 4 величинами не можетъ быть и оспариваемо кѣмъ-либо изъ числа изучавшихъ вопросъ.

Разъ это такъ, то рѣчь можетъ идти лишь о томъ, можно ли для опредѣленія размѣровъ нѣкоторыхъ частей сооруженій выходить изъ предѣла текучести съ извѣстнымъ коэффициентомъ запаса. На это надо отвѣтить положительно для тѣхъ случаевъ, когда расчетъ не ведется на



основаніи какихъ-либо выводовъ теоріи упругости и когда напряженіе статическое—спокойное или, если колеблется иногда, то безъ перемѣны знака, на примѣръ—колонны, цилиндры прессовъ и машинъ, опоры и т. д., словомъ,—какъ разъ то, на что обычно идетъ чугуны. Получивъ остаточную деформацию, такая часть сооруженія больше не деформируется.

Для остальныхъ случаевъ надо всегда исходить изъ величины предѣла пропорціональности даннаго матеріала.

Обычно при мягкомъ желѣзѣ и стали принято было считать, что предѣлъ упругости составляетъ около половины временнаго сопротивленія и неточности допущенія покрывались общей поправкой на наше незнаніе—коэффициентомъ безопасности, который брали съ излишкомъ. Вдобавокъ, дѣло имѣли главнѣйше со статическими нагрузками.

Конечно, нельзя не признать, вѣрнѣе считать отъ предѣла упругости, беря его съ извѣстнымъ, но гораздо меньшимъ коэффициентомъ, но для этого надо знать величины предѣла пропорціональности.

Предѣлъ текучести опредѣляется на разрывныхъ машинахъ и диаграммнымъ аппаратомъ и прямо на глазъ по паденію рычага очень просто. Усовершенствованные диаграммные аппараты, какъ, на примѣръ, князя *А. Г. Гагарина*, отмѣчаютъ остающіяся деформации и до предѣла текучести, т. е. даютъ возможность опредѣлить и предѣлъ пропорціональности тогда, когда эти деформации замѣтно велики, т. е. когда при предѣлѣ пропорціональности наблюдается рѣзкая перемѣна тангенса угла линіи деформации. При нерѣзкомъ, плавномъ отхожденіи этой линіи отъ первоначальнаго направленія надо прибѣгать къ помощи болѣе точныхъ приборовъ—экстензометровъ Мартенса, Cambridge Scientific Co, Юинга и т. д., позволяющими замѣчать незначительныя уже отклоненія отъ закона Гука. Полное изслѣдованіе предѣла пропорціональности дѣло скорѣе лабораторное, какъ это считалось до послѣдняго времени, ибо, къ сожалѣнію, подъ вліяніемъ авторитета центральной Берлинской лабораторіи всюду былъ распространенъ неудобный и нѣжный аппаратъ Мартенса вмѣсто изящныхъ и простыхъ англійскихъ приборовъ.

При употребленіи же металла въ дѣло, вдобавокъ, нужно другое—провѣрить при испытаніи его, не меньше ли этотъ предѣлъ опредѣленной величины, что уже гораздо проще и вполне можетъ быть исполняемо въ повседневной практикѣ.

Къ сожалѣнію, сталь среднеуглеродистая и плохая, скверно обработанная механически или термически, изъ-за которой мы и страдаемъ, даетъ диаграммы растяженія именно лишь слегка отклоняющіяся въ предѣлѣ пропорціональности отъ первоначальной прямой, а потому и требуетъ именно точныхъ приборовъ.

При изслѣдованіяхъ среднеуглеродистой стали до сихъ поръ мнѣ извѣстныхъ оказывалось всегда, что (за исключеніемъ видманштетовой структуры, при которой можетъ быть и хорошій предѣлъ пропорціональности) хорошая извѣстная величина (для рельсовой и бандажной стали 22—25 килограммъ) предѣла пропорціональности соотвѣтствуетъ хорошей структурѣ металла. Достиженіе послѣдней есть цѣль металлурга (но провѣрить ее металлографически гораздо сложнѣе, чѣмъ по предѣлу про-



порциональности), а потому, если при испытании получится хорошая величина предѣла пропорциональности, то можно съ большой долей вѣроятности судить, что металл доброкачественной, хорошо обработанъ механически или соотвѣтственно термически.

Въ случаяхъ изгиба предѣлъ пропорциональности можетъ быть наблюдаемъ довольно легко. Оказывается, что вычисляемое по прогибу предѣльное напряженіе опаснаго волокна всегда выше, чѣмъ получаемое при испытаніи этого матеріала на разрывъ. По *Баушину* и *Консидеру*, для мягкой стали оно больше на 27%, для твердой — почти одинаково.

Работа внутреннихъ силъ, производимая при удлинении бруска длиной  $l$  на величину  $dx$ , измѣряется, очевидно, работой внешней силы  $P$ , а именно  $Pdx$ . Эта сила  $P$  въ свою очередь равна:

$$E\omega \frac{X}{l}$$

гдѣ  $E$ —модуль упругости,  $\omega$ —площадь сѣченія бруска, а  $X$ —удлинение бруска подѣйствіемъ силы  $P$ . Интегрируя выраженіе  $E\omega \frac{x}{l} dx$  въ предѣлахъ отъ 0 до удлиненія  $\lambda$ , получимъ полную работу внутреннихъ силъ тѣла

$$\frac{E\omega\lambda^2}{2l};$$

если положить

$$Q = E \frac{\lambda}{e}$$

т. е. равнымъ напряженію въ концѣ растяженія, когда брусокъ растянуть на  $\lambda$ , то получимъ выраженіе для работы

$$\frac{Q^2}{2E} vl = \frac{Q^2}{2E} v$$

гдѣ  $v$ —объемъ бруска. Если принять послѣдній равнымъ единицѣ, то получимъ выраженіе  $\frac{Q^2}{2E}$  для выраженія потребной къ затратамъ для достиженія напряженія  $Q$  (въ упругихъ предѣлахъ) работы на единицу объема, т. е. живое сопротивленіе даннаго матеріала до напряженія  $Q$ . Очевидно  $\frac{P^2}{2E}$ , гдѣ  $P$  предѣлъ пропорциональности, есть максимальное живое сопротивленіе единицы объема даннаго матеріала, выше чего наступаютъ остающіяся деформации металла и прекращается возможность расчетовъ какъ по данной формулѣ, такъ и по всѣмъ формуламъ теоріи упругости.

Такимъ образомъ, въ отношеніи сопротивляемости удару до остающихся деформаций предѣлъ пропорциональности, значитъ, играетъ очень большую роль. Живое упругое сопротивленіе какого-либо тѣла (соотвѣтствующее живой силѣ удара, которую оно можетъ выдержать) измѣряется произведеніемъ изъ величины объема тѣла, дѣленнаго на величину двойного модуля упругости, на квадратъ величины предѣла пропорциональности. Иными словами, при одинаковой практически величинѣ модуля упругости одного и того же, но разно обработаннаго сорта углеродистой



средней твердости стали, живое сопротивление удару всецѣло зависитъ только отъ квадрата величины предѣла пропорціональности. Такимъ образомъ, съ точки зрѣнія сопротивляемости ударамъ два куска бандажной стали могутъ, при одинаковомъ временномъ сопротивленіи 60—65 килогр. и разномъ предѣлѣ пропорціональности (10 и 25) разъ въ 6 отличаться другъ отъ друга.

Интересно отмѣтить, что по разсмотрѣннй результатовъ службы рельсовъ, изслѣдованныхъ рельсовой комиссіей М. П. С., *А. Л. Бабошинг* еще въ 1904 г. въ своемъ ей докладѣ предложилъ руководствоваться при сужденіи о качествѣ рельсовъ величиной  $\frac{p^2}{R}$  вмѣсто получившаго въ то время значительное распространѣніе выраженія  $\frac{p}{R}$  (гдѣ  $p$  предѣлъ упругости, а  $R$  временное сопротивленіе.). Онъ взялъ 12 наилучше служившихъ въ пути рельсовъ, снятыхъ безъ поврежденій, и 10 рельсовъ наиболѣе износившихся въ пути и со смятыми головками. Характеристика ихъ получилась (округленно) слѣдующая.

Лучшіе рельсы:

Среднее.

Временное сопротивленіе	54,5	83,5	69,5	61	45,5	54	52	70,5	64,5	59	58,5	69	61
$R$	29	33,5	32,5	32	27,5	32,5	32	34	32,5	31	36,5	31,5	32
$\frac{p^2}{R}$	15,9	13	15	16,5	17	19,5	19,5	16,5	16	16	23	14,5	16,8

Худшіе рельсы:

Среднее

Временное сопротивленіе	57,5	62,3	58	57	64	56,5	50	52,5	73	49	52,5
$R$	16,5	25,5	21	17	16,5	21	23	20,5	19	18	20
$\frac{p^2}{R}$	5	10,5	7,5	5	4,5	8	10,5	8	5	6,5	6,8

Разъ сопротивленіе удару регулируется величиной квадрата предѣла пропорціональности, то легко объяснить себѣ, почему тѣло напряженное худо сопротивляется удару; эта величина въ немъ уже отчасти израсходована, т. е. тѣло уже напряжено, хуже сопротивляется удару, чѣмъ тѣла не находящіяся подъ дѣйствіемъ нагрузокъ.

Какъ примѣръ практической важности вопроса, приведу вагонный бандажъ; послѣдній при натягѣ на колесо получаетъ (при нормальныхъ разницѣхъ между діаметромъ колеса и бандажа) напряженіе максимумъ 12 килограммъ. Онъ работаетъ подъ вагономъ уже подъ нимъ, получаетъ извнѣ толчки, напряженіе отъ давленія вагона и т. д. Прямыми опытами ударами бабы легко всегда убѣдиться, что бандажъ перетянутый (недостаточно расточенный передъ насадкой) ломается очень легко, при чемъ колесо не получаетъ почти остающихся деформаций.

Позволю себѣ указать и на то, что сама сталь при нагрѣвѣ легко можетъ получить внутреннія натяженія не какъ издѣліе (неравномѣрность охлажденія и т. д.), а какъ металл. Разъ сталь имѣетъ разный коэффициентъ расширенія при нагрѣваніи, чѣмъ чистое желѣзо (по *Sea-*



*ton* и *Jude* больше на 10%, примерно до 343 С), то очевидно и составляющие элементы стали (феррит и перлит) имеют разные коэффициенты расширения. При охлаждении сильно кристаллической стали, — особенно быстро, когда зерна резко дифференцированы, — окажется, что феррит сжат, а зерна перлита напряжены на растяжение. *Rogers* для стали с 0,45% углерода рассчитывает, что от момента образования перлита до обыкновенной температуры эти внутренние напряжения достигают примерно 8 килограмм. С одной стороны, это вызывает хрупкость металла, а с другой — объясняет отступления от закона Гука и резкие перемены предель пропорциональности при разных термических обработках стали.

Посмотрим на значение предель пропорциональности металла еще с одной стороны.

Согласно теореме Юнга, непосредственно после удара одного тела по другому в момент удара происходит изменение размеров (удлинение ( $l$ ) или сжатие), не зависящее от размеров и массы тела, а обусловленное исключительно отношением скорости ударяющего тела ( $v$ ) к скорости распространения звука ( $c$ ) в данном теле, т. е.  $l = \frac{v}{c}$ . По *Буссинеску* при изгибе  $l = 2 \frac{v}{c}$ .

Если это изменение формы превысит удлинение, соответствующее предель упругости (пропорциональности), то удар (даже легким телом) вызовет остаточную деформацию, а много ударов — даже разрушение тела. Таким образом, повышение предель пропорциональности и в этом отношении крайне благотворно действует на сопротивляемость тела. В сущности, надо повысить удлинение до предель упругости, но последнее в общем для стали пропорционально вышине последнего, ибо модуль упругости для одной и той же стали постоянен, скорость же звука, как обусловленную модулем упругости, будем считать для стали средней твердости величиной постоянной.

Оговариваюсь, что иметь в этом отношении значение, конечно, удлинение до предель пропорциональности, а не удлинение после разрыва, обусловленное текучестью металла, выше предель текучести («упругости» по обыкновенному диаграммному аппарату), не имеющей ничего общего с этим живым упругим сопротивлением металла ударам.

Из вышеприведенного видно, что производит остающиеся деформации, т. е. опасна скорость

$$v = \frac{cp}{E}$$

где  $p$  предель пропорциональности,  $E$  модуль упругости.

Для железа  $c = 4900$  метров;  $p = 9-30$  килогр. на кв. мм.;  $E = 22.500$ ;  $\frac{p}{E} = 0,00045 - 0,0014$  и  $v = 2-7$  метров в секунду.

Поезда имеют теперь скорость больше чем опасная для рельсовой, например, стали по удару. — 10 килограмм предель пропорциональности



соответствует опасная скорость примерно 7 верст в часъ, 25 килодраммамъ пропорціональности рельса—примерно 18 верст в часъ. Для ударнаго изгиба послѣдняя величина возрастаетъ (см. выше), вдвое—до 36 верст в часъ.

Очевидно, что всякое превышеніе въ стыкъ одного рельса надъ другимъ приведетъ къ быстрому смятію перваго независимо отъ его качества (практически). Поэтому строгое обезпеченіе одинаковости высотъ рельсовъ въ стыкахъ казалось бы есть первая задача—не отъ этого ли въ Германіи теперь опытнымъ путемъ дошли до свободнаго стыка на вѣсу, но концы обоихъ рельсовъ лежатъ на одной шпальтѣ съ выемкой подъ стыкомъ, т. е. строго на одной высотѣ?

Принимая во вниманіе всѣ погрѣшности теоріи и вычисленій, можно все-таки сказать, что рельсы съ высокимъ предѣломъ пропорціональности должны служить лучше, чѣмъ съ низкимъ и что послѣднія могутъ служить хорошо лишь при очень малой скорости поѣздовъ. Какъ кажется, это находитъ себѣ подтвержденіе въ результатѣ службы на русскихъ желѣзныхъ дорогахъ стрѣлокъ и крестовинъ. Еще недавно ихъ проходили, уменьшая скорость поѣздовъ до 5 верст в часъ, нынѣ проходятъ гораздо скорѣе—жалобы на плохую службу, особенно крестовинъ, сильно увеличились.

Живое же упругое сопротивленіе пропорціональное, какъ выше доказано, даже квадрату величины предѣла пропорціональности также требуетъ увеличенія послѣдняго. Такимъ образомъ, интересы и металла какъ такового (опасная скорость), такъ и издѣлія (живое упругое сопротивленіе) въ цѣломъ ярко настаиваютъ на высокомъ предѣлѣ пропорціональности. И рельсы, и бандажи, и крестовины должны имѣть высокую величину его.

Модуль упругости не вполне величина постоянная для одного и того же металла и для разныхъ тѣлъ. По опытамъ *Breuil* (*Revue de Mécanique* 1910 г.) модуль упругости стали средней твердости при различной ея термической обработкѣ (въ предѣлахъ до 90° градусовъ) колебался около 22.500 въ предѣлахъ 1%, т. е. лишь въ предѣлахъ точности наблюденія.

При опытахъ *Breuil* сталь не перегрѣвалась. Для перегрѣтой стали модуль упругости по *Rogers*'у увеличивается, т. е. коэффициентъ упругости уменьшается. Модуль упругости также измѣняется при сообщеніи тѣлу остаточныхъ деформаций. Измѣненія эти по *Rogers*'у все же не особенно велики—у стали (0,32 С) отожженной послѣ 2 часового нагрѣва при 1150 гр. модуль на 10%, примерно, процентовъ больше, чѣмъ у стали нагрѣтой всего до 675 гр. Предѣлъ же пропорціональности, обратно упалъ примерно вдвое для стали, нагрѣтой до 1150 гр., противъ прокатной стали.

Для разныхъ металловъ  $E$  имѣетъ разную величину. Для стали съ 0,26 С и 1,22 Мп *Novard* даетъ для  $E$ —20.300, для стали съ 1,07С—28.400. Живое упругое сопротивленіе этихъ двухъ сталей должно быть, значить, разное въ отношеніи  $\frac{p}{E}$ . Для температуры въ 735 онъ даетъ



для  $E$  первой стали 11.900, для второй 9.900. По *Rudeloff* содержание никкеля сильно понижает  $E$ . Для чистого никкеля  $E$  всего около 1.600. Аналогично никкелю долженъ дѣйствовать аналогичный ему во многомъ (по влиянію хотя бы на структуру) ванадій.

Скорость звука въ твердомъ тѣлѣ сама пропорціональна  $\sqrt{E}$ . Поэтому при измѣненномъ  $E$  опасная скорость измѣняется обратно пропорціонально корню квадратному изъ величины модуля упругости и прямо пропорціональна величинѣ предѣла пропорціональности.

Для пушечнаго ствола это разсужденіе приобретаетъ для меня особый интересъ. Въ 1899 г. я защищалъ—въ числѣ прочихъ тезисовъ моей диссертациі «Объ истеченіи газовъ»—тезисъ, что максимальная скорость пушечнаго ядра не можетъ быть больше скорости звука въ горячихъ газахъ и продуктахъ горѣнія пороха. Скорость же эта обуславливалась абсолютной температурой газовъ, а слѣдовательно, въ стремленіи повысить скорость приходится неизбѣжно повышать температуру—скорости снарядовъ уже по моему очень близки къ предѣльнымъ.

При регулированіи опасной скорости на смятіе скоростью звука же выходитъ какъ бы зависимость между двумя звукового характера явленіями въ газѣ и твердомъ тѣлѣ, что я считаю вполне соотвѣтствующимъ сути вещей.

Скорость ядра несравненно выше опасной скорости для стали—металлы пушки всегда будутъ сминаться, но тѣмъ меньше, чѣмъ меньше  $\sqrt{E}$  и чѣмъ больше  $p$ ; поэтому наиболѣе стойки въ пушкахъ должны быть металлы, у которыхъ при высокихъ температурахъ сохраняется высокое  $p$  и  $\sqrt{E}$  поменьше.

Изъ вышеприведенныхъ формулъ слѣдуетъ также, что металлъ подвергающийся усиліямъ динамическимъ долженъ быть непременно настолько однороденъ, чтобы напряженіе можно было считать въ немъ равномернымъ. При распредѣленіи напряженій равномерно и равенствѣ ихъ на единицу въ мѣстахъ бруска переменнаго сѣченія по размѣрамъ каждая единица объема выдерживаетъ живое сопротивленіе  $\frac{Q^2}{E^2}$ ; гдѣ  $Q$  вычисляется какъ среднее допускаемое напряженіе, т. е. въ случаѣ уменьшенія сѣченія бруска въ одномъ мѣстѣ въ  $a$  разъ и увеличенія значитъ во столько же мѣстнаго напряженія, весь брусокъ будетъ имѣть живое сопротивленіе изъ расчета напряженія во всѣхъ его мѣстахъ по этому меньшему въ  $a$  разъ допускаемому напряженію. Разсчитывать надо живое упругое сопротивленіе уменьшеннаго сѣченія на  $p^2$ , а всего остального на  $\frac{p^2}{a^2}$ .

Поэтому выгоднѣе даже сточить весь брусокъ до размѣровъ  $a$ , ибо тогда живое упругое сопротивленіе всего его объема можно разсчитывать по  $p^2$ . Къ этому надо прибавить еще особенность распредѣленія напряженія въ мѣстахъ перемены сѣченій (опыты *Leon, Foppl, Prepos*, теоретическія изслѣдованія *Willers, Filon, Тимошенко*, и т. д.), сильно понижающія сопротивленіе тѣлъ съ рѣзкими переменными сѣченія (напримѣръ пластинокъ съ дырами), особенно повторнымъ напряженіямъ. Это разсужденіе о измѣняющихся размѣрахъ относится вполне до измѣненій въ качествахъ



металла, ибо если мѣстное напряженіе надо вести по допустимому въ наиболѣе слабomъ сѣченіи, то мѣстное ослабленіе предѣла пропорціональности понижаетъ живое упругое сопротивленіе всего тѣла въ отношеніи квадрата величины допускаемыхъ напряженій.

Неравноmѣрность отжига, напримѣръ, бандажа (при уменьшеніи предѣла пропорціональности, скажемъ, въ сторонѣ бандажа, лежащей у холоднаго края печи) съ частичнымъ пониженіемъ предѣла пропорціональности уменьшаетъ живое упругое сопротивленіе бандажа во много разъ. При держаніи металла (скажемъ, бандажной стали) въ критическомъ интервалѣ долгое время, при отсутствіи при отжигѣ быстрого перехода черезъ него, появляются выдѣленія феррита, настолько большія, что ихъ нельзя трактовать, какъ однородность металла (т. е. подходящія подъ дифференціальныя разсужденія, легшія въ основу исчисленій изгиба и т. под.—это, вѣдь, уже конечныя разности), а надо примѣнять къ опредѣленію ихъ главнаго сопротивленія разсужденія о неоднородности тѣла. Чѣмъ структурныя составляющія крупнѣе, тѣмъ хуже живое упругое сопротивленіе металла, ибо считать при видимыхъ простымъ глазомъ крупныхъ составляющихъ силъ, нельзя сплошными а надо расчетъ вести на составляющую, выдерживающую наименьшія напряженія.

Вязкость металла многіе считали и считаютъ характеризующейся его удлиненіемъ при разрывѣ. Нѣкоторые же считаютъ его мѣрой произведенія изъ величины временнаго сопротивленія на удлиненіе. По *Мартенсу* выраженіе вязкости измѣряется произведеніемъ отношенія временнаго сопротивленія къ предѣлу текучести на величину конечнаго удлиненія при разрывѣ.

Смѣшенія понятія объ удлиненіи, получаемомъ на разрывномъ прессѣ, какъ отношеніе приращенія длины между кернами образца послѣ разрыва по первоначальной длинѣ, съ удлиненіемъ металла подѣ дѣйствіемъ статическихъ нагрузокъ и ударовъ повело ко многимъ заблужденіямъ.

До тѣхъ поръ, пока имѣли дѣло съ сварочнымъ желѣзомъ или мягкой литой сталью, вѣра въ удлиненіе держалась. Съ переходомъ же къ болѣе твердому металлу, особенно же термически обработанному, введеніе котораго въ жизнь совершается лишь въ послѣднія десятилѣтія, удлиненію не придаютъ такого значенія, какъ раньше. Въ Россіи во главѣ движенія противъ удлиненія стоятъ артиллеристы, что понятно, ибо они стоятъ ближе всего къ стали твердой, высоко термически обработанной.

Удлиненіе само по себѣ есть величина крайне условная, находящаяся въ зависимости отъ скорости и плавности работы машины и геометрической формы испытываемаго бруска, причемъ послѣдняя зависимость выражается нѣкоторыми эмпирическаго характера формулами — международная  $l = 11,3 \sqrt{f}$ , французская  $l = 8,5 \sqrt{f}$ , въ Англіи, примѣрно,  $l = 2,82 \sqrt{f}$  (гдѣ  $l$  длина,  $f$  поперечное сѣченіе).

Къ сожалѣнію, приходится встрѣчать разсужденія о характеристикѣ металловъ по удлиненіямъ безъ указаній длинъ образцовъ и даже упреки по отношенію къ русскому металлу за малое удлиненіе сравнительно съ англійскимъ безъ учета того, что на величину удлиненія вліяетъ главнымъ образомъ шейка, а длина образца, находящаяся въ знаменателѣ при исчис-



лении относительнаго удлиненія, обычно для русскаго образца въ четыре раза больше англійскаго.

Дѣйствительно, на разрывной машинѣ весь образецъ удлиняется очень мало сравнительно съ тѣмъ мѣстомъ, гдѣ вслѣдствіе мѣстной слабости металла образуется шейка. Удлиненіе же, характеризующее качество металла, могло бы получаться на разрывной машинѣ, лишь если бы весь брусокъ тянулся равномерно.

Можно пожалуй сказать, что чѣмъ сталь хуже, тѣмъ на прессѣ она тянется равномерно— почти весь брусокъ. Хорошая, хорошо термически обработанная сталь даетъ обычно рѣзкую шейку и удлиненіе почти исключительно мѣстное.

Величины и временнаго сопротивленія и предѣла текучести могутъ быть при медленномъ дѣйствіи совершенно не тѣ, какъ при ударѣ. По *André Le Chatelier* очень мягкая отожженная стальная проволока дала:

	Продолжит. разрыва оч. большая.	60"	40"	20"	10"	5"
Временное сопротивленіе.	33	34,4	34,6	34,8	35,9	35,6
Предѣлъ текучести.	22,4	27,4	28	29,3	31,6	32,6

т. е. величины временнаго сопротивленія и предѣла текучести сближаются и увеличиваются.

Опыты *Breuil* (I—отожженная, II—прямо изъ прокатки) показали:

Родъ стали:	Очень мягкая.		Средней твердости.		Твердая.		Фосфористая.	
	I.	II.	I.	II.	I.	II.	I.	II.
Временное сопротивленіе на разрывной машинѣ	31	38,5	51	60,5	74,5	88,5	34,5	42
Удлиненіе на машинѣ	31,5	36,5	22	24,5	13,5	11,5	17,5	18
Удлиненіе при ударѣ (20 минутъ съ 2 м.)	29	31,5	21	25	16	17,3	2	2
Суженіе на машинѣ	0,68	73	54	45	36	22	37	42
Суженіе при ударѣ	74	72	56	51	39	33	7	4

Изъ нихъ видно, какая огромная разница въ свойствахъ фосфористой стали и обыкновенной. При ударѣ удлиненіе послѣдней минимально. Подобнаго рода явленія несомнѣнно находятъ себѣ объясненія въ структурѣ стали—недаромъ же такъ специфически крупнозерниста обыкновенно фосфористая сталь—но все это совершенно пока не изучено.

Этому совершенно не противоричитъ то, что по опытамъ *Велихова* (при небольшихъ скоростяхъ паденіе бабы, приборъ Мартенса, съ высоты 3 метровъ) получалось полное согласіе между сопротивленіемъ образца разрыву статическому и динамическому; удлиненіе, сжатіе и временное сопротивленіе получались одинаковыя. Опыты эти были для обыкновеннаго средняго углеродистаго металла не фосфористаго, т. е. изъ нихъ и опытовъ *Breuil* можно вывести заключеніе, что статическія и динамическія испытанія могутъ давать, но не всегда даютъ сходныя результаты.



Исследования генерала *М. Коробкова* установили, что металлы за предѣломъ упругости удлиняются крайне неравномерно; особенно рѣзко это наблюдается для стального литья и стали термически обработанной. Оказалось, что общія относительныя удлиненія не только не характеризуютъ способности металловъ вытягиваться передъ разрушеніемъ, не характеризуютъ «тягучести» металловъ, но могутъ приводить къ совершенно ошибочнымъ заключеніямъ, что выступило при сравненіи такихъ удлиненій съ испытаніями на изгибъ ударомъ.

Обратная удлинению величина—относительное суженіе въ мѣстѣ разрыва, казалось бы, даетъ возможность вычислить истинное удлиненіе, такъ сказать—идеальное, характеризующее степень тягучести металла. Это идеальное удлиненіе по исследованію *М. Коробкова* хорошо характеризуетъ металлы въ смыслѣ тягучести, давая результаты, согласныя съ результатами измѣренія удлиненій на крайней фибрѣ бруска, растянутого ударомъ. Разумѣется есть и исключеніе, а именно, фосфористая сталь даетъ при разрывѣ отличныя удлиненія и суженія поперечнаго сѣченія, а сталь совершенно не тягуча. Этотъ выводъ *М. Коробкова* вполне совпадаетъ и объясняется только что приведенными опытами *Breuil*.

Разсмотримъ, какое количество энергіи надо затратить, чтобы разрушить тѣло ударомъ. До остаточныхъ деформаций поглотить, по предыдущему,—

$$\frac{v^2}{2kE} vl$$

гдѣ  $v$ —объемъ тѣла, а  $k$ —коэффициентъ для перевода  $e$  въ объемный модуль упругости. До предѣла текучести тѣло поглотить (согласно закона Герстнера, если примемъ что онъ дѣйствуетъ вплоть до предѣла текучести, величины  $S$ ) упругими удлиненіями  $k \frac{S^2}{2E} v$  да еще  $A$ , гдѣ  $A$  есть работа, пошедшая на производство остаточныхъ удлиненій, т. е.—

$$\frac{S^2}{2kE} v + A.$$

Для значеній коэффициента  $\sigma$  желѣза и стали, при остаточныхъ деформацияхъ разные наблюдатели даютъ

$$\sigma = 0,243—0,333$$

Модуль объемной упругости по формулѣ

$$\frac{E}{3(1-2\sigma)}$$

равенъ отъ  $E$  до  $\frac{2}{3} E$ , т. е.  $k$  равенъ отъ 1 до  $\frac{2}{3}$ .

Какова величина увеличенія объема тѣла при теченіи металла, опытно я не знаю, но, надо полагать, вѣрнѣе всего нулевая, ибо добавочныхъ нагрузокъ тутъ не требуется—тѣло течетъ послѣ того, какъ къ нему приложена сила, вызвавшая напряженіе  $S$ , и увеличенія силы не требуется.



Поэтому величина затрачиваемой на текучесть тѣла силы слагаемого  $A$  пока не вполне ясна, вѣроятно мала, а можетъ быть ее и нѣтъ для нѣкоторыхъ тѣлъ и надо принять въ расчетъ еще время, въ теченіе котораго тѣло «течетъ». Во всякомъ случаѣ она, появляясь при предѣлѣ текучести, если и имѣетъ извѣстную величину, то ничего общаго по величинѣ съ удлинениемъ металла, замѣчаемымъ на прессѣ при предѣлѣ текучести, что самое главное, не имѣетъ,—это вдобавокъ объемное, а не линейное (съ соответствующимъ сокращениемъ сѣченія) приращеніе.

Согласованность же цифръ удлиненія при ударѣ и медленномъ разрывѣ ничего не говоритъ, ибо это удлиненіе происходитъ не тогда, когда тѣло сопротивляется, а когда оно уже разрушается.

Очевидно, что пока у насъ нѣтъ твердыхъ данныхъ, что объемъ тѣла во время удара остаточными деформациями сильно мѣняется, мы все свое вниманіе должны сосредоточить на первомъ членѣ формулы и считать, что

$$\frac{S^2 v}{2kE} + A$$

есть мѣра удара, воспринимаемого тѣломъ до и при предѣлѣ текучести  $+ A$  еще то, что пошло на остаточныя деформации. Далѣе, между предѣломъ текучести и временнымъ сопротивлениемъ имѣется возрастаніе напряженій при одновременной деформации металла. По *Stanton* кривая деформаций выражается логарифмической функцией, но это при статической нагрузкѣ. Если считать, что имѣется прямая зависимость между остающимся удлинениемъ, измѣреннымъ послѣ разрыва бруска на прессѣ и удлинениемъ при разрушеніи тѣла ударомъ, то можно представить себѣ, что для сопротивленія бруска огромную роль играетъ идеальное удлиненіе *М. Н. Коробкова*.

Все это разсужденіе вѣрно для обычной среднеуглеродистой стали. Могутъ существовать такія стали, для которыхъ нарастаніе удлиненія при увеличеніи напряженій выше предѣла текучести не будетъ. Далѣе, при мѣстномъ ударѣ по какому-либо тѣлу, не имѣющему удлиненія за предѣломъ упругости, т. е. неспособномъ къ измѣненію подъ ударомъ формы сопротивляется удару, должно уравнивать живую его силу не большая часть тѣла, а только мѣсто удара—остальная часть не вовлекается въ сопротивление—это бываетъ, напримѣръ, въ стеклѣ (опасная скорость для стекла ( $v = \frac{ep}{\rho} = \frac{5.600.4}{6000} \approx 3.8$  метра въ среднемъ для разныхъ стеколъ 3—7 метровъ)). Наличие удлиненія въ этомъ періодѣ благоприятна для выносливости тѣла удару—во время его оно успѣваетъ большей массой воспринять удары.

Теорія прочности, которая есть развитіе ученія объ упругости, находится къ сожалѣнію нынѣ какъ бы въ забросѣ. Конгрессы испытанія матеріаловъ ею почти не занимаются. Послѣ блестящихъ идей *Beltrami*, *Duguet*, наступилъ къ сожалѣнію періодъ, когда спутанность идей о предѣлѣ упругости, смѣшиваемого вдобавокъ съ предѣлами текучести, остановила какъ бы процессъ науки. Нынѣ мы теоріи прочности не имѣемъ—нельзя же въ самомъ дѣлѣ считать серьезными распространеніе формулъ,



выведенныхъ на основахъ теоріи упругости, на напряженія выше предѣла пропорціональности. Пока при сколько-нибудь сложныхъ напряженіяхъ мы можемъ опредѣлять временное сопротивленіе какого-либо тѣла только путемъ экспериментальнымъ. Мы должны поэтому, если дорожить временнымъ сопротивленіемъ элементовъ машинъ и механизмовъ, испытывать ихъ цѣликомъ, а не кусочки—образцы, вырѣзанныя изъ нихъ. Опредѣленіе же предѣла пропорціональности матеріала образца даетъ все же хотя приблизительно матеріалъ для сужденія объ упругомъ ихъ сопротивленіи—чѣмъ выше получится предѣлъ пропорціональности образца, тѣмъ послѣднее выше.

Если предѣлъ текучести будетъ измѣняться параллельно временному сопротивленію, что бываетъ очень часто, то очевидно при разрушеніи бруска ударомъ играютъ главныя роли временное сопротивленіе и идеальное удлиненіе. Во всякомъ случаѣ всѣ разсужденія здѣсь очень произвольны. Надо надѣяться, что труды почтенныхъ изслѣдователей удара, давъ намъ кривыя деформаціи во время удара, уяснятъ наконецъ этотъ вопросъ.

Разсмотримъ, какія сопротивленія должны выносить издѣлія на практикѣ. Издѣлія, выносящія многократные удары (бандажи, оси, крестовины и т. д.) должны разсчитываться на то, чтобы не деформироваться, т. е. чтобы живая сила удара по нимъ была превзойдена живымъ упругимъ сопротивленіемъ, пропорціональнымъ квадрату величины предѣла пропорціональности.

Для пушечныхъ и ружейныхъ дулъ нужно то же самое.

Для снарядовъ бронебойныхъ и палубобойныхъ, разъ они должны пройти черезъ плиту, а потомъ все равно ихъ разорветъ, надо имѣть высокое временное сопротивленіе, большое идеальное удлиненіе, малую сравнительно остаточную деформацію до предѣла текучести и пологую кривую деформацій выше его къ временному сопротивленію. Желательно поменьше модуль упругости, но это уже величина—значенія второго порядка. Высокій предѣлъ текучести желателенъ особенно въ передней части снаряда—дабы онъ особенно уже не деформировался, пока не сдѣлаетъ свое дѣло. Задняя часть снаряда должна быть главнѣйше съ высокимъ идеальнымъ удлиненіемъ—чтобы помимо всего прочаго воспринять, не лопнувъ, энергію удара отъ передней части.

Снарядъ служить разъ въ жизни—я затрудняюсь подысканіемъ еще случая, когда играло бы роль временное сопротивленіе и предѣлъ текучести, развѣ только разсчитывать на катастрофу, чтобы въ случаѣ ея данная часть выдержала наибольшій ударъ до окончательнаго разрушенія.

## II. Износъ металла.

Переходя къ результатамъ опытовъ въ лабораторіяхъ и валовыхъ результатахъ примѣненія металловъ въ желѣзнодорожной практикѣ металла въ издѣліяхъ, подвергавшихся износу, истиранію и т. д., надо прежде всего отмѣтить, что черезъ всѣ результаты красной нитью проходитъ положеніе о независимости износа отъ истиранія отъ временнаго



сопротивленія, предѣла текучести и удлиненія, а въ смыслѣ службы на смятіе на первое мѣсто выдвигается значеніе предѣла пропорціональности.

1. Въ 188<sup>4</sup>/<sub>5</sub> году были произведены изслѣдованія бандажей особой комиссіей Императорскаго Русскаго Техническаго Общества подъ предѣдательствомъ *В. Верховскаго*. Изъ данныхъ изслѣдованій механическихъ свойствъ въ связи съ износомъ можно составить слѣдующія таблицы:

Пробѣгъ до 1 обточка тыс. верст.	Износъ до 1-ой обточки.	Верхъ на 1 мм. износа до 1-ой обточки.	Полный пробѣгъ до изгнѣнія изъ службы т. в.	Временное сопро- тивленіе.	Удлиненіе.	Сжатіе.	С	Мн	Р
37	22	1.685	154	87,5	14,5	27,5	0,58	0,59	0,119
17,1	7	2.443	172	64	20	62,5	—	—	—
17,1	7	2.443	172	60,5	8,5	7,5	0,59	0,37	0,066
25,9	7	3.700	181	58,5	7	9	0,33	1,22	0,067
80,5	16	5.030	217	87,5	10	19	0,74	0,44	0,12
49,7	7	7.100	169	55	13	37,9	0,28	0,62	0,079
59,1	8	7.380	195	75,5	15	26	0,63	0,14	0,178
44,3	4	11.080	212	63	17,5	49	0,52	0,48	0,120
59,5	5	11.900	313	78	4,5	7,5	0,83	0,32	0,171
52,8	3	17.600	176	63,5	18	22	0,38	0,30	0,085
98,2	2	49.600	207	64,5	20,5	39	0,48	0,46	0,087

Если брать бандажи по группамъ, то, выдѣливъ въ одну изъ нихъ пять бандажей, прослужившихъ всего 195 т. в. и выше, а въ другую шесть остальныхъ — получимъ средній пробѣгъ первыхъ—208 т. в. при временномъ среднемъ сопротивленіи 72,5, а вторыхъ—169 т. в. при среднемъ временномъ сопротивленіи—67,5. Такимъ образомъ, создается какъ бы впечатлѣніе, что, повышая временное сопротивленіе, можно увеличить срокъ службы бандажа, но это впечатлѣніе быстро разсѣивается при внимательномъ разсмотрѣніи таблицы, ибо, напримѣръ, самый легко изнашивающійся бандажъ обладалъ какъ разъ наибольшей величиной временнаго сопротивленія.

Если выдѣлить послѣдніе четыре бандажа, давшіе наибольшія цифры пробѣга на 1 мм. износа до 1-ой обточки, то среднее изъ временныхъ сопротивленій ихъ даетъ—67 килогр., т. е. немного меньше 67,5—цифры,



выходящей по вышеприведенному счету (принятому комиссией), соответствующей наихудше служившим бандажамъ.

2. Бандажи, изъятые вслѣдствіе износа ранѣе пробѣга 150 т. в., расположенные въ порядкѣ износа:

Пробѣгъ до 1 обточки тыс. в.	Износъ до 1 об- точки.	Версть по 1 мм. износа до 1-ой обточки.	Полный пробѣгъ до изъятія тыс. в.	Временное сопро- тивленіе.	Удлиненіе.	Сжатіе.	С	Мн	Р
41	22	1.860	135	68	14,5	46,5	0,39	1,27	0,069
41	22	1.860	135	59	22	51	0,28	1,48	0,057
21,2	6	3.530	86	79	13,5	20,5	0,7	0,47	0,098
31,4	8	3.930	86,5	75,5	16	31,5	0,78	0,33	0,027
32,3	7,5	4.320	97,5	85,5	10,5	35	0,49	1,42	0,115
28,1	6	4.650	94,5	71	18,5	32,5	0,53	0,58	0,097
60,9	13	4.670	128,5	83,5	15	25	—	—	—
41,1	8	5.125	130,5	79,5	14,5	25	0,58	0,40	0,119
31	5,9	5.290	34	73,5	5	6	0,47	0,50	0,038
33,1	6	5.520	117,5	60	14,5	36,5	0,34	0,31	0,104
50,9	7	7.720	124,5	46	17	22	—	—	—
29,2	4	7.300	110	64	4	6	0,67	0,40	0,081
37	5	7.400	136	56	23	40,5	0,35	0,37	0,114
57,2	7	8.170	136	64	15	7,5	0,38	0,32	0,126

Изъ этой таблицы выступаетъ отсутствіе какой бы то ни было связи между временнымъ сопротивленіемъ бандажа и его износомъ.

Дѣйствительно, по числу версть пробѣга, приходящемуся на 1 мм. износа бандажа до его 1-ой обточки, лучше всего бандажи съ малымъ временнымъ сопротивленіемъ. Среднее временное сопротивленіе бандажей, выдержавшихъ меньше 5.000 версть на 1 мм. износа 74—килогр., а выдержавшихъ больше—63 килограммъ.

Если считать, какъ это дѣлала комиссія, по группамъ, раздѣленнымъ по количеству версть пробѣга до изъятія, то лучшіе 4 бандажа при среднемъ пробѣгѣ 135,5 т. в. имѣли среднее временное сопротивленіе 66,8 кил., слѣдующіе 5—при пробѣгѣ 122 т. в.—66,7, наихудшіе 5 при пробѣгѣ 79 т. в.—77 килограммъ.



## 3. Бандажи лопнувшіе, расположенные въ порядкѣ износа.

Пробѣгъ до 1 обточки тыс. в.	Износъ до 1-ой обточки.	Версть на 1 мм. износа до 1-ой обточки.	Пробѣгъ бандажа до изыятія т. в.	Временное сопро- тивленіе.	Удлиненіе.	Сжатіе.	С	Mn	P
26,7	22	1.210	32	54,5	26	54	0,2	0,49	0,127
6	4	1.500	70	79	2	1,5	0,9	0,46	0,101
10	6	1.670	30	61	23	57	0,28	1,34	0,093
52,8	3	1.760	41,5	81,5	13	21	0,71	0,29	0,058
8,9	5	1.780	54	58	15	55	0,21	0,80	0,129
16,6	7	2.370	33	71	13,5	41	0,46	0,67	0,081
17,1	7	2.440	59,5	57	21	52,5	0,23	0,58	0,129
14,8	6	2.470	41	70,5	18	32,5	0,61	0,33	0,035
17,2	6	2.870	17	62	5	4,5	0,70	0,43	0,041
17,4	6	2.900	17,5	74	4,5	6	0,77	0,45	0,038
24,2	8	3.030	55,5	57,5	15	13,5	0,64	0,25	0,115
21,6	6	3.600	21,5	46	21,5	62	0,26	0,13	0,194
29,4	8	3.680	61,5	74	15,5	22	0,74	0,37	0,108
23,8	6	3.970	49,5	61	22	51	0,31	1,14	0,169
28,2	6	4.700	59,5	55	2	0	0,65	0,26	0,27
28,5	6	4.750	61	55	16	45,5	0,29	0,50	0,035
28,8	6	4.800	56	56	27,5	53	0,24	0,66	0,160
24,5	5	4.900	128	64	19	43,5	0,30	0,45	0,146
34,7	7	4.960	74,5	77	13,5	27	0,63	0,43	0,079
32	6	5.330	60,5	99	11	12	0,88	0,52	0,090
40,7	7,5	5.430	179,5	67,5	15	26	0,36	1,19	0,152
22,9	4	5.720	33	78	23	23,5	0,29	0,81	0,183
47,2	5,9	8.000	61	81	3,5	3	0,88	0,50	0,040
48,5	6	8.090	90	56,5	4,5	58,5	0,72	0,137	0,197

И въ этой таблицѣ выражается отсутствіе связи между временными сопротивленіями и износомъ бандажа.

Напримѣръ, четвертый и пятый бандажъ при одинаковомъ пробѣгѣ на 1 мм. износа до первой обточки и нѣсколько лучшемъ пробѣгѣ второго изъ нихъ имѣли временное сопротивленіе: первый—81,5, второй—



58. Послѣдніе два бандажа, очень близкіе по износу, имѣютъ: одинъ—81, другой—56,5 кгр. временнаго сопротивленія и т. д.

Переходя теперь къ характеристикѣ лопнувшихъ бандажей по временному сопротивленію, нельзя не отмѣтить, что средняя величина временнаго сопротивленія ихъ 66,5, т. е. даетъ почти ту же цифру (67) какъ бандажи первой таблицы, наилучше служившіе до первой обточки.

Комиссіей расгруппированы лопнувшіе бандажи на 4 группы по 6 штукъ сообразно числамъ верстъ пробѣга до изытія со службы. Среднія величины:

Полный пробѣгъ . . . .	100	597	457	251
Временное сопротивленіе .	67,85	67,27	66,45	62,64

Первыя двѣ цифры временнаго сопротивленія совпадаютъ въ предѣлахъ ошибки наблюденія при испытаніи. Вторыя создаютъ впечатлѣніе, что мягкіе бандажи лопаются скорѣе твердыхъ, что и приведено въ качествѣ утвержденія въ докладѣ комиссіи и противорѣчить установившемуся на это взгляду, и хотя и выведено всего на примѣрѣ 24 бандажей, но, очевидно, заслуживаетъ самаго серьезнаго вниманія.

У худшихъ шести бандажей четвертой группы—двѣнадцатаго, перваго, третьяго, девятаго, десятаго, двадцать втораго—временное сопротивленіе составляетъ послѣдовательно 46, 54, 5, 61, 62, 74, 78 кгр. при содержаніи фосфора въ первыхъ двухъ 0,194 и 0,127%. Если же исключить эти два явно фосфористые хрупкіе бандажа, то среднее временное сопротивленіе разрыву будетъ то же, что у признанныхъ лучшими бандажей.

Изъ шести бандажей третьей группы (одиннадцатаго, пятаго, четырнадцатаго, восьмого, шестаго и четвертаго) временное сопротивленіе было, 57,5, 58, 61, 70,5, 71, 81,5 при фосфорѣ въ первыхъ трехъ—0,115, 0,129, 0,169, т. е.,—и здѣсь лопнувшіе бандажи малаго временнаго сопротивленія сильно фосфористы.

Такимъ образомъ, нѣтъ основаній изъ приведенныхъ цифръ опасаться хрупкости бандажей малаго временнаго сопротивленія. Такіе бандажи могутъ быть хрупкими, но это не отъ малаго временнаго сопротивленія, а отъ наличія большого количества фосфора и т. д.

Въ 1907 году на одинъ изъ заводовъ было возвращено такое большое число износившихся (до 28—41 мм. съ начальнымъ 65) паровозныхъ бандажей съ требованіемъ замѣнить ихъ новыми въ счетъ гарантіи, что Отдѣломъ были произведены испытанія 7 бандажей.

Срокъ службы мѣсяцевъ.	Времен. сопротив.	Удлине- ніе.	C	Mn	Si
28	83,5	11,5	0,56	1,01	0,15
26,5	76	14,5	0,48	1,03	0,15
24	68,5	5,5	0,30	0,73	0,11
57	73	15,5	0,40	0,80	0,21
41	78,5	14,5	0,48	1,13	0,13
47	75	16	0,48	0,90	0,16
48	72,5	14	0,50	0,98	0,16



Сѣры было 0,025, фосфора 0,05—0,06%. Эти цифры тоже показываютъ отсутствіе связи между износомъ, истираніемъ и временнымъ сопротивленіемъ.

Въ исторіи изученія свойствъ стали для нуждъ желѣзныхъ дорогъ крайне почетное мѣсто занимаютъ труды Комиссіи, образованной при Инженерномъ Совѣтѣ для выработки новыхъ техническихъ условій на поставку стальныхъ рельсовъ (1899—1906 г.), далеко не пользующіеся той общеизвѣстностью, которую они заслуживаютъ и которую они имѣли бы, если бы были сдѣланы иностранцами. Комиссія эта разсмотрѣла весь матеріаль, собранный рельсовыми комиссіями технического общества, а, главное, произвела рядъ подробнѣйшихъ и всестороннихъ изслѣдованій, механическихъ, химическихъ, микроскопическихъ надъ рельсами, хорошо и плохо служившими.

Характеристику результатовъ этого видимъ въ таблицѣ:

Тоннажъ рельс. млл. тоннъ.	Число рельс.	У г л е р о д ъ .			Временное сопроти- вленіе.			Число Бринеля.		
		Отъ	До	Сред- нее.	Отъ	До	Сред- нее.	Отъ	До	Сред- нее.
До 10 м. т.	46	0,165	0,615	0,411	51	83	65	163	233	194
„ 50 „ „	72	0,127	0,705	0,342	46	83,5	62	144	246	191
Свыше 50 м. т.	19	0,135	0,725	0,375	48	72	61	139	224	192

Что касается отношенія между службой рельсовъ и стрѣлой прогиба при ударномъ испытаніи, то данныя Рельсовой Комиссіи (журналы №№ 23 и 24) даютъ: рельсы, хорошо служившіе, послѣ перваго удара—46—82 мм., среднее—63 мм.; рельсы, давшіе наибольшей тоннажъ среднее—66; рельсы смятые—55—76, среднее—66; рельсы стертые—54—78, среднее—63; рельсы порочные—40—82, среднее—61 мм. Установленныя комиссіей нормы—30—75 мм.—даютъ только границы, въ которыхъ держатся стрѣлы прогибовъ рельсовъ, не представляющихъ по качеству чего-либо совершенно ненормальнаго.

Въ докладѣ А. Бабошина рельсовой комиссіи 7 мая 1904 г. указывалось, что основная причина хрупкости рельсовъ лежитъ или въ ненормальномъ химическомъ ихъ составѣ, т. е. въ большомъ количествѣ фосфора—особенно при повышенномъ содержаніи углерода—или въ недостаточно внимательной прокаткѣ, при чемъ сталь перегрѣвается настолько, что прокатной металлъ крупнокристалличень; особенно легко это получается при повышенномъ содержаніи углерода и марганца, почему желательно избѣгать совмѣстнаго повышенія ихъ. Сминаемость же рельсовъ зависитъ главнѣйше отъ низкаго предѣла упругости ихъ, обуславливаемой плохой прокаткой.

Въ докладѣ предсѣдателя Рельсовой Комиссіи покойнаго Л. Николаи Инженерному Совѣту сказано, въ видѣ общаго вывода, что надежды комиссіи на обнаруженіе опредѣленной зависимости между службой рель-



«Стр. 25, 12—13 строка снизу должна читаться: «Последние 7 рельсовъ взяты съ завода и на службѣ не были».



совъ, химическимъ составомъ и различными механическими свойствами не оправдались. Изученіе механическихъ свойствъ привело къ выводу, что: 1) рельсы со среднимъ или даже низкимъ сопротивленіемъ разрыву оказываются въ большинствѣ случаевъ лучше рельсовъ высокаго сопротивления, 2) ударная проба въ огромномъ большинствѣ случаевъ обнаруживаетъ хрупкіе и вообще порочные рельсы, 3) предѣлъ упругости или отношеніе предѣла упругости къ временному сопротивленію имѣютъ, повидимому, нѣкоторое отношеніе къ службѣ рельсовъ.

Первыя два положенія незыблемы и до настоящаго времени, третье дальнѣйшими работами члена комисіи *А. Л. Бабошина* развито и объяснено въ связи съ изученіемъ микроструктуры рельсовъ. Различная износъ (истираемость) металла отъ текучести его, обусловливающей смятіе рельсовъ и бандажей, *А. Л. Бабошинъ* доказалъ (*Журналъ Русскаго Металлургическаго Общества 1912 г., № 4*), что «предѣлъ упругости», опредѣляемый по діаграммамъ самопишущихъ приборовъ, вообще говоря, не имѣетъ никакой связи съ структурой стали. Пользованіе имъ вноситъ только «путаницу въ общія представленія о техническихъ свойствахъ стали». «Обычное представленіе о смятіи (текучести) въ рельсахъ, какъ результатъ мягкости металла неправильно. Вытеканию могутъ быть подвержены и твердые въ обычномъ смыслѣ рельсы. Текучесть металла тѣсно связана съ основными элементами структуры стали, т. е. величиной зерна, съ одной стороны, и строеніемъ перлита—съ другой, что въ свою очередь зависитъ отъ термической и механической обработки стали. Зернистая (кѣтччатая) структура присуща всякой стали. Текущіе рельсы имѣютъ очень низкій предѣлъ пропорціональности, тѣсно связанный опять-таки съ основными элементами структуры, а также—термической и механической обработкой».

На одной изъ сибирскихъ желѣзныхъ дорогъ пришлось недавно снять съ путей за негодностью громадное количество рельсовъ. Рельсы эти были всесторонне изучены въ лабораторіи *И. И. П. С.* Привожу главныя данныя (всѣ образцы изъ головки) этого изученія (при чемъ для каждаго рельса дѣлалось нѣсколько испытаній ряда кусковъ по длинѣ рельса—указаны крайніе предѣлы).

Первые 14 рельсовъ всѣ показали большую сминаемость головокъ, послужившую причиной святія съ пути. Послѣдніе семь рельсовъ показали трещины и иной формы поврежденія головокъ. Всѣ рельсы смятые имѣютъ одно общее—низкій предѣлъ пропорціональности при высокомъ порой временномъ удлиненіи, предѣлъ текучести и прочихъ элементахъ. Исключеніе составляютъ рельсы 10 и 11, показавшіе какъ будто бы и высокій предѣлъ пропорціональности, имѣютъ совершенно ненормально малое для рельсовой стали содержаніе углерода и полученіе для нихъ высокій предѣлъ пропорціональности (по одному какъ разъ только испытанію на рельсѣ) заключаетъ въ себѣ явно что-то аномальное и случайное. Что рельсы «твердые» текутъ,—хотя скорѣе съ обычной точки зрѣнія, можно было бы предположить въ нихъ хрупкость,—въ сущности аналогично теченію хрупкой смолы подъ дѣйствіемъ долго продолжающихся усилий.



C	Mn	Si	P	S	Временное сопротивление.	Удлинение.	Сужение.	Предельная площадь.	Предельная про- порциональ- ность.	Число Бринелля.
0,55	0,35	0,011	0,036	0,01	65—67	11,6—17	27—35	38—45	9,5— 9,5	15,8
0,55	0,22	0,007	0,069	0,006	68—73	13,5—19	27—37	27—39	9,5—10,5	161—174
0,45	0,44	0,034	0,043	0,007	62—64	13—14	44—46	38	16	150
0,63	0,39	0,013	0,037	0,005	71—71	14	24—28	28	9,5	180
0,54	0,42	0,012	0,055	0,029	63—66	15—19	31—42	40—47	10—14,5	156—167
0,37	0,22	0,009	0,051	0,020	58—61	11—20	44—50	35—46	16	154—158
0,38	0,44	0,012	0,085	0,019	59—63	13—14	43—50	43	16	158
0,48	0,66	0,018	0,035	0,025	66—68	13—19	37—40	45—50	14,5—16	158—167
0,42	0,86	0,040	0,087	0,008	61—68	11—20	51—55	41—55	16—22	156—176
0,19	0,48	0,110	0,098	0,004	51	8—9	60—62	46	25,5	33
0,24	0,44	0,110	0,07	0,004	47—50	9—18	47—57	26	27	139
0,56	0,59	0,012	0,046	сл.	78—80	8—15	11—24	45—47	13—16	187—194
0,48	0,57	0,012	0,031	0,018	65—70	13—18	26—40	42—49	10—11	160—176
0,54	0,35	0,018	0,036	0,023	63—68	19—20	35—40	35	9,5	153
0,69	0,44	0,028	0,050	0,029	85—87	9	16	49	12,5	194
0,65	0,73	0,17	0,083	0,021	73	17—18	31—36	41	19,5	168
0,61	0,18	0,09	0,045	0,029	75—76	14	21—25	41	20,5	174
0,50	0,36	0,028	0,035	0,021	68—69	17—18	29—36	45	16	163
0,63	0,25	0,017	0,053	0,021	79—80	13—14	26—27	47	20,5	185
0,55	0,39	0,091	0,043	0,038	73—75	15—16	22—32	34	16,5—24,5	174—180
0,57	0,36	0,110	0,060	0,039	80—81	11—14	21—25	31	29	194

Интересно по этой таблицѣ прослѣдить, какъ мѣняется отношеніе между предѣломъ пропорціональности и предѣломъ текучести: отъ почти 1 (последній рельсъ) до меньше  $\frac{1}{4}$  (первый рельсъ)—и это въ прокатномъ металлѣ, термической добавочной обработкѣ неподвергавшемся!

Привожу еще примѣръ очень хорошо служившихъ бандажей Николаевской ж. д., изслѣдованіе коихъ произведено въ лабораторіяхъ Института Инженеровъ Путей Сообщенія (I—гребень, II—середина, III—напольный край).

Всѣ эти бандажи, можно сказать, очень чисты по отношенію фосфора и сѣры, не очень сильно углеродисты, съ умѣреннымъ содержаніемъ марганца. Временное ихъ сопротивленіе и удлиненіе очень разнообразны. По предѣлу пропорціональности, они въ среднемъ высоки—средняя изъ



Пробѣгъ тыс. вер.	363	337	337	329	289	284	273	238	171	165	164	152
Продолжит. службы (лѣтъ—мѣсяц).	11—9	12—1	10—3	11—3	12—2	13—2	7—10	9—11	6—7	10—2	6—1	5—5
Нагрузка на ось тоннъ . . . . .	13,3	13,3	13,3	13,3	13,3	13,3	14,4	14	12,8	14,4	14,4	13,3
Временное сопротивление I . . . . .	70	71	69	64,5	70,5	70,5	67,5	—	—	75,5	57,5	69,5
” II . . . . .	63,5	74	67	62	67,5	70	69,5	73	69	78	52,5	65,5
” III . . . . .	68,5	74	70	67	68,5	71	71,5	77	64,5	88	55	76
Удлиненіе I . . . . .	8	6,5	14	23,5	20	15,5	14,5	—	—	13	21	14,5
” II . . . . .	17,5	13	18	17	15,5	16,5	15	17	15	12,5	28,5	13,5
” III . . . . .	20	13,5	14,5	11,5	6,5	15,5	10,5	12	13,5	13,5	23,5	12,5
Суженіе I . . . . .	—	13	31	31	40	39	28	—	—	20	34	35
” II . . . . .	62	29	39	41	24	32	34	33	39	23	43	46
” III . . . . .	39	23	38	26	10	35	32	28	42	30	45	23
Пределы пропорциональности I . . . . .	29	27	26	23	33	28,5	18,5	—	—	21	22	29,5
” II . . . . .	22,5	25,5	19	27	30	31,5	29,5	28,5	27,5	32	17	31,5
” III . . . . .	31,5	25	26	35,5	32	25	22,3	31	27	40	20,5	25,5
Средняя величина предела пропорциональности	28	26	24	28,5	32	28	27	30	27	31	20	29
C . . . . .	0,46	—	—	—	—	—	0,50	0,56	0,47	—	0,42	0,46
Mn . . . . .	0,98	—	—	—	—	—	1,02	1,10	1,06	—	0,78	1,07
Si . . . . .	0,091	—	—	—	—	—	0,121	0,197	0,181	—	0,191	0,292
P . . . . .	0,026	—	—	—	—	—	0,036	0,021	0,025	—	0,027	0,039
S . . . . .	0,018	—	—	—	—	—	0,022	0,033	0,018	—	0,044	0,020

среднихъ 28. Третій и одиннадцатый бандажи даютъ для образцовъ изъ середины ниже 20 (при временномъ сопротивленіи соответственно 67 и 52,5), но надо замѣтить, что образцы брались изъ бандажей очень сильно уже сношенныхъ, т. е. приходились, при вырѣзѣ не изъ гребня, серединой своей уже очень далеко отъ рабочей поверхности бандажа въ ея начальномъ видѣ. Гребень же далъ соответственно 27 и 22 килограмм., т. е. ве-



ЗАВОДЪ.	Годъ изготовленія.	Лѣтъ службы.	Временное сопроти- вленіе.	Продѣлъ пропорціо- нальности.	Удѣленіе.	С ж а т і е.	С	
Товарно-вагонные	08	1	58,5	26,5	21	45	0,37	
			61	24,5	20	40		
			61,5	26,5	19,5	43		
07	3	84	31	10,5	37	0,61		
		83	31	13	38			
		80	33	12	41			
04	5	84	33,5	9,5	40	0,61		
		84	26,5	11	32			
		86	32,5	11	38			
02	8	61	28,5	4,5	47	0,42		
		61	28,5	13,5	46			
		61,5	28,5	19,5	46			
02	8	68	28	11,5	41	0,69		
		73	29	10	40			
		73,5	29	11	39			
Паровозный	09	2	52,5	12	23,5	53	0,48	
			55,5	14,5	19,5	54		
			51,5	17	19,5	49		
Паровозный 222 т. вер.	07	4	69,5	25,5	14	41	0,43	
			68	22,5	18	40		
			66	25,5	18	40		
Пассажирский	0,2	8	69,5	38,5	15,5	30	0,38	
			69	34,5	9,5	12		
			65,5	30,5	3,5	11	0,53	
			67	29,5	17,5	39		
			02	62	33	21	42	0,44
				76	30	15,5	40	
				81	32	11,5	39	
65,5	29	15,5		44	0,41			
64	30	13,5		47				
Паровозный	08	2	71,5	20,5	17	47	0,43	
			70	20	14	38		
			70	21	16	42		



Mn	Si	P	S	П Р И М Ъ Ч А Н І Е.
1,22	0,188	0,040	0,023	Крупнозернистый, много включений шлака. Оч. крупные зерна перлита.
1,17	0,263	0,078	0,025	Чрезвычайная крупнозернистость. Оч. крупные зерна перлита.
1,055	0,057	0,002	0,035	Крупнокристаллический.
0,749	0,058	0,068	0,063	Неоднородность строения, сильно развитая крупная кристаллизация.
0,572	0,439	0,031	0,023	Ст—1,067, много шлака, крупная кристаллизация.
0,85	0,247	0,046	0,008	Ст — 0,343, Ni — 0,021, весьма крупнозернисть.
1,10	0,253	0,087	0,038	Крупнозернисть; у рабочего края видоизменение структуры отжигомъ, но глубиной всего 5 мм., но и то при оч. низк. температурѣ. Середина сырая.
1,09	0,179	0,130	0,073	Мелкозернистость.
0,92	0,075	0,135	0,025	Крупнозернисть.
1,05	0,48	0,133	0,036	
1,07	0,089	0,112	0,042	Обиліе ликвиционныхъ выделеній у трещины усадочнаго пропсхождения.
1,01	0,160	0,044	0,022	Ст — 0,673, крупнозернистая.



личины вполне хорошия. Бандажей очень плохо служивших мнѣ пока сравнительно не удалось получить, ибо имѣющіяся у меня изслѣдованія касаются почти исключительно бандажей, забракованныхъ по мѣстнымъ порокамъ.

Изслѣдованія лопнувшихъ на дорогахъ бандажей показали слѣдующее (1—гребень, 2—середина, 3—напольная сторона).

Изъ этой таблицы можно, казалось бы, сдѣлать слѣдующія заключенія.

Бандажи лопаются и высокаго и низкаго временнаго сопротивленія, сырые и «отожженные», но при такихъ условіяхъ, что отжигъ былъ чисто фиктивенъ.

Общее у всѣхъ этихъ бандажей только одно — плохая структура, сильно развитая крупная кристаллизациія зеренъ. Интересно отмѣтить, что всѣ четыре лопнувшихъ предпоследнихъ бандажа имѣютъ очень высокое содержаніе фосфора при марганцѣ свыше 1 процента.

На этихъ бандажахъ прекрасно видно, что предѣлъ пропорціональности вовсе не есть что то такое, вполне гарантирующее качество металла. Если онъ плохъ, то обычно плоха структура, но если онъ хорошъ, то структура можетъ быть, а можетъ и не быть хорошей—напримѣръ, она можетъ быть видманштедтовой и т. под. Какъ контрольное средство для сужденія о правильности термической обработки извѣстнаго примѣрно состава бандажей, выдержавшихъ ударную пробу, онъ не замѣнимъ. Хорошую службу металла на смятіе онъ гарантируетъ.

Изъ имѣющихся у меня и обрабатываемыхъ нынѣ результатовъ изслѣдованій свыше чѣмъ ста осей, поломавшихся на желѣзныхъ дорогахъ, выходитъ, что во всѣхъ случаяхъ поломокъ на лицо или очень низкій предѣлъ пропорціональности или большое содержаніе фосфора (и мышьяка) или зернисто-видманштедтовая структура. При этомъ послѣдняя за послѣдніе годы все чаще и чаще попадаетъ. Повидимому, заводы стали торопиться ковать оси поторѣе и участились случаи перегрѣва. Пока обязательнаго отжига осей (кромѣ паровозныхъ) по русскимъ техническимъ условіямъ не требуется.

### III. Твердость.

Очень вреднымъ для техники явилось смѣшеніе понятія о твердости въ обычномъ смыслѣ этого слова съ понятіемъ о твердости въ теоріи сопротивленія матеріаловъ. Обывательское понятіе о твердомъ тѣлѣ неразрывно соединено съ понятіемъ о высокомъ сопротивленіи его истиранію: мягкое тѣло стирается, изнашивается легче твердаго; вмѣстѣ съ тѣмъ твердое тѣло обычно не тягуче, хрупко, скорѣе лопнетъ, чѣмъ мягкое.

Часто мягкимъ металломъ называется металлъ, способный получать значительныя остаточныя деформациі, а ему противопоставляется жесткій (хрупкій), лопающійся, не получивъ никакихъ остаточныхъ деформаций, т. е. еще до предѣла упругости.

Упругимъ тѣломъ называется тѣло, получающее остающіяся деформациі лишь при значительной величинѣ деформаций, т. е. выносящее зна-



чительную деформацию, возвращаясь къ первоначальнымъ размѣрамъ, по удаленіи силъ, эту деформацию вызвавшихъ.

Въ минералогіи тѣломъ болѣе твердымъ называется тѣло чертащее, тѣло менѣе твердое. Составлена для выраженія твердости шкала твердости, имѣются даже измѣрители твердости въ данномъ смыслѣ понятія, т. е. даванія черты — такъ называемые склероскопы и т. д. При изложеніи данныхъ сопротивленія матеріаловъ твердой сталью обычно называютъ сталь съ повышеннымъ временнымъ сопротивленіемъ и содержаниемъ углерода. Обычно приписываютъ ей хрупкость. Вызвано это случаями поломки мостовъ и паровыхъ котловъ (напримѣръ, яхты Ливадія), построенныхъ изъ твердой стали въ началѣ перехода отъ сварочнаго жельза къ металлу, при отсутствіи отжига и т. д.

Такимъ образомъ, существуютъ параллельно въ двухъ наукахъ разные понятія, выражаемые словомъ твердость. Вещества очень твердые минералогически могутъ быть мягкими съ точки зрѣнія механической. Идеаль минералогической твердости — алмазь, по моимъ опытамъ, имѣетъ временное сопротивленіе всего 60—70 килогр.

Твердостью правильно называть сопротивленіе вещества проникновению въ него другого тѣла, вызывающему хотя бы поврежденіе поверхности.

Въ 1882 г. *Герцъ* далъ научное измѣреніе твердости испытываемаго тѣла нормальнымъ давленіемъ (на единицу поверхности), которое наблюдается въ центрѣ поверхности соприкосновенія (давленія) тѣла съ шаровой поверхностью другого тѣла въ моментъ достиженія предѣла упругости въ какой либо точкѣ испытываемаго тѣла.

Иными словами, по *Герцу* твердость есть прямая функція предѣла упругости — мѣра ея есть величина нормального напряженія въ моментъ достиженія предѣла упругости, при чемъ послѣдній обуславливается величиной тангенціальныхъ напряженій, развивающихся одновременно съ нормальнымъ напряженіемъ. Для тѣлъ хрупкихъ, обладающихъ очень высокимъ предѣломъ упругости, сравнительно съ временнымъ сопротивленіемъ, достиженіе этого момента обуславливается появленіемъ трещины.

На величину тангенціальныхъ напряженій (Теорія скатія соприкасающихся твердыхъ тѣлъ и опредѣленіе твердости тѣлъ — *Т. Фризендорфъ*) вліяетъ видъ поверхностей соприкасающихся тѣлъ. При нажатіи другъ на друга двухъ упругихъ шаровъ одинаковой упругости, но разныхъ радіусовъ на контурѣ большаго шара тангенціальныя напряженія больше.

Практическое примѣненіе идей *Герца* о твердости сопровождалось кореннымъ искаженіемъ самыхъ принциповъ его идей.

Уже *Auerbach* въ своихъ опытахъ далеко перешелъ за предѣлы упругости. Замѣтивъ, что для металловъ, начиная съ нѣкотораго давленія, величина его на единицу поверхности сохраняетъ свое значеніе, онъ предложилъ при опредѣленіи твердости пользоваться этимъ давленіемъ съ поправочнымъ коэффициентомъ въ видѣ кубичнаго корня изъ величины радіуса шаровой поверхности, давящей на тѣло. Тутъ имѣло мѣсто экстраполированіе выводовъ, сдѣланныхъ *Герцемъ* на основаніи теоріи упру-



гости, на явленія, проистекающія вѣ законовъ, положенныхъ въ основу ея выводовъ, а именно, къ явленіямъ остаточныхъ деформаций.

*Бринеллемъ* это положеніе закрѣплено, ибо измѣряется остающаяся деформация при давленіяхъ, вызывающихъ напряженія выше временнаго сопротивленія—металлъ въ мѣстѣ вдавливанія въ него пробнаго шарика разрушается.

Проба шарикомъ на вдавливаніе тѣлъ неупругихъ—какъ, напримѣръ, свинець—разумѣется ничего общаго съ истинной твердостью по *Герцу* не имѣетъ.

Приборъ *Shore*, основанный на измѣреніи высоты подпрыгиванія шариковъ, падающихъ на данное тѣло, гораздо ближе чѣмъ бриннелевскій подходитъ къ сути дѣла, но къ сожалѣнію неизучена еще совершенно величина поправки на скорость отдачи тѣломъ энергіи обратно шарикѣ.

Къ сожалѣнію данныя, получаемыя опытами съ шариками Бринелля, служатъ для полученія такъ называемаго «числа твердости» и часто думаютъ, что именно эти числа характеризуютъ твердость тѣла, чѣмъ чрезвычайно запутаны всѣ касающіеся износа и т. д. тѣлъ вопросы.

Изъ вышеприведеннаго вовсе не слѣдуетъ, что испытаніе по Бринеллю никуда негодится—наоборотъ, это очень полезное испытаніе для опредѣленія напримѣръ однородности временнаго сопротивленія въ разныхъ точкахъ одного и того же тѣла, для повѣрки однородности и равномерности закалки партіи издѣлій и т. под. Не надо только ожидать отъ него того, чего онъ не можетъ дать—характеристики изнашиваемости металла.

Если данныя испытаній тѣла шарикомъ по Бринеллю и находятся въ какой-либо связи съ результатами испытанія на разрывномъ прессу, то уже априорно не съ упругостью тѣла, а съ его временнымъ сопротивленіемъ. Очевидно, связь эта никакому теоретическому подсчету принявшіемъ состояніи науки не поддается, ибо дѣло идетъ объ остаточныхъ деформацияхъ, когда никакіе выводы теоріи упругости и строительной механики непримѣнимы. Связь можетъ быть устанавливаема только эмпирическая, притомъ, зависимость между числомъ Бринелля и временнымъ сопротивленіемъ, очевидно, разная для разныхъ діаметровъ шарика и для разныхъ металловъ. Выведенными интерполяціей опытовъ коэффициентами можно пользоваться только въ границахъ этихъ опытовъ. Всякое экстраполированіе есть ничѣмъ не оправдываемая ошибка.

Для рельсоваго металла, напримѣръ изучавшагося рельсовой комиссіей, были опредѣлены и числа Бринелля, и временныя сопротивленія, и предѣлъ упругости. Между первыми и третьими, какъ и слѣдовало ожидать, никакой зависимости нѣтъ. Между первыми и вторыми есть линейная зависимость.

*А. Л. Бабошинымъ* были сопоставлены результаты изслѣдованій съ результатами вычисленій по формулѣ Бринелля ( $n = 2,88 R$ , гдѣ  $n$  число твердости, а  $R$ —временное сопротивленіе).

Результаты совпали съ точностью до 2,1%, ибо среднее временное сопротивленіе всѣхъ 139 рельсъ, опредѣленное опытнымъ путемъ, было 60,9, а вычисленное на основаніи формулы Бринелля—62,2. Для 110



рельсовъ среднее временное сопротивление было 61,5, а вычисленное по Бринеллю 61,7. Остальные 29 рельсовъ, для которыхъ (для всѣхъ) вычисленное сопротивление было больше опытнаго, всѣ содержали или много фосфора или много кремнія, т. е. качество металла оказало вліяніе на связь между величиной отпечатка шарика и временнымъ сопротивленіемъ.

Въ виду того, однако, что требованіе извѣстной величины числа Бринелля, вводимое въ техническія условія, часто разсматривается, какъ что-то, гарантирующее хорошее сопротивление металла истиранію, ниже приводятся, вдобавокъ къ теоретическому разсужденію объ отсутствіи малой связи, извѣстныя мнѣ изслѣдованія по этому предмету.

На Копенгагенскомъ 1908 года конгрессѣ Международнаго Общества Испытанія Матеріаловъ *Nusbaumer* привелъ объ истираніи металла дискомъ твердой стали, погруженнымъ въ масло, данныя числа десяти-тысячныхъ миллиметра, истертыхъ въ одно и то же время при одинаковыхъ условіяхъ металловъ разной твердости по Бринеллю:

По Бринеллю . . . . .	99	156	187	187	196	255	340	387
Истираніе . . . . .	325	85	57	80	200	151	89	28

Связи между этими цифрами нѣтъ—истираемость одинакова при Бринеллевскомъ числѣ 156 и 340; при почти одинаковомъ числѣ Бринелля (187 и 196) истираемость 57 и 200.

Изслѣдованія *Robin* (*Revue de Métallurgie* 1911 г., а также докладъ на Нью-Йоркскомъ 1912 г. конгрессѣ Международнаго Общества Испытанія Матеріаловъ) касались другого вида износа металла—износа простымъ треніемъ безъ смазки, характеризуемаго вѣсомъ (въ миллиграммахъ) металла, стертаго въ минуту наждачной бумагой. Оказалось, что при увеличеніи давленія истираемость увеличивается почти пропорціо-нально ему (въ предѣлахъ 0,5—2 килограм. на кв. сант.); для твердыхъ сталей это увеличеніе гораздо болѣе рѣзко. Скорость катанія металла (по бумагѣ) увеличиваетъ истиранія, чувствительнѣе—у твердой стали. Разные сорта наждачной бумаги даютъ разныя цифры истираемости, но классифицируютъ металлъ по одинаковымъ группамъ. Изъ данныхъ *Robin* можно (см. *Saniter*) сдѣлать слѣдующее сопоставленіе:

	Сталь углеродистая. Отожженная углер.								Углер. закаленная и отожженная.			
Число Бринелля . . . . .	95	155	241	259	90	190	250	260	241	330	574	600
Истираніе . . . . .	160	170	40	103	170	204	47	110	100	127	27	53

	Спеціальн. стали. Отожжен. спец. Закален. и отожженная.									
Число Бринелля . . . . .	180	312	353	355	386	453	149	255	495	600
Истираніе . . . . .	58	139	74	27	40	105	55	202	30	50

Зависимости между истираніемъ по *Robin* и числомъ Бринелля, очевидно, нѣтъ никакой.

Третій родъ износа—износъ при катаніи, аналогичный износу рельсовъ и бандажей при желѣзнодорожномъ движеніи. *E. H. Saniter* конструировалъ для изученія его машину (*Journal of the Iron and Steel*



Institute 1908 г., № XIII), принципъ которой заключается въ томъ, что опредѣлялось уменьшеніе діаметра круглаго образца (свободно вращающагося), истираемаго внутренней поверхностью вращающагося (подъ давленіемъ) кольца никкелевой стали.

Для стали отожженной при 860 °С и охлажденной на воздухѣ опыты дали:

Углерода.	Кремнія.	Марганца.	Число Бринелля.	Износъ.
0,46	0,10	0,76	202	39,5
0,59	0,10	0,65	228	37,5
0,98	0,07	0,45	250	48,5
0,71	0,30	0,62	255	37,5
0,76	0,10	0,73	255	29,5

Заслуживаютъ вниманія особенно образцы третій, четвертый и пятый, давшіе при одинаковомъ числѣ Бринелля совершенно разную истираемость.

Испытанія стали съ содержаніемъ углерода 0,7, обработанной термически, дали слѣдующее:

	Число Бринелля.	Износъ.
Отожжено при 760 . . . . .	228	43,5
» » 860 . . . . .	255	37,5
Закалено и отожжено при 550 . . . . .	315	25
» » » 650 . . . . .	269	36
» » » 710 . . . . .	241	47,5
» » » 735 . . . . .	228	41
» » » 860 . . . . .	252	38,5

Особенно ярко выступаетъ отсутствіе какой бы то ни было связи между износомъ и числомъ Бринелля при спеціальныхъ сталяхъ:

Углеродъ.	Кремній.	Марганецъ.	Никкель.	Хромъ.	Ванадій.	Число Бринелля.	Износъ.
0,48	1,80	0,31	—	—	—	223	22
0,31	0,05	0,36	—	0,76	0,20	283	46,5
0,29	0,08	0,48	2,9	0,56	—	288	61
Сталь Гатфильда . . . . .						293	51,5

Такимъ образомъ, *Saniter* пришелъ къ заключенію о томъ, что нѣтъ зависимости между испытаніемъ *Бринелля* и сопротивленіемъ металла износу. На конгрессѣ въ Нью-Йоркѣ указывалось, что были сдѣланы опыты надъ износомъ дерева струей песка и обнаружилось полное отсутствіе зависимости между износомъ и числомъ Бринелля.

*Rosenhain* привелъ опыты, сдѣланные надъ сплавами мѣди, марганца и алюминія, показавшіе большую сопротивляемость такихъ сплавовъ износу, совершенно не совпадающую ни съ числами Бринелля, ни съ удлиненіями.



Такимъ образомъ, данныя эти вполне подтверждаютъ теоретическія заключенія, что «число твердости Бринелля» ничего общаго съ твердостью тѣла въ смыслѣ сопротивленія проникновенію въ него другого тѣла не имѣетъ, и чѣмъ «тверже» тѣло по Бринеллю, тѣмъ обычно (но не всегда) тверже тѣло лишь въ смыслѣ величины временнаго сопротивленія.

Какъ матеріаль для сужденія о стираемости металла, приходится отмѣтить еще въ трудахъ рельсовой комиссіи, что какъ изъ опытовъ надъ стираемостью образцовъ рельсовъ на агатовомъ кругѣ, такъ и изъ сопоставленія анализовъ рельсовъ стертыхъ въ пути, *А. Л. Бабошина* вывелъ, что высокое содержаніе хрома и кремнія сильно уменьшаютъ стираемость рельсъ, а сѣра увеличиваетъ стираемость.

Истираніе это рельсовой стали (измѣряемые стираниемъ въ миллиграммахъ хлоровой поверхности поперечнаго образца изъ головки рельса, прижимаемаго къ агатовому кругу, грузомъ  $1\frac{1}{2}$  миллиграмма, какъ 30.000 оборотовъ круга) было опредѣлено для 54 рельсовъ рельсовой комиссіи. Въ виду того, что съ механической стороны всѣ эти рельсы хорошо изучены, позволю себѣ привести нѣкоторыя данныя о нихъ, расположивъ рельсы максимума и минимума истиранія въ порядкѣ примѣрно ихъ истираемости:

Временное сопротивление . . .	60	81	60	83	83,5	60,5	59,5	64	53	73,5
Удлиненіе . . .	18,5	13	18,5	13,5	—	18	20,5	10	10,5	14
Суженіе . . .	40,5	37,5	44	29	—	49	52	31	41	32
Предѣлъ упругости . . .	25,5	35,5	29,5	31	31	33	26,5	25	24	35
Твердость по Бринеллю . . .	187	233	184	221	246	194	194	189	172	215
Истираніе . . .	50	65	65	70	70	120	120	125	125	130

Повидимому связи между результатами механическихъ испытаній и истираемостью на агатовомъ кругѣ подмѣтить нельзя.

При современномъ положеніи этого вопроса, кажется, мы должны сознаться въ своемъ невѣжествѣ относительно истираемости металловъ. Мы знаемъ, что ни временное сопротивленіе, ни число Бринелля связи съ истираемостью не имѣетъ, можемъ—какъ это показываетъ и практика заграницы, требующей минимальнаго содержанія сѣры отъ рельсъ и бандажей—указать на вредныя вліянія сѣры—и, пожалуй, вотъ и все.

Въ заключительномъ докладѣ предсѣдателя рельсовой комиссіи *Л. Николаи* сказано было: «съ достаточной убѣдительностью выяснилось, что присутствіе сѣры въ стали способствуетъ окисленію въ воздухѣ и содѣйствуетъ изнашиванію и что можетъ быть слѣдовало бы ограничить опредѣленнымъ максимумомъ содержаніе сѣры въ рельсахъ, которая безъ сомнѣнія является вредной и способствуетъ износу». Въ диссертаци *А. Бабошина* «Служба рельсовъ въ пути» (1907, положеніе № 9) говорится «рельсы плохой службы со стертими головками своимъ износомъ обязаны глав-



нымъ образомъ значительному содержанію въ нихъ сѣры... Рельсы этой категоріи могутъ обладать очень мелкимъ зерномъ и высшимъ предѣломъ упругости и тѣмъ не менѣе очень плохо служатъ (стираются), благодаря вышеуказанной причинѣ».

Иногда приходится констатировать, къ сожалѣнію, смѣшеніе понятій: «русскіе рельсы могутъ быть и обычно бываютъ съ очень малымъ содержаніемъ сѣры» и «русскіе рельсы не содержатъ сѣры». Последнее ведетъ къ тому, что за содержаніемъ сѣры въ южнорусскомъ металлѣ обычно совершенно не слѣдятъ, а это приводитъ къ довольно печальнымъ послѣдствіямъ.

Подтверженіемъ такого взгляда могутъ служить стертые чрезвычайно скоро рельсы одного изъ южныхъ бессемеровскихъ заводовъ прокатки 1903 — 1904 г., изслѣдованныя въ 1913 году. Основной рудой на заводѣ является криворожская, но была вѣроятно примѣсь старокъ или чего-либо подобнаго. Механическіе результаты рельсы дали прекрасные при высокомъ предѣлѣ пропорціональности (около 30). Анализировано было 6 рельсовъ, давшихъ въ среднемъ 0,44 С (колебанія: 0,38—0,55), 1,08 Mn (0,92—1,24), 0,09 Si (0,07—0,109), 0,093 P (0,074—0,216) и 0,105 сѣры (0,082 — 0,131). Вдобавокъ сѣра распределена сильно неравномѣрно, какъ бы включеніями. Интересно отмѣтить, что въ данномъ случаѣ не было смятія (текучести), ибо при этомъ изслѣдованіи микроструктура всегда обнаруживаетъ, что зерна въ головкахъ рельсовъ сильно деформированы—вытянуты въ направленіи дѣйствующаго усилія. Въ данныхъ же рельсахъ зерна не деформированы.

#### IV. Химическій анализъ.

Долгое время химическій анализъ металла считался чѣмъ-то вполне обуславливающимъ качества послѣдняго. Всѣмъ извѣстны, напримѣръ, труды по желѣзу *Юпитера*, его формулы для опредѣленія механическихъ свойствъ по анализу и т. д. Правда, послѣ *Кемпбелля* («Structural Steel»), опубликовавшаго сводку результатовъ анализовъ одной и той же стали въ разныхъ лабораторіяхъ (лучшихъ) Европы и Америки и показавшаго полную несходимость этихъ результатовъ, даже среди англійскихъ и американскихъ металлурговъ, до сихъ поръ предписывающихъ анализы въ своихъ техническихъ условіяхъ, увлеченіе анализомъ, какъ чѣмъ-то характернымъ для металла (особенно стали) сильно спало, но все же ему придается роль какой-то гарантіи качества и это въ извѣстныхъ отношеніяхъ правильно.

Позволю себѣ указать, что существуетъ смѣшеніе понятій «химическій составъ металла для издѣлія» и «химическій составъ издѣлія». Дѣйствительно, данный, напримѣръ, рельсъ можетъ быть при прекрасномъ анализѣ партіи рельсовъ никуда негоднымъ. Между тѣмъ существуютъ въ нѣкоторыхъ техническихъ условіяхъ требованія брать средніе анализы партіи.

Въ связи съ массовой порчей рельсовъ въ Америкѣ (болѣе «твердыхъ», чѣмъ гдѣ бы то ни было) въ первомъ десятилѣтіи текущаго вѣка американцы предприняли обширныя изслѣдованія рельсоваго дѣла.



Опыты *Wickhorst* надъ сегрегацией и другими свойствами рельсовъ въ зависимости отъ размѣра слитка привели его къ нижеслѣдующимъ выводамъ:

1. Опыты были произведены съ цѣлью освѣтить вопросъ о зависимости между размѣрами бессемеровскаго слитка и сегрегацией металлоидовъ, размѣщеніемъ усадочныхъ раковинъ, пузырей и качествами рельсъ. Была отлита партія слитковъ высотой 5 футъ, а сѣченіемъ внизу  $12 \times 12$ ,  $15 \times 15$ ,  $18 \times 18$ ,  $20 \times 24$  и  $25 \times 30$  дюймовъ. Слитки были расколоты по длинѣ, послѣ охлажденія въ ямахъ. Половина была протравлена, а другія половины разсверлены въ разныхъ мѣстахъ для анализа. Подобная же партія слитковъ была прокатана на рельсы, подвергнутые испытаніямъ на ударъ, анализъ, протравку. Изъ 12-ти дюймовогаго слитка рельсъ не выпелъ. Слитки  $15 \times 15$  и  $18 \times 18$  были прямо прокатаны на рельсы. Слитки  $20 \times 24$  и  $25 \times 30$  были сперва обжаты на  $14 \times 14$  и  $16 \times 16$  дюймовъ, разрѣзаны, подогрѣты въ колодцахъ Джерса и потомъ прокатаны на рельсы. Рельсъ былъ 100-фунтовый. Надо оговориться, что выводы относятся только до рельсовъ бессемеровской стали, прокатанныхъ при данныхъ условіяхъ и прилагать ихъ въ другихъ случаяхъ можно только осторожно. Особенное вниманіе надо обратить на то, что изслѣдованы слитки, которымъ дали вполне охладиться, чего нормально при прокаткѣ рельсовъ не бываетъ и что, какъ часто говорятъ, сильно увеличиваетъ усадочную раковину сравнительно съ слиткомъ неохлаждаемымъ.

2. Чѣмъ больше сѣченіе слитка, тѣмъ на меньшую глубину простирается усадочная раковина, составляя 80% высоты при наименьшемъ и 35% при наибольшемъ по сѣченію слиткѣ.

3. Губчатость металла простирается на 30% примѣрно сверху во всѣхъ слиткахъ.

4. Пузыри по оси слитковъ имѣли окисленные стѣнки, пузыри же у стѣнокъ изложницы имѣли чистыя металлическія поверхности.

5. Химическое изслѣдованіе слитковъ показало концентрацію углерода, фосфора и сѣры и въ гораздо меньшей степени—марганца въ верхней части слитка у оси его. Концентрація вообще увеличивается по мѣрѣ увеличенія сѣченія слитка. Увеличеніе содержанія углерода противъ средняго доходитъ отъ 32% при  $12 \times 12$  дм. слиткѣ до 119% при слиткѣ  $25 \times 30$  дм.; увеличеніе содержанія фосфора составляетъ отъ 102 до 225%, а сѣры отъ 100 до 369%.

6. Верхушка слитка вдоль оси бѣднѣе этими элементами, какъ и нижняя часть слитка по оси. Чѣмъ больше слитокъ, тѣмъ больше относительно часть слитка бѣдная металлоидами.

7. Въ верхней части слитка наружныя части его—къ стѣнкамъ содержатъ меньшія количества углерода, фосфора и сѣры, т. е. имѣютъ отрицательную сегрегацию. Последняя достигаетъ наибольшей величины у вершины слитка, затѣмъ, книзу достигается средній химическій составъ стали, который примѣрно и имѣетъ наружныя части слитка къ стѣнкамъ. Наибольшее уменьшеніе содержанія металлоидовъ примѣрно достигаетъ 25%. Наибольшее уменьшеніе фосфора составляетъ 32—45%,



сѣры — 43—63<sup>0</sup>/о, увеличиваясь по мѣрѣ увеличенія размѣровъ слитка. Величина распространенія сверху такой отрицательной сегрегациі тѣмъ больше, чѣмъ больше размѣръ слитка, составляя отъ 30 до 50<sup>0</sup>/о.

8. Испытанія на ударъ были произведены надъ рельсами, выкатанными изъ слитковъ 15×15, 18×18, 20×24 и 25×30 дюймовъ. Тягучесть металла опредѣлялась удлинениемъ его на растягиваемой при ударѣ сторонѣ рельса, размѣченной черезъ каждый дюймъ на три дюйма по обѣ стороны отъ середины куска. Куски клались внизъ то головкой, то подошвенной стороной. Въ томъ и другомъ случаѣ куски рельсъ, выкатанныхъ все постепенно изъ болѣе низшихъ частей слитка, сперва показываютъ меньшую тягучесть, при чемъ наименьшей величины таковая достигаетъ въ мѣстѣ, лежащемъ на разстоянн 20<sup>0</sup>/о (по вѣсу) отъ вершины слитка при всякой величинѣ послѣдняго. Затѣмъ тягучесть снова повышается вплоть до середины слитка и далѣе остается постоянной. При испытанн кусковъ рельсовъ головкой книзу тягучесть характеризуется минимумъ 6<sup>0</sup>/о удлиненія, а при—подошвой книзу—минимумъ 12<sup>0</sup>/о удлиненія. Рельсы изъ нижней части слитка показываютъ большую тягучесть головкой, а не подошвой книзу, давая въ среднемъ удлиненіе 3<sup>0</sup>/о въ первомъ и 19<sup>0</sup>/о во второмъ случаѣ. Это суть средніе результаты всѣхъ испытанн, относящихся въ общемъ къ рельсамъ изъ всѣхъ слитковъ.

9) Прогибъ рельса измѣрялся послѣ перваго удара бабой 2.000 фунтовъ съ высоты 10 футъ, при разстоянн между опорами 3 фута. Прогибъ имѣетъ наибольшую величину у рельсъ, выкатанныхъ изъ верха слитковъ, и уменьшается по мѣрѣ приближенія къ низу слитка, пока не достигаетъ минимума на разстоянн 20 до 40<sup>0</sup>/о отъ вершины, т. е. здѣсь рельсъ самый упорный. Мѣсто это понижается по мѣрѣ увеличенія вѣса слитка, составляя 20<sup>0</sup>/о для слитка 15×15 и 40<sup>0</sup>/о для слитка 25×30 дюймовъ. Минимальный прогибъ по величинѣ грубо одинаковъ для рельсовъ, выкатанныхъ изъ всякихъ слитковъ, а максимальный—въ общемъ увеличивается съ увеличениемъ размѣра слитковъ. За поясомъ минимальныхъ прогибовъ послѣдній вновь увеличивается, но не достигаетъ вновь такой величины, какъ для вершины слитка. Прогибъ при испытанняхъ головкой книзу слегка больше, чѣмъ при подошвѣ книзу.

10) Поясъ наименьшей тягучести, грубо говоря, соотвѣтствуетъ мѣсту наибольшей внутренней сегрегациі, а поясъ наибольшей упорности рельса соотвѣтствуетъ въ грубомъ приближенн тому мѣсту, гдѣ проходитъ отрицательная сегрегациа въ наружныхъ частяхъ слитка.

11) Въ поясъ наименьшей тягучести всѣ куски, положенные головкой книзу, лопались по первому удару бабой; рельсы изъ другихъ мѣстъ съ большей тягучестью выдерживали головкой книзу 4—5 ударовъ. Подошвой книзу рельсы изъ тягучихъ мѣстъ выдерживали 4—5 ударовъ бабы. Въ поясъ наименьшей тягучести они выдерживали число ударовъ тѣмъ меньшее, чѣмъ больше былъ размѣръ болванокъ; число ударовъ мѣнялось отъ 2 до 3 и 4.

12) Анализы готовыхъ рельсовъ показываютъ, что распределеніе въ нихъ элементовъ примѣрно то же, какъ въ слиткахъ.



13) Углеродъ, фосфоръ, сѣра и марганецъ въ общемъ сегрегируютъ совмѣстно, т. е. собираются въ тѣхъ же пунктахъ, хотя и въ разномъ процентномъ отношеніи.

14) Образцы изъ верхняго угла головки и края подошвы имѣютъ во всѣхъ, примѣрно, случаяхъ одинаковый химическій составъ.

15) Протравливаніе темплетовъ рельсъ изъ верхней части слитковъ показываетъ полосы и пятна соотвѣтственно губчатости этой части слитка. Протравливаніе темплетовъ рельсовъ соотвѣтственно изъ верхней части слитка показываетъ также черное ядро соотвѣтственно мѣсту сильной сегрегации слитка; для нижней части слитка появляется и свѣтлое ядро, соотвѣтственно мѣсту отрицательной сегрегации.

Насколько сегрегация вредно сказывается на службѣ рельсовъ могутъ показать нижеслѣдующіе примѣры практики послѣднихъ лѣтъ на русскихъ желѣзныхъ дорогахъ, какъ разъ съ бессемеровскими рельсами.

23 февраля 1912 г. при 25 градусахъ мороза лопнулъ на Сибирской ж. д. подъ почтовымъ поѣздомъ, развалившись на 8 кусковъ, рельсъ 18 фунтовъ на пог. футъ, прокатки 1893 г. одного изъ уральскихъ заводовъ. Анализъ его (лабораторія И. И. П. С.) далъ—0,35 С, 0,5 Mn; 0,184 Si, 0,078 S, 0,06 P. Механическія испытанія (послѣдовательно для подошвы, шейки, головки) дали—временное сопротивленіе 64,5, 72,5, 65; предѣлъ пропорціональности—22, 33,5, 30, удлиненіе (разорвался у головки) 15,13?, сжатіе 20,25(?). Изслѣдованія макроструктурныя показали существованіе двухъ зонъ—внутренней и наружной рѣзкоотграниченными другъ отъ друга и съ многочисленными включеніями на границѣ шлака.

14 января 1912 г. подъ поѣздомъ лопнулъ на Николаевской ж. д. на 8 кусковъ рельсъ, одного изъ южныхъ заводовъ, бессемеровской прокатки 1907 г. 2 февраля лопнулъ еще одинъ такой же рельсъ и тогда 8 такихъ рельсовъ были подвернуты испытаніямъ въ лабораторіяхъ И. И. П. С. Изъ нихъ 6 выдержало ударную пробу, давая прогибъ по 1-ому удару 50-пудовой бабой съ высоты 17,65 футъ, въ среднемъ 49 мм. (44—56), а два лопнуло. Испытаніе на разрывъ образцовъ изъ головки дало временное сопротивленіе 73 (72,5—80, при одномъ 62,5) удлиненіе—18 (15—18, при одномъ 22), сжатіе 43 (37—48), предѣлъ упругости 38 (30—43,3). Химическій анализъ былъ: углерода среднее—0,41 (0,36—0,46), марганца 1,21 (1,08—1,32), кремнія 0,103 (0,061—0,198), фосфора 0,08 (0,07—0,11), сѣры—0,038 (0,026—0,072). Всѣ рельсы по макроструктурѣ рѣзко раздѣляются на 2 зоны, съ включеніями между наружной и внутренней шлаковъ. Замѣчаются ликвиціи, очень богатая фосфоромъ.

26 октября 1912 г. подъ колесами паровоза лопнулъ на мелкіе куски на Сибирской ж. д. рельсъ одного изъ уральскихъ заводовъ прокатки 1900 г. Механическія испытанія дали (подошва, шейка, низъ головки, верхъ головки); временное сопротивленіе: 69, 65, 65, 71, предѣлъ упругости: 28,5, 34, 21, 29, удлиненіе—11, 13,5, 16, 11,5, сжатіе—35, 34, 25, 31. Анализъ—0,47 С, 0,47 Mn, 0,052 Si, 0,052 P, 0,021 S,—т. е. всѣ данные вполне хорошаго рельса. Изслѣдованіе микроструктуры сразу



показало причину лопанья—все видманштетовое строение показало сильный перегрѣвъ болванки.

6 февраля 1913 г. подъ пассажирскимъ поѣздомъ Пермской ж. д. лопнуль на нѣсколько кусковъ 18-фнт. рельсъ прокатки 1895 г., уральскій. Механическія испытанія дали (подошва, шейка, головка) временное сопротивление: 66,6, 69, 67,5, удлинение: 17, 15, 6, сжатіе—33, 31, 12, предѣль упругости—23,5 37, 27,5; анализъ—С—0,41, Mn—0,41, Si—0,061, P—0,091, S—0,016.

По макроструктурѣ темплетъ проявилъ двѣ рѣзко выраженные зоны. Очевидна ликвиція фосфора въ сильной степени.

Зимой 1912 года на постройкѣ Амурской ж. д. лопнуло нѣсколько рельсовъ при выгрузкѣ съ платформы отъ паденія на ребро на другой рельсъ и просто при паденіи съ высотъ—1—2 аршина.

Температура воздуха была отъ 30 до 45 градусовъ мороза. Этотъ фактъ оказался настолько интереснымъ, что были произведены всестороннія изслѣдованія этихъ рельсовъ въ лабораторіяхъ Института И. П. С. въ Петербургѣ.

Испытанія ударомъ пятифутовыхъ кусковъ ихъ дали хорошіе результаты (вѣсъ погоннаго фута  $22\frac{1}{2}$  фунта); при разстояніи между опорами въ  $3\frac{1}{2}$  фута и ударѣ по серединѣ бабой 30 пудовъ вѣса, падающей съ высоты 17 футовъ, стрѣла прогиба послѣ перваго удара составила въ среднемъ (изъ 11 испытаній) 54 миллиметра (съ колебаніями отъ 49 до 59 мм.), послѣ втораго удара—95 мм. (съ колебаніями 79—109 мм.).

Испытанія на разрывъ дали для 12 испытанныхъ рельсовъ:

	Временное сопротивление.		Удлинение.		Предѣль пропорциональности.		Сжатіе.	
	средн. колебанія		средн. колебанія		средн. колебанія		средн. колебанія	
Подошва .	67	63,5—72,5	20	17—25	31,5	27—40,5	44	33—55
Шейка .	67	56,5—78,5	20	14,5—26	34	28,5—37,5	38	21—47
Головка .	67	59—74,5	20	16,5—25,5	34	25,5—42	42	26—51

Такимъ образомъ, съ точки зрѣнія механическихъ испытаній рельсы надо было бы признать вполне удовлетворительными.

Равнымъ образомъ и съ точки зрѣнія химической ничего ненормальнаго въ металлѣ въ среднемъ не видно.

При изслѣдованіи въ химической лабораторіи И. И. П. С. оказалось однако, что въ рельсахъ замѣтна рѣзко выраженная ликвиція. Такъ, въ одномъ изъ рельсовъ въ среднемъ содержавшемъ 0,36 углерода и 0,095 фосфора при травленіи темплета (реактивомъ Гейна) была замѣчена рѣзкая темная зона занимавшая всю шейку съ заходомъ до половины высоты головки.

Анализъ металла взятаго изъ этой зоны далъ 0,51 углерода и 0,193 фосфора, т. е. свидѣтельствовалъ о несомнѣнной хрупкости.

По зерну рельсы мелкозернисты, что и слѣдовало ожидать, по предѣль упругости высокъ.

Такимъ образомъ причиной лопанья рельсовъ приходится признать повышенное въ связи съ ликвиціей содержаніе фосфора, породившее изломъ при сильномъ морозѣ.



Такимъ образомъ химическій анализъ рельсового металла и рельса суть понятія разныя и хорошій результатъ перваго вовсе не гарантируетъ отъ возможности попаданія на дорогу совершенно негоднаго по химическому составу рельса, какъ таковаго, т. е. рельса хрупкаго, особенно на холоду.

Фосфоръ въ бессемеровскихъ рельсахъ юга Россіи составляетъ теперь уже около 0,1<sup>0</sup>/<sub>0</sub>. Чистыя руды истощены и дальнѣйшее постепенное увеличеніе содержанія фосфора, если будетъ оставлено бессемерование безъ измѣненій весьма вѣроятно. Томасовскіе рельсы Россіи имѣютъ мышьякъ (свыше 0,1<sup>0</sup>/<sub>0</sub>), сегрегирующий и дѣйствующій въ общемъ (хотя слабѣе) подобно фосфору.

На основаніи этого, а также того, что вредоносность фосфора зависитъ не только отъ его содержанія, но и отъ наличія одновременно съ нимъ большихъ сравнительно количествъ углерода и марганца—т. е. для гарантіи по химическому анализу пришлось бы регламентировать весь составъ, что нежелательно, ибо стѣснило бы заводы—въ новыхъ русскихъ (1914 г.) техническихъ условіяхъ на рельсы введена ударная проба (провѣрочная, раза 3 въ недѣлю) куска рельса въ замороженномъ состояніи.

#### V. Отжигъ.

При повышеніи требованій, предъявляемыхъ къ издѣліямъ по мѣрѣ прогресса техники, оказалось невозможнымъ удовлетворять ихъ примѣненіемъ только малоуглеродистыхъ сталей; пришлось перейти къ металлу, выносящему большія нагрузки. При этомъ выяснилась необходимость термической обработки металла во избѣжаніе его хрупкости. Хрупкость есть явленіе, порожаемое совокупностью вліяній химическаго состава и обработокъ металла, вызывающихъ ту или другую структуру его. Структура можетъ быть улучшена въ предѣлахъ, допускаемыхъ химическимъ составомъ, термической обработкой. Какъ уже выяснено, — на примѣръ, въ статьѣ *А. Бабошина* (Ж. Р. М. О. 1913 г.)—для приготовленія стали высокихъ предѣла упругости, удлиненія и сжатія поперечнаго сѣченія, хорошаго сопротивленія удару—стали мелкозернистой и соробитообразной—необходимо соблюдать два условія: нагрѣвъ выше линіи *GOS* (для перевода въ твердый растворъ) и быстрый переходъ черезъ критическій интервалъ съ цѣлью эту структуру зафиксировать. Послѣдующее медленное охлажденіе желательно для уничтоженія вредныхъ натяженій въ издѣліи какъ въ цѣломъ, а не для структурнаго измѣненія металла.

Въ противоположность этому отжигу можетъ быть другой—нагрѣвъ немного выше *GOS* или долгое держаніе въ критическомъ интервалѣ для возможно болѣе полнаго измѣненія структуры (разумѣется, — въ разумныхъ предѣлахъ) и очень медленное охлажденіе металла. При этомъ способѣ отжига металлъ получается съ сильно пониженнымъ временнымъ сопротивленіемъ и предѣломъ упругости, но увеличеннымъ удлиненіемъ, и отчасти предѣломъ текучести. Микроструктура стали отожженной такимъ образомъ кашеобразная, безъ рѣзкой дифференціаціи зеренъ.



Нагрѣвъ стали ниже низшей критической точки и ея медленное остываніе удаляетъ только нѣсколько вредныя натяженія издѣлія въ цѣломъ. Хрупкости отъ структуры такая операція не уничтожаетъ.

По вопросу теоретически ясному, что трудно добиться вполне хорошей перекристаллизаціи при низкой температурѣ, хотя бы и въ предѣлахъ критическаго интервала, привожу два примѣра съ двухъ разныхъ заводовъ.

Образцы отъ отжига бандажей, съ выдержкой при сравнительно низкой температурѣ и съ медленнымъ остываніемъ дали (первой—безъ отжига, остальные изъ разныхъ мѣстъ печи):

Отжигъ.	$R$	$R_1$	$p_1$	$i_1$	
Нагрѣвъ печи 5 часовъ до 780° . . . . .	81	39,5	28	4,5	Оборвалась головка.
	65	33,5	19	18,5	
Выдержка 5 часовъ, охлажденіе 2 сутокъ.	74,5	38	25,5	11,5	
	72	43	19	12,5	
	63,5	33,5	19,5	16	

Итакъ, образецъ очень твердой стали, отожженный или вѣрнѣе, протомленный въ печи, недостаточно прогрѣтой передъ температурой отжига, далъ чрезвычайно неравнобѣрные результаты съ очень сильнымъ паденіемъ временнаго сопротивленія.

На другомъ заводѣ отжигъ начался въ десятомъ часу вечера (приводятся температуры низа и верха печи ближе всего ко входу, у пламени), выдержки производились каждые 2 часа. 11 часовъ вечера—вся печь темна, только въ одномъ мѣстѣ сильно свѣтятся бандажи, температуры—внизу 130, вверху—480; 1 часъ ночи—печь тепла, вверху бандажи нѣсколько остыли: внизу 270, вверху 300 гр.; 3 час. ночи: вверху неравнобѣрность нагрѣва ясно видна въ предѣлахъ одного бандажа—верхъ сильно свѣтится: 350 и 475 гр.; 5<sup>1</sup>/<sub>2</sub> час. ночи—450 и 530 гр.; 7<sup>1</sup>/<sub>2</sub> час. утра—нагрѣвъ распространяется по серединѣ по верхнимъ бандажамъ; 9<sup>3</sup>/<sub>4</sub> час. утра—500 и 580 град.; 1 часъ дня: нагрѣвъ отъ верхнихъ концевыхъ бандажей распространяется къ серединѣ и къ низу, 610 и 680 град.

3 часа дня—печь замѣтно ровнѣе, нагрѣлся и низъ ея, хотя все же сильно холоднѣе верха; 650 и 730 град.; 5<sup>1</sup>/<sub>4</sub> час.—печь подравнивается; 680 и 720 град.; 7 час. вечера—печь выравнялась; 685 и 725, въ самомъ низу печи температура ниже 680.

Заслонки у борова опущены, отверстія замазаны — печь медленно остываетъ. Въ 9 час. утра температуры были: 380 и 385.

Печь начала разгружаться еще черезъ сутки.

Для испытанія взять бандажъ, бывшій въ наиболѣе холодномъ мѣстѣ печи, былъ разломанъ на четыре части, и взято два образца — одинъ съ наиболѣе крупнымъ, другой съ наиболѣе мелкимъ изломомъ.

C	Mn	Si	P	S	Времен. сопротивл.	Удлин.	Сжатіе.	Предѣлъ пропорц.
0,50	0,96	0,208	0,062	0,030	74	12,5	27	25,5
0,53	1,01	0,190	0,057	0,039	74	12	26	28,5



Бандажъ совершенно сырой, зерно при разсмотрѣніи микроструктуры очень крупное. Отжигъ въ смыслѣ измѣненія структуры металла мѣста не имѣлъ.

Легко видѣть, что для правильности дѣла и при той и при другой системѣ отжига надо требовать нагрѣва до GOS (немного выше), что на заводахъ въ огромномъ большинствѣ случаевъ при отжигѣ стального литья и дѣлается. Отжигъ по второму типу, т. е. съ медленнымъ охлажденіемъ, пригоденъ для особыхъ цѣлей, не даетъ возможности извлечь изъ металла всѣ тѣ высокія механическія качества, какія онъ можетъ дать, но допустимъ въ тѣхъ случаяхъ, когда издѣлія не предназначаются для большихъ напряженій, а особенно—для службы на износъ своими поверхностями. Вообще, это отжигъ для стального литья, ставимаго взамѣнъ чугунаго и на всякій случай почти такихъ же размѣровъ. Съ развитіемъ правильнаго проектированія частей сооружений огромные запасы прочностей (особенно вредные при возможности ударовъ) постепенно отпадаютъ и, очевидно, будущее за первымъ типомъ отжига, т. е. съ фиксаціей структуры перекристаллизаціи.

Такой отжигъ иногда называется воздушной закалкой, но въ отоженной такимъ образомъ стали нѣтъ, структурныхъ составляющихъ, опредѣляющихъ наличность закалки, слѣдовательно,—закалкой назвать его неправильно.

Понятіями не играютъ — ни въ Англии ни во Франціи — отжига ниже высшей критической точки тамъ нѣтъ. У насъ же въ Россіи,—несмотря на то, что давно уже изложена правильная теорія отжига, несмотря на то, что у насъ родина *Д. К. Чернова*, гдѣ казалось бы должны были понимать, что такое критическія точки,—многіе подмѣняютъ понятіе объ отжигѣ металла понятіемъ объ отпускѣ издѣлія во избѣжаніи внутреннихъ напряженій. По этому приходится встрѣчать даже еще и теперь слово отжигъ, примѣненнымъ на операциі съ нагрѣвомъ далеко ниже высшей критической точки, а иногда даже ниже низшей критической точки.

Массовый отжигъ валовымъ путемъ стали довольно твердой имѣлъ въ Россіи мѣсто для бандажей. Нужно оговориться, что подъ отжигомъ ихъ нѣкоторые разумѣли обезпеченіе медленнаго остыванія послѣ прокатки (во избѣжаніе вредныхъ натяженій) въ штабеляхъ, иногда въ особыхъ колодцахъ, или зарытыми въ золу, песокъ и т. д. Ясно, что тутъ отсутствовалъ первый признакъ отжига — перекристаллизація. Въ нормальныхъ техническихъ условіяхъ на бандажи 1914 г. понятіе объ отжигѣ обусловлено требованіемъ нагрѣва выше высшей критической точки.

По времени своего появленія—лѣтъ восемь назадъ—въ исторіи отжига бандажей особеннаго вниманія заслуживаетъ массовый отжигъ хромистыхъ и хромистониккелевыхъ бандажей, на которые возлагались большія надежды. Бандажи эти шли съ обязательнымъ отжигомъ, въ виду того, что хромистая сталь сравнительно легко при остываніи становится хрупкой.

Предъявленныя заводами пробныя партіи дали очень хорошіе результаты. На одномъ заводѣ, напримѣръ, всѣ 12 опытныхъ бандажей



выдержали по 6 ударовъ по 900 пудофуть; 4 изъ нихъ бились 17 ударами и выдержали и эту пробу, давъ хорошую осадку.

При переходѣ заводовъ къ валовому производству на желѣзныхъ дорогахъ появились хрупкіе бандажи—лопались внезапно, обнаруживая сухой, мелкокристаллическій изломъ, высокое временное сопротивление и малое удлиненіе—все очень типично для плохо отожженной стали.

Надо еще сказать, что постепенно заводы стали уменьшать въ бандажахъ содержаніе дорогого никкеля, величина процента содержанія котораго въ заказахъ не была обусловлена.

Одинъ заводъ съ 1,5 никкеля и 0,5 хрома въ 1907 г. перешелъ на 0,9—0,5 никкеля и 0,9 хрома въ 1912 году. Отжигъ его характеризовался низкимъ (не выше 750 град.) нагрѣвомъ и очень медленнымъ остываніемъ. При такомъ положеніи дѣла заводъ совершенно и не могъ дать хорошихъ хромистыхъ бандажей. Извѣстно, что хромъ очень чувствителенъ къ термической обработкѣ, а отжигъ этого завода характеризовался неравномѣрностью нагрѣва, низкой температурой, очень медленнымъ остываніемъ, томленіемъ металла при температурахъ близкихъ къ низшей критической точкѣ.

Результаты испытаній хромисто-никкелевыхъ бандажей 1912 года даютъ:

C	Mn	Si	S	P	Cr	Ni	Временное сопротив.	Предѣлъ текучести.	Удлиненіе.
0,5	0,74	0,21	0,02	0,06	0,89	0,86	72,2	41,5	14,5
0,5	0,74	0,21	0,02	0,06	0,89	0,86	82,5	45,5	11,5
0,5	0,53	0,20	0,03	0,04	0,77	0,99	74,5	42	14,5
0,44	0,45	0,21	0,02	0,05	0,92	0,55	82,5	45,5	12,5
0,44	0,45	0,21	0,02	0,05	0,92	0,55	78	42	11,5

Послѣдній бандажъ лопнулъ 17 января 1913 г. подъ паровозомъ, только-что выходящимъ съ нимъ. Испытанія его въ 5 мѣстахъ дали, кромѣ вышеприведеннаго, временное сопротивление: 73, 79,5, 74,5, 75, предѣлъ текучести—43, 41,5, 39,5, 43, удлиненіе—18, 11,5, 24, 12,7; сжатіе поперечнаго сѣченія было: 17, 43, 15,5, 51,5, 29; рѣзко отличающіяся отъ другихъ данныя—51,5 сжатія, 24% удлиненія—далъ образецъ діаметрально противоположный мѣсту излома.

Въ 1910 г. хромониккелевый бандажъ этого завода лопнулъ на Полѣскихъ дорогахъ при насадкѣ на центръ; анализъ его далъ: углерода 0,55, марганца 1,02, кремнія 0,273, фосфора 0,085, сѣры 0,015, хрома 0,609, никкеля—0,43, т. е. количество минимальное; содержаніе фосфора при высокой цифрѣ углерода и марганца надо считать повышеннымъ. По структурѣ бандажъ былъ мелкозернистъ.

Въ 1911 году лопнулъ бандажъ этого же завода подъ паровозомъ. Анализъ былъ: углерода 0,67, марганца 0,77, хрома 0,860, никкеля 0,812, кремнія 0,164, фосфора 0,063, сѣры 0,019. Результаты механическаго испытанія образцовъ соотвѣтственно изъ гребня середины и напольнаго края были: временное сопротивление—93,5, 76 и 98, предѣлъ пропор-



ціональності 39, 44 и 41, удлиненіе — 6, 5, 212, сжатіе — 31,5 и 39. Третій бандажъ этого же завода лопнулъ на Николаевской ж. д.; онъ содержалъ: углерода 0,66, марганца 1,01, кремнія 0,331, фосфора 0,105, сѣры 0,014, хрома 0,708 и никкеля — 0,855; механическія испытанія соотвѣтственно изъ края и середины дали временное сопротивленіе — 97,5 и 73, предѣлъ пропорціональности — 40 и 38,5, удлиненіе 4,5 и 0,5, сжатіе 8 и 3<sup>0</sup>/<sub>0</sub>.

Причина поломки этихъ послѣднихъ бандажей очевидна — по механическимъ испытаніямъ, по излишне повышенному временному сопротивленію, послѣ отжига чисто фиктивного, неизбежная хрупкость бандажей.

Изъ случаевъ съ бандажами хромистой стали выдающійся интересъ представляетъ фактъ лопанія бандажа другого завода въ мастерскихъ одной ж. д. дороги въ 1909 г. при обточкѣ. По изслѣдованію оказалось, что бандажъ для отжига держался въ печи четыре съ половиной часа при температурѣ въ ней 680—700 градусовъ.

Очевидно никакого отжига не было и не могло быть, и бандажъ ушелъ совершенно неотожженнымъ.

При разрывѣ онъ далъ временное сопротивленіе 75,5 и 84 килогр., удлиненіе — 12,5 и 11<sup>0</sup>/<sub>0</sub>.

На третьемъ заводѣ отжигъ бандажей былъ чисто номинальный — въ теченіе 40 минутъ нагрѣвали до 650—700 градусовъ, выдерживали при этой температурѣ 10 минутъ, охлаждали до 550, а затѣмъ переносили въ другую печь, гдѣ шло 20 часовъ медленное остываніе.

Изслѣдованія бандажей дали:

Временное сопротивленіе. . . . .	83,5	83	69	70	90	70	76
Удлиненіе. . . . .	14	13,5	13	16	14	16	13

На четвертомъ заводѣ бандажи «отжигались» нагрѣвомъ въ теченіе 1½ часовъ до 750 градусовъ, по одному вынимались изъ печи и медленно (трое сутокъ) охлаждались въ цилиндрическихъ оболочкахъ, засыпанными шлакомъ. Приятнымъ исключеніемъ на фонѣ такихъ русскихъ «отжиговъ» является очень интересная статья инженера *А. Н. Балдина* (Вѣстникъ Общества Технологовъ, 1910 г.), которая содержитъ результаты изслѣдованій его на Днѣпровскомъ заводѣ, приступившимъ къ опытамъ по изготовленію хромистыхъ бандажей въ 1907 г. и остановившемся на: углеродѣ 0,35—0,40, марганцѣ 0,74—0,80, кремніи 0,30—0,35, хромѣ 0,74—0,85. Выводы его характеризуютъ уровень отжига 5 лѣтъ назадъ. Приведа правильную теорію отжига, т. е. нагрѣвъ до температуры немного выше верхней критической точки, выдержку возможно, быстрое пониженіе до низшей критической точки и затѣмъ возможно медленное охлажденіе, дабы избѣгать вредныхъ внутреннихъ натяженій, *А. Н. Балдинъ* пришелъ къ выводамъ, которые можно резюмировать такъ:

1. Структура неотожженныхъ бандажей весьма неравномѣрная; механическія изслѣдованія обнаруживаютъ высокое временное ихъ сопротивленіе (72,5—77) при не всегда удовлетворительномъ удлиненіи (4,5—11).

2. Громадное большинство бандажей, выпускаемыхъ изъ русскихъ заводовъ безъ отжига, имѣютъ неравномѣрную структуру, въ чемъ лежитъ



главная причина быстрого износа, а иногда и излома бандажей на службѣ.

3. Отжигъ на Днѣпровскомъ заводѣ недостаточный (соотвѣтственно 2 часа при 730, 2 часа при 725, 4 часа при 650, 3 $\frac{1}{2}$  часа при 650—660) повлекъ за собой довольно разнообразныя свойства (временное сопротивление 63—73,5 при удлинении 12,5—16), неясность, расплывчатость крупныхъ зеренъ, пониженіе временнаго сопротивления, увеличеніе тягучести.

4. Отжигъ немного выше (6 часовъ при 725, 2 часа при 750) еще сильнѣе понизилъ временное сопротивление (60—63) при почти неизмѣнившемся удлинении.

5. Отжигъ при нагрѣвѣ 825—850 въ теченіе 1 $\frac{1}{2}$ —2 часовъ далъ наилучшую мелкую равномерную структуру; отжигъ же при еще высшей температурѣ (до 950 град.) вновь сильно понизилъ временное сопротивление.

6. Наилучшей температурой для отжига хромистыхъ бандажей средняго состава слѣдуетъ считать 850, съ выдержкой при этой температурѣ 2 часа; не слѣдуетъ допускать держаться долго температурѣ высшей, т. е. 900 град.

7. Въ обыкновенныхъ отжигательныхъ печахъ условія правильнаго отжига могутъ встрѣтиться только случайно и потому обыкновенно отжигъ достигаетъ только уничтоженія излишней твердости и хрупкости отжигаемыхъ издѣлій, вслѣдствіе уничтоженія въ нихъ вредныхъ внутреннихъ напряженій, но не преобразованія микроструктуры, т. е. не достигаетъ главной цѣли отжига.

8. Бандажи съ большимъ содержаніемъ углерода (до 0,6), съ малымъ содержаніемъ марганца (не болѣе 0,8), холодно прокатанные (не выше 900 град.) и хорошо затѣмъ отоженные будутъ служить въ смыслѣ малаго и равномернаго износа очень хорошо, а какъ будутъ служить хромистые—неизвѣстно.

Сравнительныя наблюденія, параллельно надъ хромистыми и простыми неотожженными углеродистыми бандажами, на Сибирской жел. дор. показали, что хромистые бандажи не оправдали надеждъ въ отношеніи увеличенія продолжительности службы. Главнѣйшимъ ихъ недостаткомъ явилось выкрашиваніе, что вполне понятно—бандажи были хромистые, сырые, отоженные чисто фиктивно. Наблюденія на Забайкальской жел. дор. сперва въ общемъ видѣ, а затѣмъ специально надъ четырьмя паровозами, поставленными въ одинаковыя условія службы и снабженные—два хромистыми, а два углеродистыми обыкновенными бандажами—показали то же самое: хромистые бандажи служили хуже обыкновенныхъ углеродистыхъ; на всѣхъ ихъ послѣ пробѣга 31—34 т. верстъ обнаружались групповыя раковины, глубиной до 3 $\frac{1}{2}$  мм., признанныя для движенія небезопасными. Прокаты же углеродистыхъ и хромовыхъ бандажей оказались на опредѣленный пробѣгъ почти одинаковыми.

На Екатерининской дорогѣ изъ 15.384 паръ паровозныхъ и 1.476 тендерныхъ хромистыхъ бандажей не выдержали гарантіи 389 паровозныхъ и 44 тендерныхъ, служивъ хуже простыхъ. По Либаво-Роменской



средній пробѣгъ до первой обточкы былъ: углеродистыхъ—24.748, хромистыхъ—28.322 при глубинахъ выбоинъ въ первыхъ 5,7, вторыхъ 6,4 мм. На Московско-Курской дорогѣ прокатъ на 1.000 верстъ пробѣга было 0,1203 углеродистыхъ 0,3323 мм. хромистыхъ. На Риги-Орловской и Ташкентской не выдержалъ гарантійнаго срока ни одинъ хромистый паровозный бандажъ. На Ташкентскій пробѣгъ до 1-й обточкы былъ: углеродистыхъ—36 т. в., хромистыхъ—27 т. в., а между 1-й и 2-й обточкой—25.750 у первыхъ и 21.691 у вторыхъ. На Юго-Западныхъ средній пробѣгъ до первой обточкы хромистыхъ былъ—29 т. в. (при гарантій 50 т. в.), углеродистыхъ—34.246 в. Съ остальныхъ дорогъ выводы поступили аналогичные: въ пользу хромистыхъ не высказался никто.

Резюмировать это можно такъ: непродуманностью и неурегулированностью термической обработки хромистые бандажи были испорчены и нанесли убытки и дорогамъ, и заводамъ. «Отжигъ» былъ неправиленъ и противорѣчилъ всѣмъ положеніямъ теоріи.

Послѣ требованія Министерства Путей Сообщенія объ обязательномъ отжигѣ всѣхъ бандажей, вопросъ этотъ сталъ заводами изучаться, особенно,—во второй половинѣ 1912 и въ 1913 году и на многихъ заводахъ сдѣлались обширныя по этому поводу изслѣдованія. Опыты на крупнѣйшемъ по бандажному производству — Днѣпровскомъ заводѣ (см. *К. Клеммъ*, Объ отжигѣ бандажей Ж. Р. М. О. 1913 г.) были опубликованы—изъ нихъ привожу произведенное сравнительное изслѣдованіе надъ отжигомъ стали изъ литой болванки, разводки и изъ бандажа. Образцы для механическихъ испытаній брались съ поверхности; изъ развонокъ и бандажей образцы вырѣзаны возможно ближе къ гребню. Химическій составъ стали: С—0,51, Мп—1,02, Si—0,27, S—0,073, Р—0,03.

М Е Т А Л Л Ъ.	R	R'	R <sub>1</sub>	R <sub>1</sub> '	p	p'	i	i'	Родъ отжига.
Слитокъ . . . . .	62,5	63	25	32	13	31	3,5	8	Въ электрической печи при 780 градусахъ.
„ . . . . .	63,5	63,5	36	31	16	28	5	8	
Разводка, оконченная ковкой при 920° . . . . .	72	67,5	39	38	13	31	11,5	13,4	
Разводка, оконченная ковкой при 960° . . . . .	65	62	37	28	13	25	14	11,5	
Бандажъ въ 2 нагрѣва, окончанный при 1000° {	73	60	34	37	12	15	11,5	15,5	Въ бандажной печи при 730 гр.
	72	63,5	37	30	12	15	12	15	
	72	73,5	37	39	18	16	9	13	
Въ 1 нагрѣвѣ, окончанный при 870 гр {	70	69,5	32	30	22	13	11	12,5	Въ электрической печи при 780 гр.
	—	64,5	—	34	—	30	—	8	
	—	69	—	35	—	28	—	13,5	



Определены были изъ каждого образца: временное сопротивление  $R$ , видимый пределъ упругости (пределъ текучести)  $R_1$ , пределъ пропорциональности  $p$  и удлинение  $i$ . Результаты испытаній послѣ отжига обозначены  $R'$ ,  $R'_1$ ,  $p'$  и  $i'$ .

Всѣ бандажи выдержали испытаніе 5 ударами однотонной бабою съ 15 футъ и 8 съ высоты 30 футъ.

Микроструктурные снимки этихъ бандажей подтверждаютъ только, что высокому пределу пропорциональности соответствуетъ хорошая мелкозернистая структура.

Легко видѣть изъ вышеприведенныхъ цифръ, что четыре первыя пробы отожжены, повидимому, довольно хорошо. И для металла болванки и для разводки такой отжигъ, при очень сравнительно незначительномъ паденіи временнаго сопротивленія, очень сильно повысилъ (примѣрно вдвое) пределъ пропорциональности и улучшилъ удлиненіе—вдвое для только литого металла и менѣе замѣтно для уже прокованнаго. Отжигъ въ бандажной печи, ведшійся при болѣе низкой температурѣ, а также сопровождавшійся медленнымъ охлажденіемъ, далъ гораздо худшіе результаты, что показываютъ слѣдующіе четыре образца. Отжигъ въ электрической печи снова далъ хорошіе результаты (послѣдніе 2, а особенно послѣдній образецъ).

Интересно отмѣтить, что отжигъ въ бандажной печи при низкой температурѣ сильно понизилъ пределъ пропорциональности бандажа, оконченнаго прокаткой съ одного нагрѣва, т. е. оконченнаго холоднымъ, онъ снялъ съ металла наклепку. Пределъ пропорциональности, полученный при сильной (въ электрической печи) термической обработкѣ оказался, примѣрно, одинаковъ для металла прокатнаго бандажа и металла не обработаннаго механически—изъ слитка.

На большинствѣ русскихъ заводовъ установлено нынѣ валовое производство бандажей теоретически правильное, т. е. съ быстрымъ переходомъ черезъ критическій интервалъ.

Противятся такому отжигу главнѣйшіе заводы, такъ называемые специалисты по отжигу.

Оно и понятно. Давно работая со сталью и отливками, заводы эти привыкли удалять вредныя натяженія нагрѣвомъ ниже низшей критической точки. Какъ только для «отжига» повысили температуру дальше, оставивъ тоже какъ и раньше медленное остываніе, получили ухудшеніе стали въ смыслѣ пониженія предела упругости (что вліяетъ на изнашивание бандажей смятиемъ, но не такъ сразу замѣтно) и огромнаго паденія временнаго сопротивленія—килограммовъ на 15—, что препятствовало приѣмкѣ ихъ по техническимъ условіямъ. Поэтому пошли путемъ очень сильнаго повышенія временнаго сопротивленія передъ отжигомъ съ тѣмъ, чтобы имѣть запасъ на пониженіе и т. д. Чѣмъ выше поднимали температуру отжига, тѣмъ было хуже, ибо поднимали ее робко, не рѣшаясь пройти критическій интервалъ кверху медленно, постепенно, а къ низу—быстро. Теперь это сдѣлано другими заводами, не связанными рутиной и наличіемъ старыхъ печей, а построившихъ новыя печи, допускающія правильный отжигъ.



Разумѣется, въ этихъ печахъ есть еще техническія несовершенства, но уже какъ величины второго порядка и, конечно, временныя.

Поддерживаетъ многихъ въ убѣжденіи важности «отжига» съ медленнымъ охлажденіемъ и низкой сравнительной температурой, примѣрно около низшей критической, удачные результаты достигавшіеся снарядами, одно изъ звень обработки коихъ былъ такой «отжигъ». Выше мною предложены объясненія почему то, что хорошо для снаряда, негодно для другихъ издѣлій.

Какъ выше приведенъ примѣръ, предѣлъ пропорціональности при отжигѣ обычно сильно повышается, когда онъ низокъ въ сыромъ металлѣ и даже понижается при наличіи наклепки. Хорошее издѣліе—въ томъ числѣ, на примѣръ, и бандажъ—съ высокими механическими качествами можно получить и безъ отжига, но рядомъ съ хорошимъ можно получить плохое издѣліе.

Отжигъ драгоцененъ тѣмъ, что нивелируетъ неоднородности въ изготовленіи издѣлій, обезпечиваетъ равномерный хорошій уровень качества ихъ, устраняетъ лотерейность испытаній.

Отжигъ казалось бы надлежало называть правильнымъ тогда, когда онъ даетъ металлъ равномерно наилучшаго качества. Къ сожалѣнію, въ русской технической литературѣ встрѣчается терминологія отжига «правильнымъ», когда онъ, не фиксируя структуры перекристаллизаціи, даетъ металлъ съ очень малымъ предѣломъ упругости и временнымъ сопротивленіемъ, но зато при «правильномъ», т. е. плавно постепенномъ медленномъ охлажденіи.

Это разумѣется необходимо только имѣть въ виду, дабы при оцѣнкѣ результатовъ «правильнаго» отжига не впасть въ ошибку, приписавъ печальные результаты «отжигу», какъ операциі по существу, а не «неправильному теоретически отжигу».

Такъ, получивъ протомленіемъ металла въ предѣлахъ критическаго интервала кашеобразную структуру и низкій предѣлъ пропорціональности,—т. е. металлъ, который при службѣ несомнѣнно легко сомнется по поверхности, а въ смыслѣ упругаго сопротивленія плохъ—, утверждаютъ, что отжигъ самъ по себѣ хорошъ, а то, что предѣлъ пропорціональности,—низокъ, тѣмъ хуже для него; значить, дѣло не въ предѣлѣ пропорціональности, т. е. жизненные качества металла жертвуются взгляду на отжигъ.

Позволю себѣ прибавить данныя по вопросу о томъ, можно ли новымъ отжигомъ возстановить хорошія качества испорченнаго плохимъ отжигомъ бандажа, въ условіяхъ заводской практики. Бандажи одного изъ заводовъ, перваго періода ихъ отжига, для изслѣдованія о несовершенствѣ такового, были переиспытаны въ значительномъ количествѣ уже послѣ отправки ихъ съ завода и согласно правилъ пріемовъ были отправлены на заводы для «исправленія недостатковъ».

Послѣ повторнаго отжига (I) результаты сравнительно съ данными первыхъ испытаній тѣхъ же плавовъ (II) были:



Временное сопроти- вление.		Удлиненіе.		Углерода.	Марганца.	Кремнія.	Сѣры.	Фосфора.
I.	II.	I.	II.					
70,5	55,5	14	24	0,47	0,92	0,24	0,09	0,05
70	59,5	14,5	17	0,48	0,96	0,24	0,042	0,03
71	59,5	15	19,5	0,48	0,94	0,27	0,038	0,04
71,5	58,5	14	23	0,48	0,97	0,24	0,045	0,04
69	59,5	17,5	19	0,49	1,03	0,31	0,07	0,04
77,5	58,5	11,5	19,5	0,60	0,89	0,30	0,039	0,02
71,5	56	16,5	21,5	0,54	0,93	0,27	0,039	0,04
68	60	16	18	—	—	—	—	—
64,5	57	18,5	19,5	0,48	1,00	0,27	0,036	0,03

Послѣдніе два бандажа были провѣрены на предѣлъ пропорціональности и дали по 27 кил. его.

Такимъ образомъ, можно признать повторный отжигъ въ заводскихъ условіяхъ операціей, дѣйствительно достигающей своей цѣли.

### З а к л ю ч е н і е .

Русскій техническій языкъ еще не выкристаллизировался. Къ этому присоединилась при переводахъ съ иностранныхъ языковъ непродуманность и нѣкоторая небрежность, породившія неточность перевода. Думать самостоятельно, а не переводно, въ видѣ общаго правила въ Россіи не рѣшаются. Между тѣмъ, людямъ свойственно приписывать къ обозначаемому словомъ все, что они привыкли соединять съ извѣстными уже имъ вещами или понятіями, этимъ словомъ также означаемыми. Это дѣлается въ силу инерціи, рутины, а потому служитъ источникомъ ошибокъ какъ и все порожденное рутиной, <sup>увереніемъ</sup> авторитетомъ или гордостью мнимымъ знаніемъ.

При распространеніи идей Ньютона о всемірномъ тяготѣніи упущено было одно слово въ его изложеніи, а именно quasi (какъ будто бы) и этимъ порождено одно изъ вреднѣйшихъ ученій, опирающееся какъ будто бы на авторитетъ Ньютона, а именно, — ученіе о дѣйствиіи на разстояніе, засорявшее физику больше двухъ вѣковъ, да и теперь еще много гдѣ преподаваемое.

Классическимъ примѣромъ неправильности перевода служитъ переводъ уаттовскаго horse power изъ вторыхъ рукъ съ нѣмецкаго Pferdestärke словами «лошадиная сила» и та масса недоразумѣній, въ которую это повлекло (ибо лошадиная сила совсѣмъ не сила, а въ понятіе, выражаемое ею, входитъ и время и разстояніе) не только приступающихъ къ изученію прикладной механики, но и техническую литературу (въ ней можно указать примѣры о выраженіи работы, затраченной на обработку металла, въ видѣ суммы «лошадиныхъ силъ» и т. д.). Прочистились взгляды только, когда съ введеніемъ въ курсы высшихъ учебныхъ заведеній электротехники начала изучаться система C. G. S. и распространились понятія о взаимоотношеніи лошадиной силы и киловатта.



Эти примѣры показываютъ, что смѣшеніе понятій въ жизни дѣло не новое. Выше я позволилъ себѣ поэтому остановиться на вредныхъ, засоряющихъ дѣло, смѣшеніяхъ понятій о предѣлѣ упругости, твердости, отжигѣ и т. д.

Цѣлью вышеизложеннаго было съ моей стороны желаніе возможно содѣйствовать установленіемъ опредѣленности понятій и устраненію смѣшенія ихъ. Позволяю себѣ высказать нѣкоторые выводы изъ вышеприведеннаго:

I) Основной величиной, лежащей въ основѣ всѣхъ расчетовъ строительной механики, является предѣлъ пропорціональности.

II) Основной величиной, повышенія которой мы должны добиваться въ металлѣ для сооружений, подвергающихся колебаніямъ нагрузки, есть предѣлъ пропорціональности; временное сопротивленіе имѣетъ второстепенное значеніе.

III) Временное сопротивленіе, предѣлъ текучести, твердость по Бринеллю—не имѣютъ никакой связи съ сопротивленіемъ тѣлѣ износу какого бы то ни было рода.

IV) Предѣлъ пропорціональности имѣетъ прямую связь съ сопротивленіемъ металла смятію.

V) Съ истираніемъ стали имѣетъ связь, повидимому, лишь содержаніе сѣры.

VI) Сопротивленіе металла удару сильно зависитъ отъ величины предѣла пропорціональности и (меньше) отъ модуля упругости.

VII) Для среднеуглеродистой стали высокой предѣлъ пропорціональности связанъ съ хорошей структурой.

VIII) Въ желѣзнодорожной службѣ металлы подвергаются работѣ при скоростяхъ, выше опасныхъ для металла величины.

IX) По предѣлу текучести и временному сопротивленію нельзя судить о величинѣ предѣла пропорціональности.

X) Число твердости Бринеля не имѣетъ ничего общаго съ твердостью тѣлѣ, а можетъ быть связано только съ временнымъ сопротивленіемъ ихъ.

XI) Разныя издѣлія требуютъ разнаго металла—снарядъ и бандажъ по основнымъ своимъ заданіямъ должны быть разнѣ обработаны термически.

XII) Хорошимъ отжигомъ можно достигъ какъ однородности издѣлій, такъ и повышенія ихъ качества въ условіяхъ валовой заводской работы.

XIII) Отжигъ есть операція съ нагрѣвомъ не ниже высшей критической точки. Игру словами «отжигъ практическій» и т. д. пора прекратить.

XIV) Роль сегрегации въ стали практически можетъ быть велика.