

О КОЕФФИЦИЕНТЪ
РѢЗАНІЯ МЕТАЛЛОВЪ.

Т. И. Тихоновъ.

ТОМСКЪ.

Гипо-литографія Сибирскаго Т—ва Печати. Дѣла, уг. Дворянск. ул. и Ямск. пер., с. д.
1910.

7158-н

1-550050

Томск. ун-т

Тихонов, Т. И.
О коэффициенте резания
металлов.
1910

О КОЕФФИЦИЕНТѢ РѢЗАНІЯ МЕТАЛЛОВЪ.

Т. И. ТИХОНОВЪ.



ТОМСКЪ.

Гипо-литографія Сибирскаго Т—ва Печати. Дѣла, уг. Дворянск. ул. и Ямск. пер., с. д.

1910.

1350050

621.96

О КОЕФФИЦИЕНТѢ

ПРЯМЫХЪ МЕТАЛЛОВЪ

Г. И. ТРЕЩАКОВЪ



ТОМСКЪ

Въспомогательный текст, вероятно относящийся к библиографическому описанию или примечанию.

О коэффициентъ рѣзанія металловъ.

Т. И. Тихоновъ.

Образованіе стружки и ея видъ.

Явленія рѣзанія впервые были подробно изучены профессоромъ Тиме и изложены имъ въ 1870 году въ его сочиненіи „Сопровитленіе металловъ и дерева рѣзанію“. Профессоръ Тиме разсматриваетъ слѣдующіе случаи:

1) Сниманіе стружекъ съ вязкихъ металловъ (желѣзо, сталь, свинецъ). Сначала рѣзецъ вдавливается въ массу металла по направленію своего движенія и масса сжимается. Сжатіе распространяется, какъ это показалъ опытъ, не навесь снимаемый слой $ckgf$ (фиг. 1, таб. IV), а только на нѣкоторую долю его, ограниченную угломъ act . Но какъ только давленіе на площадку рѣзца ct превзойдетъ сопротивленіе срѣзыванію металла по ac , элементъ стружки $actf$ сдвигается по направленію ac , а рѣзецъ начинаетъ сжимать уже слѣдующій слой (фиг. 2). Элементъ образовавшейся стружки, вслѣдствіе сжатія металла, слегка поворачивается около точки c и такимъ образомъ получается изогнутая стружка, гладкая на поверхности, прилегающей къ рѣзцу, и зазубренная на другой сторонѣ рѣзца. Такую стружку профессоръ Тиме назвалъ стружкою скалыванія. При образованіи такой стружки (фиг. 3) рѣзко выдѣляются слѣдующія характерныя величины: уголъ между направленіемъ движенія и передней гранью рѣзца $\angle \alpha$ —уголъ рѣзанія; уголъ между обрабатываемой поверхностью и задней гранью рѣзца $\angle \gamma$ —уголъ наклона и уголъ между передней гранью рѣзца и плоскостью скалыванія $\angle \beta$ —уголъ скалыванія или уголъ дѣйствія.

Изъ опытовъ найдено, что сумма угловъ $\alpha + \beta$ для различныхъ металловъ при измѣненіи $\angle \alpha$ измѣняется весьма незначительно, такъ для чугуна

$\alpha = 45^\circ$	55°	65°	75°	90°
$\beta = 100^\circ$	90°	85°	75°	65°
$\alpha + \beta = 145^\circ$	145°	150°	150°	155°

Отсюда мы видимъ, что при измѣненіи $\angle \alpha$ отъ 45° до 90° положеніе плоскости скалыванія почти не измѣнилось.

Что касается кривизны стружки, то опыты показали, что радіусъ кривизны пропорціоналенъ толщинѣ снимаемаго слоя и обратно пропорціоналенъ углу α .

Если мы сравнимъ длину снимаемаго слоя и длину получаемой стружки, то оказывается, что стружка значительно короче; при образованіи стружки произошла усадка металла. Назовемъ длину снимаемаго слоя $L = \Sigma l$, длину стружки $L' = \Sigma l'$, то коэффициентъ усадки $\varphi = \frac{\Sigma l'}{\Sigma l}$; но изъ чертежа 3-го имѣемъ, что

$$\frac{l'}{l} = \frac{\sin \beta'}{\sin \beta},$$

азначить

$$\varphi = \frac{\sin \beta'}{\sin \beta}.$$

Если взять крайніе предѣлы для угла рѣзанія α , встрѣчающіеся въ практикѣ, то для

$$\alpha = 45^\circ, \varphi = \frac{\sin (180^\circ - 145^\circ)}{\sin 100^\circ} = 0,6,$$

$$\alpha = 75^\circ, \varphi = \frac{\sin (180^\circ - 150^\circ)}{\sin 75^\circ} = 0,5,$$

$$\alpha = 90^\circ, \varphi = \frac{\sin (180^\circ - 155^\circ)}{\sin 90^\circ} = 0,42.$$

Дѣйствительно, непосредственныя наблюденія показали, что коэффициентъ усадки для желѣза, стали и бронзы колеблется въ этихъ предѣлахъ; если и есть уклоненіе, то оно объясняется измѣненіемъ $\angle \beta$.

Обращаясь къ чертежу 3-му и припоминая процессъ образованія стружки, мы замѣчаемъ, что элементъ сжимаемой поверхности стружки cm находится въ извѣстной зависимости отъ элемента скалываемой поверхности ac ; все зависитъ отъ сопротивленія металла сжатію и срѣзыванію; вообще можно допустить, что $cm = ac \xi$, а слѣдовательно площадь стружки $\omega = \xi (ac)^2$; но $ac = \frac{\text{толщина стружки}}{\sin \beta'} = \frac{l}{\sin \beta'}$ (см. черт. 3-й), а потому

$$\omega = \xi \frac{l^2}{\sin^2 \beta'}.$$

Что касается вида самой стружки, то онъ сильно зависитъ отъ угла рѣзанія; при маломъ углѣ рѣзанія сдвигъ элементовъ стружки

незначительный, элементъ имѣетъ форму трапеціи, и стружка получается болѣе плавнаго строенія (сливная стружка); при большемъ углѣ рѣзанія сдвигъ элементовъ относительно другъ друга значительный, связь между элементами слабая, и видъ самихъ элементовъ стружки переходитъ въ треугольный. Въ обоихъ случаяхъ поверхность стружки, прилегающая къ рѣзцу, имѣетъ блестящій видъ, и поверхность обрабатываемаго предмета не имѣетъ особенно замѣтныхъ шероховатостей.

2) Стружка хрупкихъ металловъ.

(Твердая бронза, чугуны).

При малыхъ углахъ рѣзанія и при значительной толщинѣ снимаемаго слоя, $l > 3 \text{ м/м}$, рѣзецъ сначала углубляется въ металлъ при тѣхъ же условіяхъ, какъ и при рѣзаніи вязкихъ металловъ, но послѣ нѣкотораго углубленія рѣзца, элементъ не скалывается, а отламывается, при чемъ элементъ стружки получаетъ совершенно иную форму (фиг. 4). Часть металла, лежащая ниже острія рѣзца, вырывается, и потому обработанная поверхность предмета получается негладкая.

Только иногда, когда металлъ очень хорошъ, элементы стружки не откалываются совершенно, а остаются связанными между собой и образуютъ цѣлую стружку (фиг. 5). Последняя стружка, обратно стружкамъ скалыванія, имѣетъ неровную поверхность, прилегающую къ рѣзцу, и гладкую вогнутую поверхность и называется стружкою надлома. Очевидно, стружка надлома усадки не даетъ. При углахъ рѣзанія отъ 55° до 65° и при толстомъ снимаемомъ слое получается только стружка надлома, при тонкихъ слояхъ рѣзанія получается иногда и смѣшанная стружка. Если же уголъ рѣзанія измѣняется отъ 75° до 90° , то при тонкихъ слояхъ рѣзанія получается исключительно стружка скалыванія. Слѣдовательно при обработкѣ хрупкихъ металловъ, чтобы получить гладкую поверхность, нужно брать рѣзецъ съ большимъ угломъ рѣзанія отъ 75° до 90° и снимать тонкій слой. При обработкѣ вязкихъ металловъ уголъ рѣзанія рѣзца на чистоту отдѣлки предмета особаго вліянія не оказываетъ. На чистоту обработки металлической поверхности большое вліяніе оказываетъ форма рѣзущаго ребра рѣзца. Такъ какъ толщина стружки при рѣзцахъ съ прямолинейнымъ рѣзущимъ ребромъ постоянна, а давленіе на рѣзецъ достигаетъ своей максимальной величины періодически, то очевидно, что и наибольшая величина давленія на рѣзецъ для одинаковой по сѣченію стружки будетъ наблюдаться одновременно, отчего рѣзецъ будетъ испытывать наибольшія колебанія. Если же рѣзущіе края рѣзца закругленные, то давленіе на рѣзецъ въ различныхъ мѣстахъ

стружки будетъ колебаться различно, для одного сѣченія стружки порѣзущей грани рѣзца давленіе будетъ максимальное, для другого — минимальное, т. е. часть давленія будетъ взаимно компенсироваться, и въ результатѣ рѣзецъ съ закругленнымъ рѣзущимъ ребромъ будетъ работать спокойнѣе, съ меньшимъ дрожаніемъ, вслѣдствіе чего обрабатываемая поверхность получаетъ болѣе гладкую поверхность.

Сопротивленія при рѣзаніи металловъ.

Для практики весьма важно выяснитъ величину сопротивленія, которое надо преодолѣть рѣзцу при различныхъ условіяхъ работы, т. е. при различномъ матеріалѣ, толщинѣ стружки, углѣ рѣзанія и скорости перемѣщенія самого рѣзца. Выясненіемъ этого вопроса весьма многіе занимались, и однимъ изъ первыхъ былъ Кокиль. Опыты производились Кокилемъ на токарномъ станкѣ; такъ имъ высверливались отверстія, при чемъ вращался обрабатываемый предметъ, самое же сверло удерживалось неподвижнымъ при помощи рычага. По величинѣ нагрузки на рычагъ и судили о преодолеваемомъ сопротивленіи. Аналогичные опыты надъ сверленіемъ были произведены офицеромъ французской артиллеріи Кларенвалемъ, съ тою только разницею, что работа измѣрялась пружиннымъ динамометромъ. Опыты болѣе обстоятельные были произведены Жосселемъ въ 1864 году на казенномъ французскомъ заводѣ въ Jndret.

Цѣлью изслѣдованія было опредѣленіе наивыгоднѣйшей формы рѣзца. Работа, идущая на снятіе стружки, опредѣлялась какъ разность работъ, измѣряемыхъ при помощи динамометра для рабочаго и холостого хода станка; слѣдовательно предполагалось, что потеря на вредныя сопротивленія въ станкѣ въ обоихъ случаяхъ равна; не существуетъ никакихъ сомнѣній, что при такомъ способѣ опредѣленія величина работы, необходимой для снятія стружки, получится больше дѣйствительной, ибо къ послѣдней прибавится еще нѣкоторая доля вредныхъ сопротивленій станка. Подобный недостатокъ присущъ всѣмъ опытамъ, гдѣ только примѣнялся приводный динамометръ. Опыты Жосселя въ свое время имѣли громадное значеніе и по сіе время встрѣчаются ссылки на нихъ, хотя сравненіе ихъ съ опытами позднѣйшаго времени показало, что нельзя относиться къ нимъ съ полнымъ довѣріемъ, ибо встрѣчаются факты, вполне противорѣчащіе послѣднимъ опытнымъ даннымъ. Опыты профессора Тиме *) произведены въ 1868—69 г. г. на Луганскомъ заводѣ съ цѣлью опредѣленія сопротивленія металловъ и дерева рѣзанію. Работа производилась на

*) Тиме. Сопротивленіе металловъ и дерева рѣзанію. 1870.

строгальномъ станкѣ. Необходимое усиліе измѣрялось довольно просто: на концѣ вала станка, на которомъ сидятъ шкивы, былъ надѣтъ свободно рычагъ, сцѣпляющійся при помощи собачки съ храповикомъ, заклиненнымъ на томъ же валу; при испытаніяхъ ремень со шкива сбрасывался и на концѣ рычага вѣшался грузъ; постепенно увеличивая грузъ, достигали того момента, когда столъ начиналъ двигаться и, слѣдовательно, начиналось образованіе стружки. Зная грузъ, длину рычага и зубчатую передачу, можно вычислить необходимое усиліе для приведенія стола въ движеніе. Давленіе на рѣзецъ, необходимое для снятія стружки, будетъ меньше вычисленнаго, ибо сюда вошли вредныя сопротивленія станка. Профессоръ Тиме поправлялъ полученные результаты, вводя коэффициентъ полезнаго дѣйствія станка равный 0,60; но коэффициентъ полезнаго дѣйствія станка сильно измѣняется во время работы, а посему и полученные окончательные результаты измѣренія давленія на рѣзецъ не могутъ быть точными. Въ 1873 году была опубликована книга Гартинга „Versuche ueber Leitung und Arbeits—Verbrauch der Werkzeugmaschinen“, въ которой изложены результаты его испытаній надъ различными машинами-орудіями при посредствѣ динамометра. Опредѣлялось количество работы, необходимое для снятія извѣстнаго вѣса металлической стружки. Затѣмъ въ 1892 году были произведены въ Харьковѣ профессоромъ Зворыкинымъ *) весьма обстоятельные опыты съ этою же цѣлью. Профессоръ Зворыкинъ бралъ для опыта обыкновенный строгальный станокъ съ постоянной скоростью рабочаго движенія. Рѣзецъ прикрѣплялся къ одному плечу колѣнчатого рычага, другое колѣно котораго упиралось въ поршень гидравлическаго цилиндра. Съ цилиндромъ соединялся индикаторъ, который давалъ не только величину нажатія на рѣзецъ, но и колебаніе этихъ нажатій въ теченіе процесса рѣзанія. Вредныя сопротивленія станка здѣсь не могли оказать никакого вліянія на результаты измѣреній; исключалось и вліяніе тренія въ самомъ динамометрическомъ приборѣ, ибо приборъ предварительно провѣрялся на особой машинѣ для испытанія матеріаловъ; для ряда опредѣленныхъ давленій на брусокъ, укрѣпленный на мѣстѣ рѣза, отмѣчалось соотвѣтствующее сжатіе пружины; это и давало возможность провѣрить съ большой точностью, какимъ дѣйствительнымъ давленіямъ на рѣзецъ соотвѣтствуютъ различныя положенія карандаша на индикаторной діаграммѣ. Въ томъ же году появилось извѣстіе объ опытахъ Гауснера **), работавшаго въ Австріи. Въ его методѣ оп-

*) «Работа и усиліе, необходимые для отдѣленія металлическихъ стружекъ». Москва 1893. „Техническій сборникъ и вѣстникъ промышленности“ за 1893 годъ.

**) Mittheilungen des technologischen Gewerbe-Maschinen in Wien, 1893, S. 117.

редѣленія сопротивленія стружки вліяніе вредныхъ сопротивленій станка было совершенно исключено. Строгальный станокъ, который онъ бралъ, получалъ движеніе отъ привода, и скорость рѣзанія не была постоянной. На столѣ станка помѣщалась особая станина, въ направляющихъ которой передвигались параллельные тиски съ зажатымъ въ нихъ кускомъ матеріала, подвергавшагося обработкѣ. Отъ давленія рѣзца тиски перемѣщались и сжимали пружину, помѣщенную между тисками и выступомъ станины. Сжатіе пружины записывалось діаграммнымъ аппаратомъ. При опредѣленіи сопротивленія стружки приходилось вводить поправку только на треніе тисковъ по направляющимъ станины. Сѣченія самой стружки были крайне незначительными (1,57 q mm maximum).

Въ 1896 году въ „Zeitschrift des Oesterreichischen Ingenieure und Architekten Vereins“ *) появилось описаніе опытовъ Селлегрена, профессора въ Стокгольмѣ. Для своихъ опытовъ онъ бралъ токарный станокъ и простой динамометрический приборъ. Съ суппортомъ станка соединялся неравноплечный рычагъ, вращающійся около горизонтальной оси; на маломъ плечѣ рычага укрѣплялся рѣзецъ, давленіе на который уравнивалось пружиною, дѣйствующею на большое плечо рычага; по сжатію пружины вычислялось усиліе, нужное для снятія стружки. Опыты особенно интересны въ томъ отношеніи, что скорость рѣзанія измѣнялась въ очень большихъ предѣлахъ. Далѣе въ 1906—7 году были опубликованы весьма обширные опыты изслѣдованія по вопросу о рѣзаніи металловъ, произведенныя въ теченіе 25 лѣтъ на разныхъ заводахъ Америки Тайлоромъ. Тайлоръ задался цѣлью установить зависимость экономичности обработки металловъ рѣзаніемъ отъ различныхъ факторовъ, входящихъ въ составъ этой обработки, и этимъ дать возможность, при началѣ какой либо работы на станкѣ, впередъ выбрать инструментъ (рѣзецъ), величину подачи, глубину рѣзанія и скорость рѣзанія, необходимые для минимальной затраты энергіи и времени, что непосредственно вліяетъ на экономичность производства.

По изслѣдованію Тайлора на конечный результатъ работы на станкѣ вліяютъ 12 переменныхъ величинъ, а именно слѣдующія:

- а) качество металла, подвергаемаго рѣзанію;
- в) діаметръ предмета;
- с) глубина рѣзанія;
- д) толщина стружки;
- е) упругость предмета и инструмента;

*) S. 473.

- f) форма или контуръ рѣзущаго края инструмента, величина угла рѣзанія и угла зазора;
- g) химическій составъ стали, изъ которой сдѣланъ инструментъ, и способъ термической обработки, которой онъ подвергался;
- h) подвергается ли инструментъ охлажденію водой;
- i) продолжительность рѣзанія, въ теченіе котораго инструментъ можетъ работать безъ заточки;
- k) давленіе стружки на инструментъ;
- l) предѣлы, въ которыхъ можно измѣнять скорость и подачу въ машинѣ;
- m) рѣзущая и питающая сила станка.

Все изслѣдованіе онъ раздѣлилъ на двѣ части:

- A. Опредѣленіе посредствомъ ряда опытовъ главныхъ законовъ рѣзанія.
- B. Отысканіе математическаго выраженія для этихъ законовъ, которое должно быть на столько просто, чтобы могло примѣняться въ обыденной практикѣ.

Изъ своихъ изслѣдованій Та й л о р ѣ сдѣлалъ слѣдующіе наиболѣе важные выводы и заключенія:

1) рѣзецъ съ округленной вершиной при данныхъ условіяхъ можетъ идти съ гораздо большей скоростью рѣзанія и, слѣдовательно, производитъ гораздо больше работы, чѣмъ старый рѣзецъ съ острой вершиной;

2) большое питаніе, сопровождаемое по необходимости медленной скоростью рѣзанія, производитъ больше работы, чѣмъ малое питаніе съ большей скоростью рѣзанія;

3) сильная струя воды, направляемая прямо на стружку въ томъ мѣстѣ, гдѣ она отдѣляется отъ обрабатываемой поверхности рѣзцомъ, позволяетъ увеличить скорость рѣзанія и, слѣдовательно, количество производимой работы отъ 30 до 40%;

4) толщина стружки имѣетъ гораздо больше вліянія на скорость обработки, чѣмъ какой либо другой изъ элементовъ рѣзанія. Практическій результатъ этого свѣдѣнія выразился въ томъ, что въ текущей практикѣ нашихъ заводовъ введены были рѣзцы съ длинными, прямыми рѣзущими ребрами, которые позволяли намъ работать съ грубой подачей при той же скорости рѣзанія, какая достигалась при рѣзцахъ съ закругленными ребрами рѣзанія и при маломъ питаніи; такимъ образомъ для значительной части работы старое правило—грубая подача и малая скорость рѣзанія замѣнились новымъ—грубая подача и большая скорость рѣзанія.

Нѣкоторые изъ своихъ выводовъ Тайлору удалось облечь въ математическія формулы. Формула, дающая зависимость между скоростью рѣзанія, величиною подачи и глубиною рѣзанія при работѣ надъ сталью нормальными рѣзцами съ закругленными вершинами, имѣетъ слѣдующій видъ:

$$V = \frac{c \left(1 - \frac{8}{7(32r)} \right)}{F \left(\frac{2}{5} + \frac{2+12r}{5} \right) \left(\frac{48}{32r} D \right) \left[\frac{2}{5} + 0,06\sqrt{32r} + \frac{0,8(32r)}{6(32r)+48D} \right]},$$

въ которой означаютъ:

V — нормальную скорость рѣзанія въ футахъ въ минуту,

F — подачу рѣзца въ дюймахъ,

D — глубину рѣзанія въ дюймахъ,

r — радіусъ закругленія вершины рѣзца,

c — постоянную, зависящую отъ твердости обрабатываемаго металла и качества рѣзца, при чемъ c тѣмъ меньше, чѣмъ тверже металлъ, и тѣмъ больше, чѣмъ слабѣе рѣзецъ.

Для работы надъ чугуномъ выведенная формула имѣетъ подобную же структуру.

Зависимость между скоростью рѣзанія и толщиной стружки выражена формулой

$$V = \frac{1,54}{t^{\frac{2}{3}}},$$

гдѣ t означаетъ толщину стружки въ дюймахъ. Зависимость между скоростью рѣзанія и шириною стружки слѣдующая:

$$V = \frac{12,22}{L^{\frac{7}{32}}},$$

гдѣ V — скорость рѣзанія въ фут./минут. при 20-ти минутной длительности рѣзанія и L — ширина стружки въ дюймахъ.

Двѣ послѣднія формулы имѣютъ такой видъ, который удобенъ для логарифмированія; благодаря этому эта часть изслѣдованія работы Тайлора имѣетъ наибольшее значеніе, такъ какъ въ результатъ получилась счетная линейка, дающая точное математическое выраженіе вліянія на скорость рѣзанія такихъ факторовъ, какъ форма рѣзца, толщина и ширина стружки, качество обрабатываемаго рѣзцомъ металла, продолжительность рѣзанія и т. п.

Эта часть изслѣдованій Тайлора позволяетъ быстро устанавливать нормальный срокъ, въ который данная работа должна быть исполнена рабочимъ, и выплачивать рабочимъ преміи за болѣе быструю работу. Выгода отъ введенія счетныхъ линеекъ гораздо больше, чѣмъ отъ введенія всѣхъ другихъ усовершенствованій, взятыхъ вмѣстѣ, такъ какъ благодаря этимъ счетнымъ линейкамъ и достигается главная цѣль, изъ-за которой и были предприняты въ 1880 году Тайлоромъ изслѣдованія,—взять контроль и управленіе ходомъ дѣла изъ рукъ большого числа рабочихъ и передать его вполнѣ въ руки администраціи мастерскихъ.

Наконецъ въ 1902 и 1903 году были произведены опыты предыдущаго характера въ Манчестерѣ, въ Англіи. Опыты производились совместно восемью наиболѣе выдающимися англійскими заводами, среди которыхъ были Армстронгъ, Витвортъ и К^о, Викерсъ и Максимъ, Джонъ Браунъ и К^о, Томасъ Фиртъ и сыновья и др., къ которымъ присоединилось Манчестерское Общество Инженеровъ и Манчестерская Муниципальная Техническая Школа; послѣдняя была представлена д-ромъ J. T. Nicolson'омъ, составившимъ окончательный докладъ объ этихъ испытаніяхъ подъ заглавіемъ „Опытъ съ динамометромъ для рѣзцовъ самоточни“. („Experiments with a Lathe Tool Dynamometer“).

Въ 1901 году комиссія союза нѣмецкихъ инженеровъ произвела рядъ аналогичныхъ испытаній, опубликованныхъ въ „Zeitschrift des Vereins Deutscher Ingenieure“ въ № отъ 28 сентября 1901 года. Въ бюллетенѣ № 2 Университета въ Иллинойсѣ былъ опубликованъ въ 1905 г. результатъ испытаній, произведенныхъ профессоромъ Бреккингриффомъ и Генри Дэркомъ, по вопросу о рѣзаніи металловъ.

Результаты, полученные вышепоименованными изслѣдователями, не вполнѣ согласуются между собою. По наблюденіямъ однихъ, величина работы, необходимая для снятія одного килограмма стружки, не зависитъ отъ толщины самой стружки, тогда какъ по испытаніямъ другихъ, эта зависимость существуетъ; а именно оказывается, что для снятія одного килограмма стружки тратится тѣмъ меньше работы, чѣмъ толще снимаемый слой. Точно также большинство наблюдателей утверждаетъ, что сопротивленіе рѣзанію не зависитъ отъ скорости движенія рѣзца, что также мало вѣроятно,—а priori можно допустить, что надо повысить усиліе, если надо произвести значительную деформацію за предѣломъ упругости, съ особенно значительной скоростью. Подобное разногласіе выводовъ, конечно, объясняется недостаточностью опытовъ, а съ другой стороны—неоднородными условіями, при которыхъ производились опыты.

На основаніи такимъ образомъ полученнаго матеріала были сдѣланы попытки построить теорію рѣзанія, которая сводила бы сложное явленіе рѣзанія къ элементарнымъ формамъ сопротивленія матеріаловъ и въ то же время дала бы возможность установить аналитическую связь между отдѣльными процессами рѣзанія. Однимъ изъ первыхъ выступилъ на этомъ поприщѣ профессоръ Тиме, который создалъ теорію рѣзанія на основаніи своихъ собственныхъ наблюденій. Затѣмъ, пользуясь опытными данными Жосселя, была предложена теорія рѣзанія профессоромъ Гадолинымъ. Вскорѣ послѣ этого профессоръ Афанасьевъ предложилъ свою теорію рѣзанія, опираясь почти исключительно на опыты Тиме. Наконецъ, послѣдней теоріей въ этой области является теорія профессора Зворыкина, которая, по моему мнѣнію, наиболѣе близко согласуется съ результатами очень точныхъ и многочисленныхъ опытовъ, какъ его, такъ и другихъ, а посему я считаю нужнымъ привести его теорію здѣсь, хотя бы и въ нѣсколько сокращенномъ видѣ.

Теорія рѣзанія. Вообразимъ, что рѣзецъ клиномъ вдавливается въ металлъ и сжимаетъ нѣкоторую часть послѣдняго по площадкѣ ab (фиг. 6). Измѣреніе, перпендикулярное къ плоскости чертежа, пусть равно единицѣ. На клинъ дѣйствуетъ сила P , подъ дѣйствіемъ которой рѣзецъ подвигается впередъ, но этому движенію противодѣйствуетъ сила сжатія металла на площадкѣ ab ; пусть послѣдняя сила будетъ равна Q и направлена нормально къ поверхности ab . Сила Q въ свою очередь вызываетъ силу тренія Qf , направленную параллельно передней грани клина. Кромѣ этого рѣзецъ при работѣ прижимается къ обрабатываемой поверхности предмета ac , вызывая сопротивленіе R и связанное съ нимъ треніе Rf . При равновѣсіи всѣхъ силъ проекціи послѣднихъ на оси координатъ равны нулю, т. е.

$$\begin{aligned} P &= Qf \cos \alpha + Q \sin \alpha + Rf, \\ R &= Q \cos \alpha - Qf \sin \alpha, \\ P &= Q[2f \cos \alpha + \sin \alpha (1 - f^2)] \end{aligned} \quad (1)$$

Какъ только сила нажатія клиномъ на поверхность ab достигнетъ извѣстной величины, такъ сейчасъ же произойдетъ скалываніе стружки по нѣкоторой поверхности. Скалываніе, конечно, произойдетъ по плоскости наименьшаго сопротивленія металла, а значитъ и сила R , дѣйствующая на рѣзецъ въ этотъ моментъ, должна имѣть наименьшую величину. На элементъ стружки $abkd$ дѣйствуютъ двѣ силы Q и Qf . Разложивъ эти силы на силы, дѣйствующія въ плоскости скалыванія (ak) и перпендикулярно къ ней (MN), получимъ (фиг. 7)

$$\begin{aligned} A_{ak} &= Q \cos [90 - (\alpha + \beta')] + Qf \sin [90 - (\alpha + \beta')] \\ &= Q [\sin (\alpha + \beta') + f \cos (\alpha + \beta')], \\ B_{mn} &= Q [f \sin (\alpha + \beta') - \cos (\alpha + \beta')]. \end{aligned}$$

Сила A_{ak} стремится сдвинуть элементъ стружки въ плоскости ak , чему препятствуетъ напряженіе сдвига и треніе частицъ о друга, вызываемое дѣйствіемъ силы B_{mn} . При равновѣсіи должно существовать слѣдующее равенство:

$$akT + B_{mn}f' = A_{ak};$$

но извѣстно, что

$$ak = \frac{l \text{ (толщина стружки)}}{\sin \beta'},$$

а слѣдовательно, подставляя вмѣсто усилій A_{ak} и B_{mn} ихъ величины, имѣемъ

$$\frac{lT}{\sin \beta'} + Q [ff' \sin (\alpha + \beta') - f' \cos (\alpha + \beta')] = Q [\sin (\alpha + \beta') + f \cos (\alpha + \beta')],$$

откуда

$$\begin{aligned} Q &= \frac{lT}{\sin \beta' [\sin (\alpha + \beta') + f \cos (\alpha + \beta') - ff' \sin (\alpha + \beta') + f' \cos (\alpha + \beta')]} \\ &= \frac{lT}{[(1 - ff') \sin (\alpha + \beta') + (f + f') \cos (\alpha + \beta')] \sin \beta'}. \end{aligned}$$

Вставляя полученное значеніе Q въ формулу (1), имѣемъ:

$$P = \frac{lT [2f \cos (\alpha + 1 - f^2) \sin \alpha]}{[(1 - ff') \sin (\alpha + \beta') + (f + f') \cos (\alpha + \beta')] \sin \beta'}. \quad (3)$$

Въ послѣднюю формулу входитъ $\angle \beta'$ и только въ знаменателѣ; опредѣлимъ значеніе этого угла при условіи, что въ моментъ скалыванія стружки усиліе P имѣетъ наименьшую величину, а для этого необходимо, какъ это видно изъ формулы (3), чтобы знаменатель для нѣкотораго значенія $\angle \beta'$ имѣлъ максимальную величину, т. е. первая производная знаменателя по β' должна равняться нулю.

$$\begin{aligned} \sin \beta' (1 - ff') \cos (\alpha + \beta') - (f + f') \sin \beta' \sin (\alpha + \beta') + (1 - ff') \cos \beta' \sin (\alpha + \beta') \\ + (f + f') \cos \beta' \cos (\alpha + \beta') = 0, \\ (1 - ff') \sin (\alpha + 2\beta') + (f + f') \cos (\alpha + 2\beta') = 0, \end{aligned}$$

откуда

$$\tan (\alpha + 2\beta') = - \frac{f + f'}{1 - ff'}. \quad (4)$$

Если значеніе коэффициента тренія замѣнить соотвѣствующими тангенсами угловъ тренія φ и φ' , то формула переписется такъ:

$$\operatorname{tang} (\alpha + 2\beta') = - \frac{\operatorname{tang} \varphi + \operatorname{tang} \varphi'}{1 - \operatorname{tang} \varphi \cdot \operatorname{tang} \varphi'}$$

т. е.

$$\alpha + 2\beta' = 180^\circ - (\varphi + \varphi'), \quad \beta' = 90^\circ - \frac{\varphi + \varphi' + \alpha}{2}. \quad (5)$$

При такомъ значеніи β' знаменатель получаетъ дѣйствительно максимальную величину, ибо вторая производная его по β' при f и f' меньше 1 будетъ отрицательна. Дѣйствительно $\beta' = 180^\circ - \alpha - \beta$ (см. фиг. 7); подставляя это значеніе угла во вторую производную знаменателя, получимъ: $(1 - ff') \cos [-(\alpha + 2\beta)] - (f + f') \sin [-(\alpha + 2\beta)] = (1 - ff') \cos (\alpha + 2\beta) + (f + f') \sin (\alpha + 2\beta)$.

Послѣднее выраженіе, при f и f' меньшихъ единицы, меньше нуля, ибо $\alpha + 2\beta > 180^\circ$ ($\beta > \beta'$). Значеніе величинъ φ и φ' не извѣстны, но опытные данные позволяютъ для чугуна взять $\varphi = 23^\circ 45'$ и $\varphi' = 20^\circ 15'$, что соотвѣствуетъ 0,44 и 0,34.

Теперь измѣняя уголъ α , найдемъ въ формулѣ (5) различные значенія.

$\alpha = 45^\circ$	55°	65°	75°	90° ,
$\alpha + \beta = 134,5^\circ$	$139,5^\circ$	$144,5^\circ$	$149,5^\circ$	157° ;

по наблюденіямъ Зворыкина:

$\alpha + \beta = 134,5^\circ$	„	„	„	153° ,
--------------------------------	---	---	---	---------------

т. е. значеніе $\alpha + \beta$ весьма близко совпадаетъ съ вычисленными по формулѣ, что указываетъ на весьма удачный выборъ угловъ φ и φ' . Теперь вставивъ значеніе φ и φ' въ формулу (3) получимъ:

$$P = \frac{lT (0,88 \cos \alpha + 0,806 \sin \alpha)}{\sin \left(68 - \frac{\alpha}{2} \right) \left[0,85 \sin \left(68 + \frac{\alpha}{2} \right) + 0,78 \cos \left(68 + \frac{\alpha}{2} \right) \right]}, \quad (6)$$

вообще P есть нѣкоторая $f(\alpha)$. Т. е.

Изъ послѣдней формулы ясно видно, что давленіе на рѣзецъ P зависитъ отъ угла рѣзца (α): чѣмъ больше этотъ уголъ, тѣмъ больше усиліе, необходимое для образованія стружки. Особенно убѣдительно въ этомъ отношеніи опыты Зворыкина, гдѣ углы рѣзанія измѣнялись въ широкихъ предѣлахъ, большихъ, чѣмъ можно встрѣтить въ завод-

ской практикѣ. Общій характеръ зависимости можно видѣть изъ слѣдующей таблицы*):

Уголѣ	45°	50°	55°	60°	65°	70°	75°	80°	85°	90°
Сопротивленіе	1	1,07	1,16	1,23	1,32	1,42	1,53	1,65	1,78	1,94

Изъ таблицы видно, что сопротивленіе возрастаетъ почти пропорціонально возрастанію угла рѣзанія. Можно считать приблизительно, что увеличеніе угла рѣзанія на 1° даетъ повышенія сопротивленія на 2%.

Въ формулѣ (6) такъ подобраны φ и φ' , что она даетъ величину наименьшаго усилія, которое должно быть приложено къ рѣзцу, чтобы снять стружку, толщиною e^m/m и шириною $1^m/m$. T здѣсь коэффициентъ крѣпости матеріала при скалываніи, для чугуна $\infty 11,2$ для бронзы $\infty 16,2$, для желѣза $\infty 23,2$ и для стали $\infty 29,2$, на q мм. Хотя изъ послѣдней формулы (6) и слѣдуетъ, что желательнѣе употреблять рѣзцы съ возможно малыми углами рѣзанія, но на практикѣ рѣдко берутъ рѣзецъ съ угломъ меньше 50°, такъ какъ рѣзецъ съ болѣе острымъ угломъ заѣдаетъ, т. е. стремится врѣзаться въ глубь металла и потому обрабатываемая поверхность получается крайне неровной. Въ нѣкоторыхъ случаяхъ, при особенно твердыхъ металлахъ, чтобы получить гладкую поверхность, приходится брать $\angle \alpha$ не менѣе 90°, хотя это крайне невыгодно.

Тайлоръ на основаніи своихъ наблюденій относительно угла рѣзанія рѣзца пришелъ къ слѣдующимъ заключеніямъ:

а) Для рѣзанія чугуна и твердыхъ сортовъ стали съ содержаніемъ углерода около 0,45% рѣзецъ долженъ имѣть уголъ рѣзанія 68° при заднемъ углу рѣзца 8°.

б) Для рѣзанія мягкихъ сортовъ стали съ содержаніемъ углерода менѣе 0,45% уголъ рѣзанія рѣзца долженъ быть 61° при той же величинѣ задняго угла рѣзца ($\angle \gamma$).

в) Для отбѣленного чугуна—86—90° при той же величинѣ задняго угла рѣзца.

г) Для стали съ твердостью, равной твердости бандажной стали, $\alpha = 74^\circ$.

е) Въ мастерскихъ, обрабатывающихъ преимущественно мягкіе сорта стали съ содержаніемъ углерода 0,10—0,15% экономичнѣе $\angle \alpha$ держать менѣе 61°.

*) Таблица составлена на основаніи опытовъ проф. Зворыкина, при чемъ взяты среднія значенія величины сопротивленія для жесткихъ и вязкихъ металловъ, принимая, что сопротивленіе при $\alpha = 45^\circ$ равно 1; см. „Механическая Технологія“ проф. Гатцукъ, стр. 20.

По мнѣнію доктора Никольсона при выборѣ угла рѣзанія для рѣзца необходимо всегда останавливаться на болѣе остромъ изъ нихъ, но могущимъ однако предохранить рѣзецъ отъ искрашиванія.

Какъ видно изъ формулы (6) въ выраженіе P совсѣмъ не вошелъ задній уголъ рѣзца ($\angle \gamma$),—слѣдовательно, съ теоретической точки зрѣнія, его величина на процессъ рѣзанія вліянія не оказываетъ. Тѣмъ не менѣе этотъ уголъ необходимъ, иначе рѣзецъ, опираясь широкою поверхностью на обрабатываемую поверхность, будетъ сильно царапать, а иногда и заѣдать ее, особенно если остріе рѣзца притупится. Въ практикѣ задній уголъ обыкновенно колеблется отъ 3 до 15°. При современныхъ большихъ скоростяхъ рѣзанія необходимо серьезно позаботиться о свободномъ отдѣленіи самой стружки, чтобы она не защемлялась между тѣломъ рѣзца и рѣжущей гранью его, а также не упиралась бы въ державку; съ означенною цѣлью рѣзецъ ставится всегда съ нѣкоторымъ наклономъ по отношенію къ оси обрабатываемого тѣла.

Величину этого наклона рѣзца, по мнѣнію Никольсона, желательно имѣть около 30° для того, чтобы уменьшить величину силы боковой подачи рѣзца; такъ по изслѣдованію Никольсона при наклонѣ рѣзца къ оси обрабатываемого предмета въ 30° сопротивленіе боковой подачи измѣняется отъ 1—10%, а при уклонѣ въ 15° сопротивленіе боковой подачи вырастаетъ до 12—20% отъ полного давленія на рѣзецъ. Затѣмъ по наблюденіямъ Тайлора указанный наклонъ рѣзца къ оси обрабатываемого тѣла необходимъ для того, чтобы уменьшить стремленіе стружки отталкивать рѣзецъ отъ обрабатываемого тѣла, чѣмъ больше будетъ это отталкиваніе (дрожаніе рѣзца), тѣмъ неправильнѣе будетъ отдѣлка издѣлій. Эта неправильность особенно замѣтна въ тѣхъ случаяхъ, когда рѣзецъ и его державка не особенно прочны, и когда глубина стружки мѣняется вслѣдствіе неправильности формы обрабатываемого предмета. Для обычной мелкой мастерской величина угла наклона рѣзца къ обрабатываемому предмету, по мнѣнію Тайлора, колеблется около 8°.

Значеніе скорости. Вопросъ относительно вліянія скорости на величину сопротивленія стружки срѣзыванію долгое время оставалось недостаточно выясненнымъ. Большинство изслѣдователей про изводили опыты при скоростяхъ очень незначительныхъ, мало отличныхъ для нуля, почему и незамѣчали особеннаго вліянія скорости на сопротивленіе рѣзанію. Впрочемъ, Жессель, на основаніи своихъ опытовъ, пришелъ къ заключенію, что сопротивленіе рѣзца быстро уменьшалось съ увеличеніемъ скорости, достигало минимума при скоростяхъ меньшихъ, чѣмъ обычно примѣняется на практикѣ, а дальше шло опять

быстрое увеличеніе сопротивленія. Если взять за ось абсциссъ скорость, а за ось ординатъ работы, соотвѣтствующія одному и тому же вѣсу снятыхъ стружекъ, то законъ измѣненія работъ выразится кривой по формѣ, довольно грубо, подходящей къ параболѣ; за параболу эту кривую принималъ и покойный профессоръ Гадолинъ, въ изслѣдованіяхъ котораго эта зависимость играетъ очень важную роль. Таковъ конечно будетъ законъ и измѣненія усилій сопротивленія рѣзанію.

Пробѣлъ въ свѣдѣніяхъ по части вліянія скорости заповненъ недавно Селлегреномъ опытамъ котораго можно придать большое значеніе, такъ какъ методъ наблюденія его заслуживаетъ полнаго довѣрія, чего нельзя сказать относительно опытовъ Жесселя. Скорость рѣзанія у Селлегрена измѣнялась въ значительныхъ предѣлахъ (отъ 11,5 m/m до 53,7 m/m). Селлегрень нашелъ, что увеличеніе скорости для латуни и чугуна влечетъ за собою незначительное пониженіе сопротивленія; въ предѣлахъ скоростей, встрѣчающихся въ практикѣ, это уменьшеніе составитъ 3—4⁰/₀. При вязкихъ металахъ, напримѣръ—желѣзѣ, наблюдалось повышеніе сопротивленія и тоже незначительное, не больше чѣмъ въ первомъ случаѣ, въ предѣлахъ практики приблизительно до 12⁰/₀.

Въ 1908 году подъ моимъ руководствомъ г.г. студентами Уфтяжанинымъ и Ъздаковымъ въ механическихъ мастерскихъ Томскаго Технологическаго Института были произведены дипломныя работы по опредѣленію вліянія скорости рѣзанія металловъ на коэффициентъ рѣзанія.

Предварительно посмотримъ, какіе элементы, кромѣ заданнаго, вліяютъ на скорость рѣзанія металловъ въ порядкѣ ихъ относительной важности. Чтобы лучше охарактеризовать относительную важность этихъ элементовъ, Тайлоръ даетъ для каждаго изъ нихъ цифры, представляющія отношеніе между низшимъ и высшимъ предѣлами скорости, поскольку на ней отражается вліяніе каждаго элемента; съ этими предѣлами и приходится считаться въ повседневной практикѣ.

а) Качество обрабатываемаго металла, т. е. его твердость или другія качества, вліяющія на скорость. Отношеніе равно 1 въ случаѣ полузакаленной стали или отбѣленнаго чугуна къ 100 въ случаѣ мягкой малоуглеродистой стали.

в) Химическій составъ стали, изъ которой приготовленъ рѣзецъ и его тепловая обработка. Отношеніе равно 1 въ случаѣ рѣзцовъ изъ отпускающейся стали къ 7 въ случаѣ лучшихъ быстрорежущихъ рѣзцовъ.

с) Величина питанія. Толщина стружки измѣняется въ то время, когда металлъ сохраняетъ свою первоначальную плотность, а не толщина дѣйствительной стружки, металлъ которой частью уже раздробленъ. Отношеніе равно 1 въ случаѣ толщины стружки въ $\frac{3}{16}$ " къ $3\frac{1}{2}$ въ случаѣ толщины въ $\frac{1}{64}$ ".

д) Очертаніе или контуръ рѣзущаго ребра рѣзца главнымъ образомъ потому, что это вліяетъ на толщину стружки. Отношеніе равно 1 въ случаѣ рѣзца для нарѣзыванія винтовой рѣзьбы къ 6 въ случаѣ плоскаго широкаго рѣзца.

е) Поливается ли рѣзецъ обильно струей воды или другой охлаждающей жидкостью. Отношеніе равно 1 въ случаѣ рѣзца, работающаго въ сухую, къ 1,41 въ случаѣ рѣзца, охлаждаемаго водой.

ф) Глубина рѣзанія, или половина той величины, на которую уменьшается діаметръ обрабатываемаго предмета. Отношеніе равно 1 при глубинѣ рѣзанія въ $\frac{1}{8}$ ".

г) Продолжительность рѣзанія, т. е. время, въ которое рѣзецъ работаетъ безъ переточки. Отношеніе равно 1 въ случаѣ рѣзца, заточиваемаго каждыя $1\frac{1}{2}$ часа, къ 1,207 въ случаѣ рѣзца, заточиваемаго каждыя 20 минутъ.

h) Углы рѣзанія и задній уголъ рѣзца. Отношеніе равно 1 въ случаѣ угла рѣзанія въ 68° къ 1,023 въ случаѣ этого же угла, равнаго 61° .

и) Податливость обрабатываемой вещи и рѣзца влѣдствіе дрожанія. Отношеніе равно 1 въ случаѣ дрожанія рѣзца къ 1,15 въ случаѣ примѣненія рѣзца, работающаго безъ дрожанія.

Вкратцѣ это можетъ быть сказано такимъ образомъ:

а) Твердость обрабатываемаго предмета 1: 100.

в) Химическій составъ рѣзцовой стали 1: 7.

с) Толщина стружки 1: $3\frac{1}{2}$.

д) Очертаніе рѣзца 1: 6.

е) Охлажденіе рѣзца 1: 1,41.

ф) Глубина рѣзанія 1: 1,36 ($\frac{1}{2}$ " и $\frac{1}{8}$ ").

г) Продолжительность рѣзанія 1: 1,297 ($1\frac{1}{2}$ часа и 20 мин.).

h) Углы рѣзанія и зазора 1: 1,023 (68° и 61°).

и) Податливость рѣзца и обрабатываемой вещи

1 (при дрожаніи): 1, 12 (отсутствіе дрожанія).

Приступая къ работѣ опредѣленія зависимости коэффициента рѣзанія отъ скорости рѣзанія металловъ, мы задались цѣлью разрѣшить два вопроса:

а) Какъ вліяетъ скорость рѣзанія на коэффициентъ рѣзанія при обработки различныхъ металловъ?

в) Какое вліяніе при этомъ оказываетъ глубина рѣзанія и различная подача?

Для того чтобы отвѣтить на эти вопросы, былъ произведенъ рядъ опытовъ по обработкѣ рѣзаніемъ чугуна, желѣза и латуни. Такъ какъ въ этой работѣ переменнымъ факторомъ должна быть только скорость

рѣзанія, то остальные величины предполагали постоянными, выбирая ихъ на основаніи опытныхъ данныхъ, выработанныхъ въ разное время.

Металлы для обработки брались болѣе или менѣе однородными, напримѣръ, чугуныя болванки были спеціально для этого отлиты и отличались плотностью и равномернымъ строеніемъ. Желѣзо употреблялось сварочное отъ одного прута, и его можно было считать настолько однороднымъ, насколько удовлетворительна была прокатка. Опытовъ съ латуною было сдѣлано сравнительно немного, и они ограничились обработкой одной болванки изъ тѣхъ, которыя употребляются для работъ въ мастерскихъ Института.

Работа производилась на центровомъ токарномъ станкѣ съ приводомъ отъ отдѣльнаго электрическаго двигателя и механической подачей ходовымъ винтомъ. Станокъ былъ совершенно изолированъ отъ другихъ, и наблюденія за поглощаемой мощностью были вполне обеспечены въ своей правильности, что было необходимо, такъ какъ въ связи съ главной работой желательно было попутно опредѣлить коэффициентъ полезнаго дѣйствія станка.

Инструменты (рѣзцы), по химическому составу, употреблялись обыкновенные, углы рѣзанія для различныхъ металловъ были наивыгоднѣйшіе. Для измѣненія скорости, кромѣ ступенчатаго шкива и перебора, въ распоряженіи былъ добавочный приборъ Polysius'a, который позволялъ мѣнять скорость въ большихъ предѣлахъ, но который впослѣдствіи пришлось выключить, такъ какъ при большой нагрузкѣ въ немъ получалось довольно значительное скольженіе ремня между фрикционными тарелками и, слѣдовательно, неравномѣрная работа.

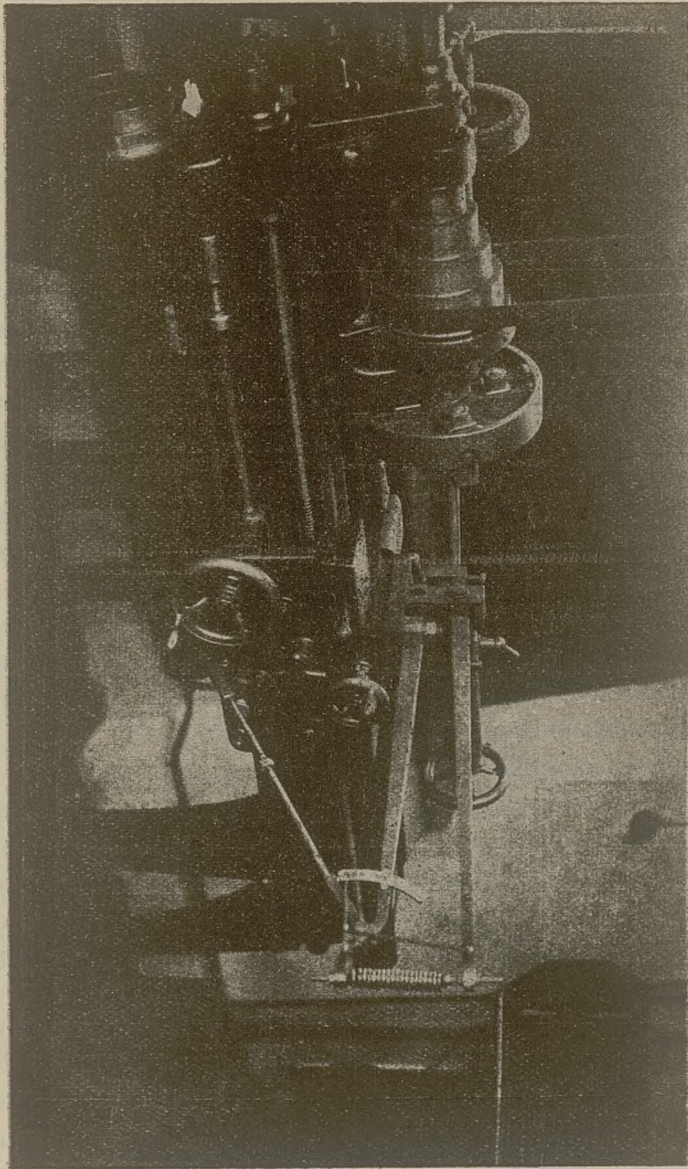
Приборомъ для измѣренія давленія на рѣзецъ служилъ пружинный динамометръ простаго устройства, показанный на прилагаемомъ чертежѣ фиг. 8 таб. IV. Динамометръ прикрѣпленъ къ верхней доскѣ суппорта и передвигается вмѣстѣ съ суппортомъ отъ ходового винта. Фотографія № 1 изображаетъ токарный станокъ, снятый вмѣстѣ съ динамометромъ для указанныхъ испытаній.

Прежде чѣмъ приступить къ опытамъ, этотъ динамометръ былъ провѣренъ, и нанесена новая точная шкала для отчетовъ нагрузки. При производствѣ опытовъ велись наблюденія за нагрузкой при каждой скорости и опредѣлялось число оборотовъ обрабатываемаго предмета въ минуту. Диаметры обрабатываемыхъ предметовъ до и послѣ прохода рѣзца измѣнялись съ точностью до 0,02 м/м. Число оборотовъ въ минуту измѣнялось съ помощью счетчика оборотовъ и секундомѣра, а затрачиваемая энергія съ помощью ваттметра.

Самое производство опытовъ велось слѣдующимъ образомъ: установивъ точно болванку и промѣривъ начальный ея діаметръ, пускали



0500551



станокъ въ ходъ и послѣ нѣсколькихъ отсчетовъ числа оборотовъ и нагрузки на рѣзецъ, мѣняли скорость, постепенно переходя отъ меньшихъ къ большимъ, или наоборотъ, и все время слѣдя за приборами. Полученные такимъ образомъ отсчеты давали возможность опредѣлить коэффициентъ рѣзанія для данной скорости и самую скорость рѣзанія по формуламъ:

$$K = \frac{P}{\omega}, \quad v = \frac{\pi d n}{60},$$

гдѣ ω есть поперечное сѣченіе снимаемой стружки въ квадратныхъ миллим. $= \frac{d_0 - d_1}{2} l$, l — подача,

p — нагрузка на рѣзецъ въ $klgr$,

n — число оборотовъ въ минуту и

d — средній діаметръ снимаемаго слоя.

Послѣ цѣлаго ряда подобныхъ опытовъ и по полученіи различныхъ значеній для коэффициента рѣзанія, при соотвѣтствующихъ скоростяхъ, изъ вышеприведенныхъ формулъ были построены кривыя, для чего брались значенія всѣхъ рядовъ отсчетовъ, наиболѣе характерно выражающія искомую зависимость.

Величины, полученные изъ опытовъ, и построенныя по нимъ кривыя.

А. ЧУГУНЪ

1 Таблица отсчетовъ.

P	n	d_0	d_1	l	δ	ω	$k = \frac{P}{\omega}$	$v = \frac{\pi d n}{60}$
1-я кривая.								
65,0	90	44, 50	42, 14	43, 32	0, 2	0,236	275,4	0,203
67,5	76	—	—	—	—	—	286,0	0,171
68,5	58	—	—	—	—	—	290,3	0,131
69,5	47	—	—	—	—	—	294,5	0,106
70,5	37	—	—	—	—	—	298,7	0,083
71,5	29	—	—	—	—	—	303,0	0,065
72,0	24	—	—	—	—	—	305,1	0,054
2-я кривая.								
62,0	90	44,14	39,66	40,90	0,2	124	0 248	0,194
63,5	76	—	—	—	—	—	256,0	0,162
64,5	58	—	—	—	—	—	260,1	0 124
65,5	46	—	—	—	—	—	264,1	0,098
66,5	36	—	—	—	—	—	268,1	0,077
67,5	29	—	—	—	—	—	273,8	0,062
68,0	24	—	—	—	—	—	275,8	0,051

Р	n	d _o	d _i	d	l	δ	ω	k = $\frac{P}{\omega}$	v = $\frac{\pi d n}{60}$
3-я кривая.									
75,0	91	39,66	36,54	38,10	0,2	1,56	0,312	243,8	0,180
76,5	76	—	—	—	—	—	—	245,2	0,150
77,5	57	—	—	—	—	—	—	248,4	0,130
78,5	46	—	—	—	—	—	—	251,6	0,091
79,0	36	—	—	—	—	—	—	253,2	0,071
79,5	29	—	—	—	—	—	—	244,8	0,057
80,0	24	—	—	—	—	—	—	256,4	0,049

См. диаграмму коэфф. рѣзанія—табл. черт. IV.

2 Таблица отсчетовъ

Р	n	d _o	d _i	d	l	δ	ω	k = $\frac{P}{\omega}$	v = $\frac{\pi n d}{60}$
1-я кривая.									
58,6	88	29,20	27,17	28,18	0,2	1,02	0,204	284,3	0,129
58,5	75	—	—	—	—	—	—	286,8	0,110
59,0	56	—	—	—	—	—	—	289,2	0,082
59,5	46	—	—	—	—	—	—	291,7	0,068
60,0	36	—	—	—	—	—	—	294,1	0,053
61,0	28	—	—	—	—	—	—	299,0	0,041
61,5	24	—	—	—	—	—	—	301,5	0,035
2-я кривая									
55,6	87	30,54	29,20	29,87	0,4	0,67	0,268	207,1	0,135
56,0	74	—	—	—	—	—	—	209,0	0,115
56,5	55	—	—	—	—	—	—	210,8	0,085
57,0	45	—	—	—	—	—	—	212,7	0,070
57,5	36	—	—	—	—	—	—	214,4	0,056
58,0	28	—	—	—	—	—	—	216,4	0,043
58,5	24	—	—	—	—	—	—	218,3	0,037
3-я кривая.									
73,5	85	30,00	30,54	31,17	0,4	1,23	0,492	194,4	0,140
74,5	70	—	—	—	—	—	—	151,4	0,116
75,5	52	—	—	—	—	—	—	153,4	0,086
76,5	43	—	—	—	—	—	—	155,5	0,081
77,5	35	—	—	—	—	—	—	157,5	0,058
78,0	28	—	—	—	—	—	—	158,7	0,046
78,5	22,5	—	—	—	—	—	—	159,5	0,037

См. диаграмму коэфф. рѣзанія—табл. IV.

[illegible]

[illegible]

См. діаграму—табл. черт. IV.

С. ЛАТУНЬ.

6 Таблица отсчетовъ.

[illegible]

Р	n	d ₀	d ₁	d	l	δ	ω	k = $\frac{P}{\omega}$	v = $\frac{\pi d n}{60}$
4-я кривая.									
20,0	265	28,50	26,44	27,47	0,2	1,03	0,206	97,0	0,379
20,5	176	—	—	—	—	—	—	99,5	0,152
20,75	90	—	—	—	—	—	—	100,7	0,129
21,00	57	—	—	—	—	—	—	102,0	0,082
21,25	37	—	—	—	—	—	—	103,2	0,053
21,25	24	—	—	—	—	—	—	103,2	0,034

См. диаграмму—табл. черт. IV.

7 Таблица отсчетовъ

Р	n	d ₀	d ₁	d	l	δ	ω	k = $\frac{P}{\omega}$	v = $\frac{\pi d n}{60}$
1-я кривая.									
18,0	174	26,24	25,08	25,66	0,2	0,58	0,116	155,2	0,231
18,5	90	—	—	—	—	—	—	159,5	0,120
19,0	57	—	—	—	—	—	—	163,8	0,075
19,5	37	—	—	—	—	—	—	168,1	0,049
19,5	24	—	—	—	—	—	—	168,1	0,032
2-я кривая.									
18,0	174	25,08	23,86	24,47	0,2	0,58	0,122	147,5	0,221
19,0	91	—	—	—	—	—	—	155,7	0,116
19,25	76	—	—	—	—	—	—	157,8	0,097
19,5	58	—	—	—	—	—	—	160,0	0,074
19,75	37	—	—	—	—	—	—	161,8	0,044
19,75	24	—	—	—	—	—	—	161,3	0,030
3-я кривая.									
26,0	174	26,86	21,90	22,88	0,2	0,98	0,96	132,7	0,209
26,5	90	—	—	—	—	—	—	135,2	0,107
26,0	76	—	—	—	—	—	—	132,7	0,090
26,0	67	—	—	—	—	—	—	132,7	0,068
26,5	37	—	—	—	—	—	—	135,2	0,044
27,2	24	—	—	—	—	—	—	137,8	0,029

См. диагр.—табл. IV.

Для таблицъ приняты слѣдующія обозначенія:

P —давление на рѣзецъ въ $klgr$; n —число оборотовъ въ минуту;
 d_0 —диаметръ болванки до обточки въ m/m ; d_1 —диаметръ болванки послѣ обточки въ m/m ; d —средній диаметръ снимаемаго слоя; l —вели-

чина подачи въ m/m ; δ —глубина рѣзанія въ m/m ; ω —площадь снимаемой стружки въ gmm , K —коэффициентъ рѣзанія въ $klgr/gmm$. и v —скорость на окружности средняго діаметра снимаемаго слоя.

Общій взглядъ на кривыя, выражающія зависимость коэффициента рѣзанія отъ скорости рѣзанія, даетъ возможность замѣтить, что, вообще, коэффициентъ рѣзанія металловъ уменьшается съ увеличеніемъ скорости. Кривыя чугуна и латуни особенно характерно выражаютъ это пониженіе (табл. IV). По даннымъ опытовъ съ чугуномъ паденіе коэффициента рѣзанія при увеличеніи скорости приблизительно на 0,100 metr. выражается слѣдующимъ процентнымъ отношеніемъ:

Кривая 1, табл. IV		6,60%	}
" 2, " IV		5,56%	
" 3, " IV		3,48%	
" 2, " IV		5,56%	
" 3, " IV		6,30%	

Какъ видно изъ приведенныхъ цифръ и кривыхъ, на паденіе коэффициента рѣзанія вліяетъ глубина рѣзанія и величина подачи; при увеличеніи глубины рѣзанія коэффициентъ рѣзанія падаетъ медленнѣе, а съ увеличеніемъ подачи—быстрѣе. Это положеніе даетъ возможность сказать, что выгоднѣе работать съ большей подачей, нежели съ значительной глубиной рѣзанія при одной и той же скорости.

Кривыя желѣза (табл. 4, кривая 1, 2, 3) даютъ нѣкоторую особенность въ сравненіи съ кривыми другихъ изслѣдованныхъ металловъ. Кривая 1, табл. 4, при скорости въ 0,100 metr. имѣетъ точку, выражающую минимальное значеніе коэффициента рѣзанія, а затѣмъ, съ увеличеніемъ скорости далѣе, поднимается. Кривая 3, таблица 4—характеризуетъ тоже самое, но при большей скорости и большей глубинѣ рѣзанія. Во 2-й кривой таб. 4 ясно этой точки нѣтъ, но есть точки перегиба. Кривыя табл. 3 общимъ видомъ сходны между собою, но отличаются отъ кривыхъ табл. 4 тѣмъ, что имѣютъ по двѣ характерныхъ точки: первая показываетъ частный minimum при скорости около 0,150 metr. въ сек., которая еще можетъ быть взята при обычной работѣ, а вторая—частный maximum. О кривыхъ табл. 5 нельзя вывести опредѣленныхъ заключеній, но въ общемъ онѣ сходны по своему виду съ кривыми табл. 4 и 3.

Кривыя латуни (табл. 6, кр. 1, 2, 3, 4 и таб. 7, кр. 1, 2, 3) по характеру сходны съ кривыми чугуна, но паденіе коэффициента рѣзанія съ увеличеніемъ скорости не такъ значительно.

Нѣкоторыя изъ вышеприведенныхъ кривыхъ даютъ вмѣстѣ съ тѣмъ наглядное понятіе о вліяніи глубины рѣзанія и величины подачи на

коэффициентъ рѣзанія. Сравнивая кривыя табл. 1, мы видимъ, что съ небольшимъ увеличеніемъ глубины рѣзанія 2-ая кривая идетъ значительно ниже 1-ой, что указываетъ на паденіе коэффициента рѣзанія; при дальнѣйшемъ увеличеніи глубины рѣзанія кривая 3-я идетъ еще ниже, но разстояніе между кривыми уже не такъ значительно. Разсматривая кривыя, можно уловить, что, при одной и той же скорости и глубинѣ рѣзанія, но двойной подачѣ, кривая 3-я табл. 2 идетъ много ниже, нежели кривая 2-я табл. 1.

Попытки найти аналитическую зависимость между коэффициентомъ рѣзанія и скоростью рѣзанія для чугуна и желѣза, хотя и имѣлось для этого большое количество опытовъ (около 400), не привели ни къ какимъ результатамъ, и поэтому приходится остановиться на мнѣніи Тайлора, который совершенно отрицаетъ существованіе какого-либо опредѣленнаго закона.

Полное отрицаніе этого закона, надо полагать, все-таки преждевременно, въ виду того, что точный стечетъ необходимыхъ данныхъ для вывода вышеозначенныхъ зависимостей пока не возможенъ, такъ какъ для опредѣленія усилія на рѣзецъ большое значеніе имѣетъ непостоянная рѣжущая способность рѣзца. По мѣрѣ производства опыта рѣзецъ притупляется, и коэффициентъ рѣзанія повышается за счетъ уменьшенія работоспособности рѣзца. При работѣ съ латуною, послѣднее явленіе было особенно ярко замѣтно. Сопротивленіе латуни рѣзанію меньше, чѣмъ другихъ металловъ, и такимъ образомъ рѣжущую способность рѣзца можно было считать болѣе постоянной, и попытка облечь опыты съ латуною въ аналитическую форму привела къ слѣдующей формулѣ:

$K \cdot \sqrt[16]{v} = a = \text{const.}$, гдѣ a —найденная нами постоянная величина, равна 213,35; k —коэффициентъ рѣзанія и v —скорость рѣзанія.

Для сравненія полученныхъ коэффициентовъ рѣзанія изъ опытовъ и формулы мы можемъ составить слѣдующую таблицу (изъ табл. 7):

Г скорость.	K получен. изъ опыта.	$K = \frac{a}{\sqrt[16]{v}}$
49	168,1	168,06
76	163,8	164,12
120	159,5	159,19
231	155,2	152,45

При расчетѣ станковъ по обработкѣ металловъ, чтобы не поставить рѣзецъ въ тяжелыя условія работы, скорость рѣзанія берутъ въ извѣстныхъ предѣлахъ; при работѣ рѣзца является сила тренія рѣз-

ца объ обрабатываемый предметъ и отдѣляемую стружку; работа силы тренія возрастаетъ со скоростью рѣзца; слѣдовательно, чтобы предохранить рѣзецъ отъ нагрѣванія, а главное—его лезвіе отъ быстрого затупленія, надо брать подлежащую скорость для перемѣщенія рѣзца. Нормальная скорость рѣзанія колеблется на практикѣ въ слѣдующихъ предѣлахъ:

Закаленный чугуны	35 m/m въ секунду	
Твердая сталь . .	50 m/m	„
Чугуны	75 m/m	„
Желѣзо	100 m/m	„
Мѣдные сплавы .	124 m/m	„ *)

Въ зависимости отъ условій работы рѣзца скорости эти измѣняются, напримѣръ: для фрезъ, гдѣ рѣзецъ не все время находится въ соприкосновеніи съ металломъ, а имѣетъ время для охлажденія, скорость рѣзанія берутъ гораздо больше вышеприведенной.

Приведу для полноты таблицу Rose**), которой можно пользоваться при выборѣ скоростей.

Диаметръ обтачиваемаго предмета.	Сталь.	Желѣзо	Чугуны.	Бронза.	Мѣдь.
25 m/m и менѣе	100	175	190	600	1750
отъ 25 m/m до 50 m/m	90	125	175	500	—
отъ 50 m/m до 75 m/m	„	„	„	„	„
50—100	„	„	150	400	„
50—125	„	„	„	„	1500
75—150	75	„	„	„	„
100—150	„	115	125	350	1100
125—300	„	„	—	—	1100
150—300	—	100	100	30	„
300—500	—	90	100	„	750

Тайлоръ на основаніи своихъ многочисленныхъ опытовъ для своихъ нормальныхъ рѣзцовъ изъ самозакаливашейся стали состава, ванадія 0,24⁰/₁₀₀, вольфрама 18,19⁰/₁₀₀, хрома 5,47⁰/₁₀₀, углерода 0,674⁰/₁₀₀, марганца 0,11⁰/₁₀₀ и кремнія 0,043⁰/₁₀₀, даетъ слѣдующія данныя для скоростей рѣзанія; при этомъ въ таблицахъ, сверху обозначенъ верхній наименьшій размѣръ рѣзца, а другой размѣръ рѣзца вертикальный въ 1—1½ раза больше перваго; рѣзецъ имѣетъ закругленную рѣжущую кромку.

*) См.—Механическая Технологія профессора Гатцука, стр. 34—35.

**) См.—Механическая Технологія Гавриленко, стр. 36 (Теорія рѣзанія).

Фиг. 9, 9 а, 9 b, Таб. IV изображаютъ форму нормальныхъ рѣзцовъ Тайлора для различныхъ случаевъ обработки; при этомъ фиг. 9 изображаетъ рѣзецъ для рѣзанія чугуна и твердой стали; фиг. 9 а— для рѣзанія стали мягкой и средней твердости. Если работа рѣзанія металла производится съ охлажденіемъ рѣзца, то ранѣе приведенныя скорости рѣзанія для простыхъ углеродистыхъ рѣзцовъ могутъ быть увеличены на 20⁰/₀ для стали и желѣза и на 10⁰/₀ для чугуна:

Нормальный рѣзецъ 1 1/4"					Нормальный рѣзецъ 1"				
Глубина рѣзанія въ m/m	Подача въ m/m	Скорость рѣзанія въ мет. минуту.			Глубина рѣзанія въ m/m	Подача въ m/m	Скорость рѣзанія въ мет. минуту.		
		Мягкая сталь.	Средняя сталь	Твердая сталь.			Мягкая сталь.	Средняя сталь.	Твердая сталь.
2,38	0,4	158	78,8	36	2,38	0,4	149	74,6	33,8
	0,79	112,5	55,8	25,3		0,79	103	51,5	23,4
	1,58	78,5	39,3	17,8		1,59	71,6	35,7	16,3
	2,38	63,7	32	14,5		2,39	57,6	28,8	13,1
3,18	0,4	137	68,5	31,1	3,18	0,4	130	65,2	29,6
	0,79	96,5	48,2	21,9		0,79	90	45,1	20,5
	1,59	68	34,2	15,4		1,59	62,5	31,1	14,2
	2,38	55,5	27,7	12,6		2,38	50,3	25,3	11,4
4,76	3,18	47,8	23,9	10,9	4,76	3,18	43,3	21,6	9,8
	0,40	113	56,4	25,6		0,4	109	54,6	24,8
	0,79	79,2	39,6	18		0,79	75,3	37,8	17,1
	1,59	55,7	27,9	12,7		1,59	52,1	26,1	11,8
6,35	2,38	45,4	22,7	10,3	6,35	2,38	42,1	21	9,5
	3,18	39,3	19,7	8,9		3,17	36	18	8,2
	4,76	113	16	7,3		4,76	29	14,5	6,6
	0,40	98	49,1	22,3		0,4	96	47,8	21,8
9,52	0,79	69,2	34,5	15,7	9,52	0,79	66,4	33,2	15,1
	1,59	48,5	24,3	11		1,59	45,7	22,9	10,4
	2,38	39,6	19,8	9		2,38	37,9	18,4	8,3
	3,18	34,2	17,1	7,8		3,18	31,7	15,8	7,7
12,7	4,79	27,8	13,9	6,3	12,7	0,4	80	40,2	18,2
	0,4	80,5	40,2	18,3		0,79	55,4	27,7	12,6
	0,79	56,7	28,4	12,9		1,59	38,4	19,2	8,7
	1,59	39,9	20	9,1		2,38	30,8	15,4	7
12,7	2,38	32,6	16,3	7,3	12,7	0,4	70,6	35,4	16,1
	3,18	28,1	14,1	6,3		0,79	49	24,5	11,2
	0,40	70,1	35,1	15,9		1,59	33,8	17	7,7
	0,79	49,4	24,7	11,2					
12,7	1,59	38,8	17,3	7,9					
	2,38	28,2	14,1	6,4					

Нормальный рѣзецъ $\frac{7}{8}$ "					Нормальный рѣзецъ $\frac{3}{4}$ "				
Глубина рѣзанія въ m m	Подача въ m m	Скорость рѣзанія въ мет. минуту.			Глубина рѣзанія въ m m	Подача въ m m	Скорость рѣзанія въ мет. минуту.		
		Мягкая сталь.	Средняя сталь.	Твердая сталь.			Мягкая сталь.	Средняя сталь.	Твердая сталь.
2,38	0,4	145	72,6	32,9	2,38	0,4	147	73,5	33,6
	0,79	99	49,4	22,5		0,79	98,6	49,2	22,4
	1,59	67,7	33,9	15,4		1,59	66,2	33	15,
	2,38	54	26,9	12,2		2,38	52,5	26,2	11,9
3,18	0,4	128	64,1	29,1	3,18	0,4	129	64,7	29,3
	0,79	87,3	43,7	19,8		0,79	86,5	43,3	19,7
	1,59	59,5	29,8	13,5		1,59	58	29	13,2
	2,38	47,6	23,7	10,8		2,38	46,1	23	10,4
4,76	0,4	107	53,7	24,4	4,76	0,4	109	54,6	24,8
	0,79	73,3	36,6	16,6		0,79	73,3	36,6	16,6
	1,59	50	25	11,4		1,59	49,1	24,5	11,2
	2,38	40	20	9,1		2,38	38,8	19,4	8,8
6,35	0,4	95,2	47,6	21,6	6,35	0,4	97,6	48,8	22,2
	0,79	65,	32,6	14,7		0,79	65,6	32,7	14,9
	1,59	44,3	22,1	10,1		1,59	43,9	21,9	10
	2,38	35,4	17,7	8,1					
9,52	0,4	80,6	40,3	18,3	9,52	0,4	84,1	42,1	19,1
	0,79	54,9	27,5	12,5		0,79	56,5	28,2	12,8
	1,59	37,2	18,6	8,5					
12,7	0,4	72,4	36	16,4					
	0,79	49,4	24,6	11,2					

Нормальный рѣзецъ $\frac{5}{8}$ "					Нормальный рѣзецъ $\frac{1}{2}$ "				
Глубина рѣзанія въ m m	Подача въ m m	Скорость рѣзанія въ мет. минуту.			Глубина рѣзанія въ m m	Подача въ m m	Скорость рѣзанія въ мет. минуту.		
		Мягкая сталь.	Средняя сталь.	Твердая сталь.			Мягкая сталь.	Средняя сталь.	Твердая сталь.
1,59	0,4	167	83,6	38,2	1,59	0,4	155	77,7	35,4
	0,79	109	54,6	24,9		0,79	98,1	49,1	22,3
	1,59	71,7	35,7	16,2		1,59	62	31,1	14,1
2,38	0,4	142	71,4	32,3	2,38	0,4	136	68	30,8
	0,79	93,4	46,7	21,2		0,79	85,6	43	19,5
	1,59	61,	30,5	13,9		1,59	54	27	12,2
	2,38	47,6	23,8	10,8		2,38	41,2	20,5	9,4
3,18	0,4	127	63,8	28,9	3,18	0,4	123	61,6	28
	0,79	83,3	41,5	18,9		0,79	77,7	39,1	17,6
	1,59	54,6	27,2	12,4		1,59	49,1	24,7	11,2
	2,38	42,7	21,3	9,7					

Нормальный рѣзецъ $\frac{3}{8}$ "				
Глубина рѣзанія въ m m	Подача въ m m	Скорость рѣзанія въ мет. минуту.		
		Мягкая сталь.	Средняя сталь.	Твердая сталь.
4,76	0,4	110	55,2	25
	0,79	72	36,	16,4
	1,59	47,3	23,6	10,7
6,35	0,4	100	50,	22,7
	0,79	65,6	32,6	14,9
14,52	0,4	87,2	43,7	19,8

Нормальный рѣзецъ $1\frac{1}{2}$ "				
Глубина рѣзанія въ m m	Подача въ m m	Скорость рѣзанія въ мет. минуту.		
		Мягкая сталь.	Средняя сталь.	Твердая сталь.
4,76	0,4	109	54,6	24,9
	0,79	69	34,5	15,7
6,35	0,4	101	50,4	7,6

Скорость рѣзанія при обработкѣ чугуновыхъ издѣлій.

Нормальный рѣзецъ $1\frac{1}{4}$ "				
Глубина рѣзанія въ m m	Подача въ m m	Скорость рѣзанія въ мет. минуту.		
		Мягкій чугунъ.	Средній чугунъ.	Твердый чугунъ.
2,38	0,4	73	36,5	21,3
	0,79	58,2	29	17
	1,59	43,3	21,6	12,6
	2,38	36	18	10,5
	3,18	31,4	15,7	9,2
	4,76	25,9	13	7,6
3,18	0,4	65,8	33	19,2
	0,79	52,5	26,3	15,3
	1,59	39,1	19,5	11,3
	2,38	32,6	16,3	9,5
	3,18	28,5	14,2	8,3
	4,76	23,4	11,7	6,8
4,76	0,4	57	28,5	16,7
	0,79	45,4	22,8	13,3
	1,59	33,8	16,9	10
	2,38	28,2	14,1	8,2
	3,18	22,3	11,1	6,5
	4,76	20,2	10,1	5,9
6,35	0,4	51,2	25,7	14,9
	0,79	40,8	20,5	11,9
	1,59	30,4	15,2	8,9
	2,38	25,4	12,7	7,4
	3,18	22,3	11,1	6,5
	4,76	18,2	9	5,3

Нормальный рѣзецъ 1"				
Глубина рѣзанія въ m m	Подача въ m m	Скорость рѣзанія въ мет. минуту.		
		Мягкій чугунъ.	Средній чугунъ.	Твердый чугунъ.
2,38	0,4	68,9	34,5	20,1
	0,79	54	26,9	15,7
	1,59	39,6	19,8	11,5
	2,38	32,6	16,3	9,5
	3,18	28,3	14,1	8,3
	4,76	23	11,5	6,7
3,18	0,4	62,5	31,1	18,2
	0,79	48,8	26	14,3
	1,59	36	17,9	10,5
	2,38	29,6	14,8	7,5
	3,18	25,6	12,8	7,1
	4,76	20,9	10,5	6,1
4,76	0,4	55,2	27,6	16,1
	0,79	43,3	21,6	12,6
	1,59	31,7	15,8	9,2
	2,38	26,2	13,1	7,6
	3,18	22,6	11,3	6,6
	4,76	18,5	9,2	5,4
6,35	0,4	50,3	25,1	14,7
	0,79	39,4	19,6	11,4
	1,59	24,8	14,4	8,4
	2,38	23,7	11,9	9,9
	3,18	20,6	10,3	6
	4,76	16,8	8,4	4,9

Нормальный рѣзецъ 1 1/4"				
Глубина рѣзанія въ m/m	Подача въ m/m	Скорость рѣзанія въ мет. минуту.		
		Мягкій чугунъ.	Средній чугунъ.	Твердый чугунъ.
9,52	0,4	43,8	21,9	12,8
	0,79	35,1	17,5	10,2
	1,59	25,9	13	7,6
	2,38	22,6	10,8	6,3
	3,18	18,9	9,5	5,5
	4,76	15,5	7,8	4,5
12,7	0,4	40	17	11,7
	0,79	32	16	9,3
	1,59	23,6	11,8	6,9
	2,38	19,7	9,9	5,8
	3,18	17,3	8,6	5
	4,76	14,2	7,1	4,1
19,05	0,4	34,2	17,1	10
	0,79	27,2	13,6	7,9
	1,59	20,2	10,1	5,9
	2,38	16,8	8,4	4,9
	3,18	14,7	7,4	4,3
	4,76	12,1	6	3,5

Нормальный рѣзецъ 1"				
Глубина рѣзанія въ m/m	Подача въ m/m	Скорость рѣзанія въ мет. минуту.		
		Мягкій чугунъ.	Средній чугунъ.	Твердый чугунъ.
9,52	0,4	43,6	21,8	12,8
	0,79	34,2	17,1	9,9
	1,59	25	12,5	7,3
	2,38	20,6	10,3	6
	3,18	17,9	8,9	5,2
	4,76	17,5	8,8	5,1
12,7	0,4	40,3	20,2	11,8
	0,79	31,7	15,7	9,2
	1,59	21,1	11,6	6,7
	2,38	19,1	9,5	5,6
	3,18	16,5	8,3	4,8
	4,76	13,5	6,7	3,9

Нормальный рѣзецъ 1/8"				
2,38	0,4	67,6	33,9	19,6
	0,79	51,6	25,7	15,1
	1,59	37,2	18,2	10,9
	2,38	30,4	15,2	8,9
	3,18	26,3	13,2	7,7
	4,76	21,4	10,7	6,3
3,18	0,4	61,6	30,8	18
	0,79	47,6	23,7	13,8
	1,59	34,2	17,1	10
	2,38	28	14	8,2
	3,18	24,2	12,1	7,1
	4,76	15,6	9,8	5,7
4,76	0,4	54,3	27,1	15,9
	0,79	41,8	20,9	12,2
	1,59	30,3	15,2	8,8
	2,38	24,7	12,3	7,2
	3,18	21,4	10,7	6,2
	4,76	17,3	8,7	5,1
6,35	0,4	49,7	24,8	14,5
	0,79	38,4	19,2	11,2
	1,59	27,7	13,8	8,1
	2,38	22,6	11,3	6,6
	3,18	19,6	9,8	5,7
	4,76	15,9	7,9	4,6

Нормальный рѣзецъ 1/4"				
2,38	0,4	67,6	33,9	19,8
	0,79	51,6	25,7	15
	1,59	36,6	18,2	10,6
	2,38	29,6	14,8	8,6
	3,18	25,4	12,7	7,4
	4,76	20,2	10,1	5,9
3,18	0,4	61,9	31,1	18,1
	0,79	47,6	23,8	13,9
	1,59	33,5	16,8	9,8
	2,38	27,1	13,5	7,9
	3,18	23,2	11,9	6,8
	4,76	18,6	9,3	5,4
4,76	0,4	55,2	27,6	16,1
	0,79	41,7	20,9	12,2
	1,59	29,8	14,9	8,7
	2,38	23,8	11,8	7
	3,18	20,6	10,3	6
	4,76	16,5	8,3	4,8
6,35	0,4	50,9	25,5	14,9
	0,79	38,4	19,3	11,2
	1,59	27,7	13,8	8
	2,38	22,2	11,1	6,5
	3,18	19,1	9,5	5,6

Нормальный рѣзецъ $\frac{7}{8}$ "				
Глубина рѣзанія въ m/m	подача въ m/m	Скорость рѣзанія въ мет. минуту.		
		Мягкій чугунъ.	Средній чугунъ.	Твердый чугунъ.
9,52	0,4	43,9	21,9	12,8
	0,79	33,8	16,9	9,8
	1,59	24,4	12,2	7,1
	2,38	19,9	9,9	5,8
	3,18	17,2	8,6	5
	4,76	14	7	4,1
12,7	0,4	41,2	20,6	12
	0,79	31,7	15,9	9,3
	1,59	22,9	11,5	6,7
	2,38	18,7	9,4	5,5
	3,18	13,1	6,6	3,8

Нормальный рѣзецъ $\frac{3}{4}$ "				
Глубина рѣзанія въ m/m	подача въ m/m	Скорость рѣзанія въ мет. минуту.		
		Мягкій чугунъ.	Средній чугунъ.	Твердый чугунъ.
9,52	0,4	45,7	22,9	13,4
	0,79	34,5	17,3	10,1
	1,59	24,7	12,3	7,2
	2,38	20	10	5,8

Нормальный рѣзецъ $\frac{5}{8}$ "				
2,38.	0,4	65,8	32,9	19,2
	0,79	48,8	24,4	14,2
	1,59	33,6	16,8	9,8
	2,38	26,9	13,5	7,9
	3,18	23	11,5	6,7
3,18	0,4	61	30,5	17,9
	0,79	45,1	22,6	13,2
	1,59	31,7	15,8	9,2
	2,38	25,2	12,6	7,3
	3,18	21,2	10,6	6,2
4,76	0,4	55,8	27,9	20,7
	0,79	41,2	20,9	12
	1,59	28,7	14,3	8,4
	2,38	23	11,5	6,7
	3,18	19,6	9,8	5,7
6,35	0,4	52,1	26,1	15,3
	0,79	38,4	19,3	11,2
	1,59	26,8	13,4	7,8
	2,38	21,5	10,7	6,3
9,52	0,4	47,6	23,7	13,8
	0,79	35,4	17,6	10,3
	1,59	24,3	12,2	7,1

Нормальный рѣзецъ $\frac{1}{2}$ "				
2,38	0,4	62,8	31,4	18,3
	0,79	44,8	22,4	13,1
	1,59	29,7	14,9	8,7
	2,38	23,2	11,6	6,8
	3,18	19,5	9,8	5,7
3,18	0,4	52	29,6	17,3
	0,79	42,1	21,1	12,3
	1,59	28,4	14,2	8,3
	2,38	22	11	6,5
	3,18	12,7	6,4	3,7
4,76	0,4	55,5	27,7	16,2
	0,79	39	19,5	11,5
	1,59	26,2	13,1	7,7
	2,38	20,6	10,3	6
6,35	0,4	52,7	26,3	15,4
	0,79	37,2	18,6	10,9
	1,59	25	12,5	7,3

Вліяніе размѣровъ стружки.

Большинство изслѣдователей, занимавшихся опредѣленіемъ сопротивленія рѣзанію, принимало, что усиліе пропорціонально ширинѣ стружки. Въ 1908 г. Н. Н. Савинъ *) своими опытными изслѣдованіями въ лабораторіи С. Петербургскаго Политехникума подтвердилъ послѣднее предположеніе.

Что касается вліянія толщины стружки на коэффициентъ рѣзанія, то по изслѣдованіямъ разныхъ наблюдателей эта зависимость выражается различно.

По Ioessel'ю	усиліе пропорціонально L^2 и L (L толщина стружки),
„ Time „ „	L и L^k , гдѣ $k > 1$, но значительно < 2 ,
„ Hartig'y „ „	L^x , гдѣ $x < 1$
„ Hassner'y „ „	L^x , гдѣ $x \geq 1$,
„ Зворыкину „ „	$L^{\frac{2}{3}}$, при чемъ для хрупкихъ металловъ показатель x имѣетъ тенденцію увеличиваться до $\frac{3}{4}$, а для пластичныхъ уменьшается до $\frac{1}{2}$.
„ Taylor'y „ „	$L^{\frac{3}{4}}$ для чугуна, $L^{\frac{14}{15}}$ для стали.

Саввинъ нашелъ, что

- 1) стружки подчиняются закону подобія,
- 2) давленіе на рѣзецъ пропорціонально ширинѣ стружки и толщинѣ ея, а слѣдовательно и площади сѣченія стружки.

Для выясненія вышеупомянутой зависимости между коэффициентомъ рѣзанія и толщиной стружки въ 1909 году въ механическихъ мастерскихъ Томскаго Технологическаго Института подъ моимъ наблюденіемъ студентами Михаиломъ Тауберомъ и Петромъ Тюленевымъ были произведены опытные изслѣдованія на строгальномъ станкѣ завода Chemnitzer Maschinenfabrik, при чемъ для измѣренія давленій на рѣзецъ употреблялся особый динамометръ нижеописываемаго устройства.

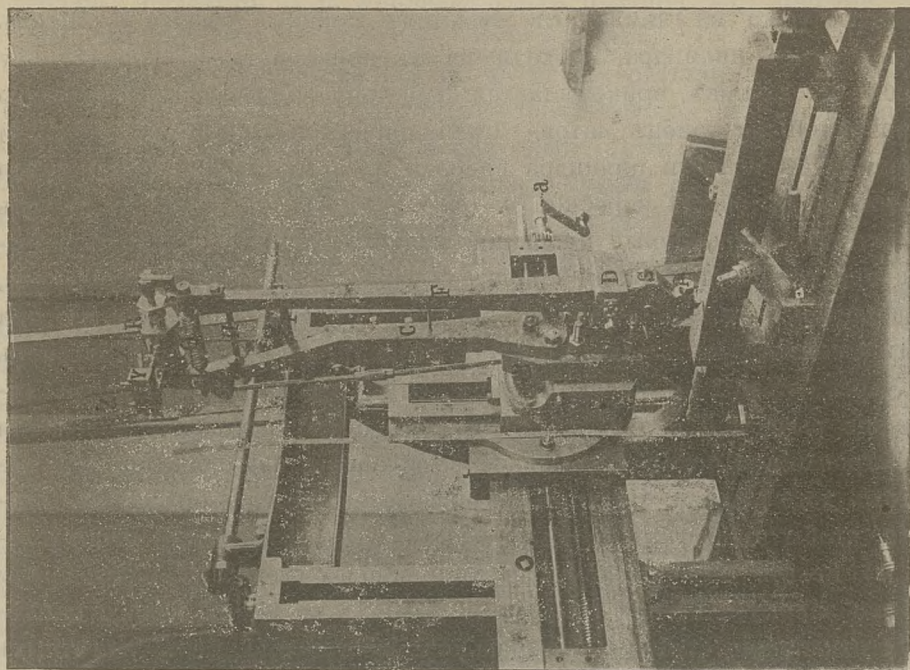
*) Н. Савинъ, «О сопротивленіи рѣзанію металловъ».

Къ суппорту строгального станка (фотографіи 2 и 3) привертывается четырьмя болтами подушка *B*, къ которой въ свою очередь неподвижно и тоже болтами прикрѣплены рычагъ *C* и брусъ *D*. Въ послѣднемъ имѣются соотвѣтствующіе прорѣзы для пропуска рычага *F* и помѣщенія шаровыхъ подшипниковъ *E*. Помощью этихъ подшипниковъ рычагъ *F* съ очень незначительнымъ треніемъ вращается около оси *EE'*. Болѣе детально устройство этой части динамометра показано на помѣщенной фиг. 9с. таб. IV. Подвижной рычагъ *F* при своемъ отклоненіи отъ своего первоначальнаго положенія удерживается на известномъ разстояніи отъ неподвижнаго рычага *C* пружиной *G*, закрѣпленной между верхними концами упомянутыхъ рычаговъ. Въ нижней части рычага *F* имѣется коробкообразное уширеніе *S*, въ которое вставляется оправка *P*, служащая для закрѣпленія рѣзца. Оправка *P* свободно надѣта на шпильку *O*, вставленный въ щелку коробки *S*; вслѣдствіе чего при холостомъ ходѣ рѣзецъ съ оправкой нѣсколько откидывается отъ обрабатываемаго предмета и свободно скользитъ по его поверхности. Въ рабочее положеніе оправка и рѣзецъ приводятся собственнымъ вѣсомъ и натяженіемъ пружинки *T*.

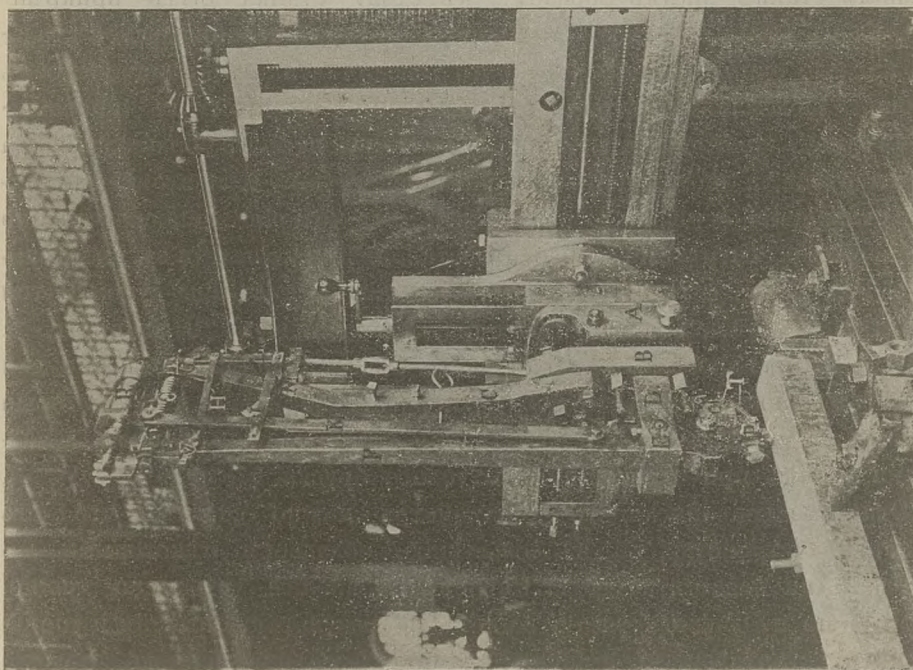
Очевидно, что при строганіи сила сопротивленія матеріала рѣзанію будетъ оказывать давленіе на рѣзецъ и тѣмъ вызоветъ отклоненіе рычага *F* отъ первоначальнаго его положенія и дастъ растяженіе пружины. Эти отклоненія рычага *F* и растяженія пружины *G* будутъ пропорціональны давленіямъ на рѣзецъ, а потому и могутъ служить для непосредственнаго ихъ измѣренія. Съ этою цѣлью на неподвижномъ рычагѣ *C* имѣется стрѣлка *L*, свободно вращающаяся около своей оси. Стрѣлка *L* шарнирно соединяется съ тягой *H*, могущей вращаться около шурупа *V*, ввернутаго въ подвижной рычагъ *F*. Такимъ образомъ стрѣлка *L* отклоняется одновременно съ рычагомъ *F*, при чемъ нижній конецъ ея указываетъ соотвѣтственные этимъ отклоненіямъ давленія на рѣзецъ, нанесенныя на дугѣ *M*, которая, въ свою очередь, прикрѣплена неподвижно на рычагѣ *C*.

Введеніе рычаговъ *I* и *K*, видныхъ на прилагаемыхъ фотографіяхъ 2, 3, было обусловлено желаніемъ примѣнить особый приборъ для снятія діаграммъ измѣненія давленія на рѣзецъ въ зависимости отъ его хода, но такъ какъ эти усилія при снятіи стружки одной и той же толщины почти не мѣнялись за время каждаго наблюденія, то и не явилось надобности примѣнять этотъ приборъ.

Для уравниванія движущихся массъ динамометра былъ введенъ между верхними концами рычаговъ *F* и *C* масляный буферъ *R*, видный на прилагаемыхъ фотографіяхъ 2 и 3 и показанный схематически въ разрѣзѣ на фиг. 10, табл. IV. Это желѣзный точеный



Фотогр. 3.



Фотогр. 2.

цилиндръ съ плотно пригнаннымъ поршнемъ, соединенный шарнирно помощью ушка на днищѣ съ верхнимъ концомъ рычага *C*. Штокъ поршня этого цилиндра, проходя черезъ привернутые къ послѣднему крышку и сальникъ, прикрѣпляется шарнирно съ рычагомъ *F* помощью навинченной на конецъ штока цилиндрической гайки съ особыми ушками. Обѣ полости цилиндра впереди и сзади поршня соединяются кранами *X* съ общей коробкой *y* (см. фот. 3), въ которую черезъ отверстія *Z*, закрываемыя пробками, наливается масло. Такимъ образомъ при строганіи верхній конецъ рычага *F*, разтягивая пружину, отклоняется и тянетъ за собою поршень буфера. Поршень же при этомъ сжимаетъ масло, находящееся передъ нимъ, и выдавливаетъ его черезъ краны въ общую коробку. Этимъ достигается плавное отклоненіе рычага *F* и стрѣлки *C* отъ ихъ первоначальнаго положенія при строганіи и такое же плавное возвращеніе ихъ обратно при холостомъ ходѣ станка. Во время производства опыта обращалось вниманіе, чтобы въ буферѣ не было воздуха. При соблюденіи этого условія 1) нельзя было оттянуть верхній конецъ рычага *F*, когда краны *X* были закрыты; 2) при открытыхъ кранахъ во время самого наблюденія отклоненіе стрѣлки совершалось постепенно безъ замѣтныхъ дрожаній и толчковъ.

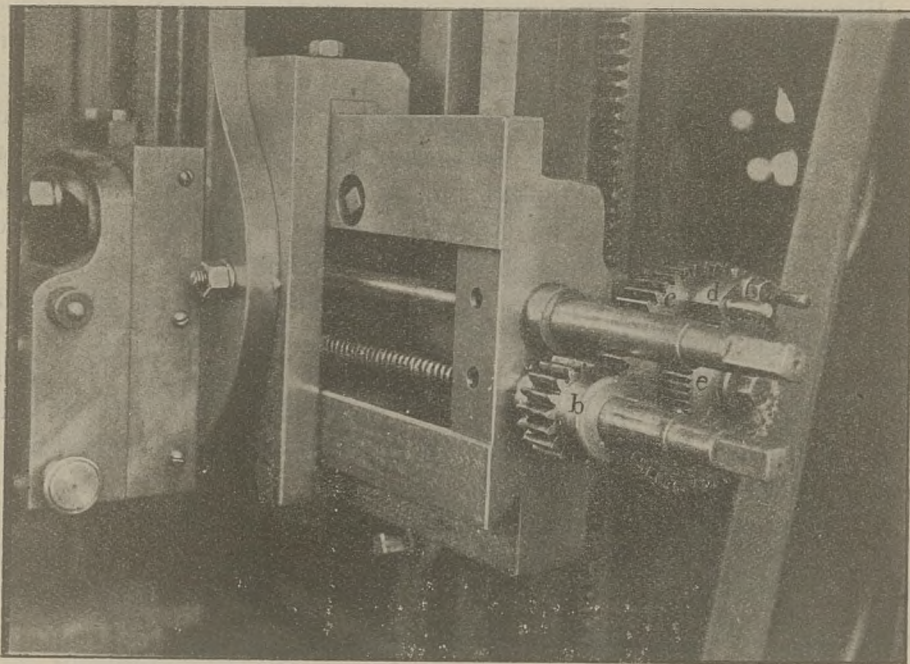
Градуйрованіе прибора производилось послѣ установки его на строгальномъ станкѣ такимъ образомъ: къ столу станка былъ прикрѣпленъ блокъ (черт. 11, табл. IV), черезъ который перекидывался стальной канатъ, одинъ конецъ котораго соединялся съ динамометромъ помощью желѣзной пластинки съ вырѣзами, надѣтой на призматическій кусокъ желѣза (черт. 12, таб. IV) и вставленной въ оправку прибора вмѣсто рѣзца, а на другой—навѣшивались грузы. При этомъ замѣчалось отклоненіе стрѣлки *L* по дугѣ *M*, на которой непосредственно и наносились соотвѣтствующіе этимъ отклоненіямъ дѣленія въ килограммахъ. Разстояніе *a* (чер. 12) между серединой толщины упомянутой пластинки и нижней плоскостью оправки равнялось 20 м/м, т. е. длинѣ выступающей изъ оправки части рѣзца. Это было сдѣлано для того, чтобы по возможности соблюсти равенство плечъ, на которыя дѣйствуютъ силы натяженія каната при градуированіи и сила давленія на рѣзецъ при строганіи испытуемаго бруска.

Относительно описаннаго динамометра можно сказать, что онъ простъ по устройству, но, къ сожалѣнію, обладаетъ нѣкоторыми существенными недостатками: 1) въ немъ не вполне устранено треніе, которое, не поддаваясь учету, вліяетъ на результатъ опытовъ и уменьшаетъ чувствительность прибора; 2) вмѣстѣ съ измѣненіемъ положенія рычага *F* мѣняется также положеніе рѣзца относительно обстро-

гиваемаго предмета, т. е. мѣняется уголъ рѣзанія, что, конечно, тоже должно сказываться въ конечныхъ результатахъ.

Исслѣдованія производились съ двумя матеріалами: чугуномъ и литымъ желѣзомъ. Изъ чугуна была отлита толстая квадратная плита съ размѣрами 618×618 м/м, а для опыта съ желѣзомъ былъ взятъ брусокъ трехъ дюймового квадратнаго сѣченія длиною въ 618 м/м. Въ обоихъ случаяхъ предварительно былъ снятъ поверхностный слой.

Рѣзцы показанной на черт. 13, табл. IX формы были приготовлены изъ стали Rapid. Лезвіе ихъ держалось очень хорошо и всего лишь одинъ разъ за все время опытовъ потребовало незначительной поправки. Для чугуна рѣзецъ обладалъ угломъ рѣзанія въ 55° , заднимъ угломъ наклона въ 6° , при чемъ рѣзущая кромка, будучи перпендикулярна къ направленію движенія рѣзца, составляла съ горизонталью уголъ въ 25° . Соответственные углы рѣзца для строганія желѣза составляли 50° , 7° и 30° . Опыты съ чугуномъ и желѣзомъ велись при неизмѣняющейся скорости рѣзанія, которая вычислялась такимъ образомъ: длина обстрагиваемаго бруска равнялась 618 м/м и это разстояніе рѣзецъ всегда проходилъ въ 4 секунды, слѣдовательно— скорость хода въ 1 секунду $= \frac{0,618}{4} = 0,1545$ метр.



Фотогр. 4.

Расчетъ подачи за одинъ ходъ рѣзца основывался на слѣдующемъ: ходовой винтъ *a* (фотогр. 4), служащій для передвиженія суппорта по

горизонтальному направлѣнію, перпендикулярному длинѣ станка, имѣеть на 25 m/m длины 4 витка,

зубчатое колесо	<i>b</i>	имѣеть	18	зубцовъ,
"	"	<i>c</i>	"	50
"	"	<i>e</i>	"	50

Слѣдовательно—при полномъ оборотѣ колеса *b* суппортъ подвигается поперекъ стола на $\frac{25}{4}=6,25$ m/m, и въ это время зубчатка *c* совершаетъ $\frac{18}{50}$ своего полного оборота. При поворотѣ на одинъ свой зубецъ колесо *c* дѣлаетъ, очевидно, лишь $\frac{1}{50}$ своего полного оборота, въ то же время колесо *b*, а вмѣстѣ съ нимъ и ходовой винтъ *a* повернутся на $\frac{1}{18}$ всей окружности, а поэтому суппортъ съ рѣзцовъ передвигается въ сторону на $\frac{6,25}{18}=0,347 \approx 0,35$ m/m отъ прежняго положенія. Очевидно, что при поворотѣ колеса *c* на 2 зубца и подача увеличится вдвое, т. е. будетъ $=\frac{6,25}{9}=0,694 \approx 0,7$ m/m. При опытахъ съ желѣзомъ примѣнялась только одна подача въ 0,35 m/m, а при испытаніи съ чугуномъ одни наблюденія велись съ подачей въ 0,35, а другія съ 0,7 m/m.

Ширина стружки, снимаемая за время каждого опыта до обстрогиванія, измѣрялась непосредственно на поверхности изслѣдуемаго металла, а затѣмъ довольно точно рассчитывалась по подачѣ и числу ходовъ, сдѣланныхъ за это время рѣзцомъ. Это число ходовъ рѣзца за все время снятія стружки извѣстной ширины отмѣчалось числомъ зубцовъ колеса *e*, мимо которыхъ при этомъ прошла защелка *d*. Умноженіемъ послѣдняго числа на вышеупомянутую подачу и опредѣлялась вся ширина стружки, снятая за одно наблюденіе.

Измѣреніе толщины стружки во время самихъ опытовъ производилось помощью простого ресмуса и рейки съ нанесенными на ней дѣленіями въ миллиметрахъ и устанавливаемой отвѣсно на платформѣ строгальнаго станка. Помощью этихъ приборовъ опредѣлялись высоты повышенія обстрогиваемой поверхности надъ плоскостью платформы до и послѣ каждого опыта.

Разность отчетовъ и давала толщину снимаемой стружки.

Болѣе точная величина толщины стружки, принятая при построении ниже помѣщенныхъ діаграммъ, рассчитывалась по вѣсу металла, собраннаго во время каждого наблюденія.

Для производства каждого опыта поверхность испытываемаго бруска сравнивалась, на ней отмѣчалась ширина стружки, которую предполагалось сострогать, и измѣрялось упомянутымъ способомъ превышеніе

этой поверхности надъ платформой станка. Эта послѣдняя устанавливалась въ положеніе, соотвѣтствующее началу снятія стружки. Въ то же положеніе приводился и суппортъ съ рѣзцомъ посредствомъ винта *a* (фотогр. 2, 3). Затѣмъ опускался рѣзецъ суппортнымъ рѣзцомъ ниже обстрагиваемой поверхности на величину приблизительно равную толщинѣ той стружки, которую предположено было снять. При этомъ защелка *d* ставилась въ рабочее положеніе, и зубцы шестерни *e*, между которыми она въ этотъ моментъ стала, замѣчались мѣломъ. Послѣ всего этого станокъ пускался въ ходъ перекидываніемъ ремня съ холостого шкива на рабочій, снималась стружка намѣченной ширины и замѣчались показанія динамометра. Какъ только рѣзецъ доходилъ до нанесенной на металлѣ черты, станокъ останавливался, при чемъ всегда эту остановку производили во время холостого хода рѣзца такъ, чтобы рѣзецъ по остановкѣ находился внѣ испытываемаго бруска. Остановивъ станокъ, замѣчали, гдѣ тогда была защелка *d* и сколько зубцовъ по шестернѣ *e* она прошла съ момента начала опыта. Это число, какъ было ранѣе указано, опредѣляло собой число ходовъ рѣзца и служило для точнаго расчета ширины снятой стружки. Наконецъ опредѣлялась высота превышенія остроганной поверстности надъ платформой стола, и взвѣшивалась снятая во время опыта стружка.

Всѣ наблюденныя и измѣренныя величины записывались въ особую таблицы, помѣщенныя здѣсь въ концѣ. Незаполненныя во время самаго наблюденія графы этихъ таблицъ заполнялись послѣ результатами соотвѣтствующихъ расчетовъ.

Всѣ наблюденія были раздѣлены на группы.

Результатомъ каждой группы опытовъ было составленіе діаграммъ, представляющихъ зависимость между полнымъ давленіемъ на рѣзецъ и толщиной стружки. При вычерчиваніи этихъ діаграммъ по оси абсциссъ откладывались различныя толщины стружекъ, а по оси ординатъ соотвѣтствующія имъ давленія. Сопоставляя кривыя, относящіяся къ одному и тому же матеріалу и одной и той же подачѣ, и вычисляя по ихъ ординатамъ для различной толщины стружки (черезъ каждую 0,1 мм) среднія ординаты, вычерчиваемъ по послѣднимъ кривую, дающую среднюю зависимость между наблюдаемыми переменными. Эти то послѣднія кривыя и принимались за выражающія истинную зависимость измѣненія давленія на рѣзецъ въ связи съ переменной толщины стружки.

Результаты опытовъ строганія чугуна съ подачей въ 0,35 м/м. рѣзцомъ, имѣющимъ уголъ рѣзанія въ 55° и уголъ наклона въ 6°.

№ опыта.	Непосредственное измерение толшины.		Определение толшины стругки по вѣсу. *)				Определение толшины стругки по вѣсу.		Непосредственное измерение толшины.		Определение толшины стругки по вѣсу.							
	Усиліе по динамометру.	До опыта	Послѣ опыта.	Приближенная толшина.	Число холодовъ рѣза.	Вѣсъ стругки. ки.	Измѣренная толщина. на по по-лащѣ.	Вѣсъ стругки. ки.	Измѣренная толщина. на по по-лащѣ.	Послѣ опыта	Приближенная толшина.	Число холодовъ рѣза.	Вѣсъ стругки.	Измѣренная толщина. на по по-лащѣ.	Точная толшина.			
																Отчеты по рейкѣ.	Послѣ опыта	До опыта
1	30	101,7	101,1	0,6	57	49,5	20	19,95	0,6	19	110	107,0	105,3	1,7	60	142,9	21,0	1,64
2	30	101,7	101,1	0,6	57	45,8	20	19,95	0,56	20	114	107,0	105,2	1,8	57	144,2	19,95	1,75
3	45	105,6	104,8	0,8	57	71,8	20	19,95	0,87	21	92	105,2	103,9	1,3	56	106,4	19,60	1,31
4	45	105,6	104,8	0,8	58	72,8	20	20,30	0,85	22	88	105,2	103,9	1,3	57	107,6	19,95	1,30
5	60	107,0	105,8	1,2	58	102,0	20	20,30	1,22	23	146	107,0	104,8	2,2	56	161,0	19,60	2,02
6	60	107,0	105,8	1,2	58	99,3	20	20,30	1,18	24	140	107,0	104,8	2,2	57	170,5	19,95	2,07
7	70	104,8	103,4	1,4	58	118,8	20	20,30	1,40	25	32	103,8	103,5	0,3	50	—	17,50	—
8	72	104,8	103,4	1,4	57	110,0	20	19,95	1,33	26	36	104,0	103,5	0,5	51	—	17,85	—
9	94	105,6	104,0	1,6	58	156,8	20	20,30	1,85	27	172	103,5	101,4	2,1	55	—	19,25	—
10	96	105,6	104,0	1,6	56	153,4	20	19,60	1,87	28	168	103,5	101,4	2,1	57	386,5	19,25	2,38
11	146	106,9	104,0	2,9	57	247,0	20	19,95	2,95	29	32 ³⁰	104,0	103,7	0,3	55	65,7	19,25	0,41
12	150	106,9	104,0	2,9	58	243,0	20	20,30	2,89	30	281	104,0	103,7	0,3	55	—	19,25	0,41
13	110	105,0	102,8	2,2	57	184,4	20	19,25	2,23	31	58	105,3	104,2	1,1	29	45,5	10,15	1,08
14	115	105,0	102,8	2,2	55	180,3	20	19,95	2,26	32	122	104,2	102,0	2,2	29	93,6	10,15	2,23
15	68	102,6	101,9	0,7	57	78,2	20	19,95	0,95	33	103	104,2	102,2	2,0	30	84,5	10,15	1,95
16	68	102,6	101,9	0,7	58	76,63	19	18,55	1,01	34	78	104,2	102,9	1,3	26	54,2	9,10	1,44
17	48	101,9	101,3	0,6	57	50,1	20	19,95	0,60	35	44	100,5	99,9	0,6	28	25,7	10	0,63
18	48	101,9	101,3	0,6	52	45,6	19	18,20	0,60	36	128	99,4	97,2	2,2	28	94,5	9,8	2,33

*) При определении толщины стружки по вѣсу было принято: удѣльный вѣсъ чугуна 6,7 и длина испытываемаго бруска 618 мм.

ТАБЛИЦА II.

Результаты опыты въ строганія чугуна съ подачей въ 0,7 м/м. рѣзцомъ, имѣющимъ уголъ рѣзанія въ 55° и уголъ наклона въ 6° .

ТАБЛИЦА III.

Результаты опытовъ строганія желѣза съ подачей въ 0,35 м/м рѣзцомъ, имѣющимъ уголъ рѣзанія въ 50° и уголъ наклона въ 7°.

Непосредственное измѣреніе толщины.		Опредѣленіе толщины стружки по вѣсу. *)				Опредѣленіе толщины стружки по вѣсу.											
№ опыта.	Усиліе по динамометру.	Отчеты по рейкѣ.		Приближенная толщина.	Число холдовъ рѣза.	Вѣсъ стружки-ки.	Измѣрен-ная непо-средствен.	Вычислен-ная по по-дачѣ.	Точная тол-щина.								
		До опыта.	Послѣ опыта.														
1 142	141	103,8	102,3	1,5	33	Стружку не взвѣшивали	11	11,55	—	21	29	118,6	118,3	0,3	138	9,45	0,30
2 140	141	103,8	102,3	1,5	33		—	—	—	22	123	116,8	115,7	1,1	48,92	8,75	1,16
3 122	122	103,8	102,5	1,3	29		9,15	9	9,15	23	150	117,6	116,1	1,5	25	63,4	1,50
4 92	92	103,8	102,8	1,0	29		9,15	9	9,15	24	106	118,3	117,3	1,0	28	46,81	1,0
5 82	82	103,8	103,0	0,8	29		9,15	9	9,15	25	84	118,3	117,5	0,8	22	27,75	0,75
6 200	190	101,4	99,4	2,0	21		7,35	8	7,35	26	78	118,3	117,7	0,6	21	25,13	0,70
7 180	180	102,2	100,2	2,0	24		8,30	8	8,30	27	50	116,1	115,7	0,4	22	17,78	0,48
8 150	150	102,2	100,7	1,5	29		9,15	9	9,15	28	78	116,5	115,9	0,6	16	20,34	0,74
9 138	138	102,2	100,9	1,3	22		7,70	8	7,70	29	140	117,2	116,0	1,2	21	46,59	1,30
10 150	150	102,6	101,1	1,5	28		9,80	10	9,80	30	156	117,5	116,0	1,5	26	66,5	1,51
11 124	124	102,6	101,4	1,2	28	9,80	10	9,80	31	225	115,3	113,1	2,2	16	58,75	2,18	
12 50	50	100,7	100,3	0,4	25	8,75	9	8,75	32	195	115,3	113,3	2,0	20	63,0	1,87	
13 64	64	100,9	100,3	0,6	18	6,30	7	6,30	33	170	115,3	113,7	1,6	24	66,67	1,65	
14 88	88	101,2	100,3	0,9	22	7,70	7	7,70	34	160	115,3	113,8	1,5	24	61,41	1,52	
15 199	199	118,9	117,0	1,9	19	6,65	7	6,65	35	150	117,7	116,3	1,4	14	33,83	1,43	
16 140	140	119,4	117,9	1,5	27	9,45	10	9,45	36	156	112,8	111,5	1,4	12	29,0	1,43	
17 120	120	119,4	118,2	1,2	27	56,04	10	9,45	37	112	112,8	111,8	1,0	21	38,5	1,08	
18 104	104	119,4	118,5	0,9	28	46,34	10	9,8	38	88	113,0	112,1	0,9	24	35,5	0,99	
19 78	78	119,4	118,8	0,6	26	36,84	10	9,1	39	78	113,0	112,2	0,8	18	23,2	0,77	
20 58	58	119,4	118,9	0,5	18	8,72	6	6,3	40	46	113,5	113,0	0,5	26	20,8	0,47	

*) При опредѣленіи толщины стружки по вѣсу было принято: удѣльный вѣсъ желѣза 7,8 и длина испытываемого бруска 618 мм.

ТАБЛИЦА IV

для вычисленія ординатъ кривой f (диаграммы А, табл. IV) искомой зависимости между давленіемъ на рѣзецъ и толщиной стружки при строганіи чугуна съ подачей въ 0,35 м/м.

Толщина стружки м/м	Давленія на рѣзецъ, взятые изъ диаграммъ А, какъ ординаты кривыхъ.					Общая сумма давленій для од- ной толщины.	Число слагаемыхъ	Среднее давленіе на рѣзецъ-орди- ната иском. кривой.	Площадь попереч- наго сѣченія стружки.	Коэффициентъ рѣ- занія (давленіе на 1 кв. м/м въ кг/г)
	a	b	c	d	e					
0,3	13	17	23	32	—	85	4	21,25	0,105	200
0,4	19	22	29	37	—	107	4	26,75	0,140	191
0,5	24	27	36	43	—	130	4	32,5	0,175	186
0,6	30	32	42	48	—	152	4	38,0	0,210	181
0,7	35	37	48	54	46	220	5	44,0	0,245	179
0,8	41	42	54	59	49	245	5	49,0	0,280	175
0,9	46	47	61	65	52	271	5	54,2	0,315	172
1,0	50	52	67	71	56	296	5	59,2	0,350	169
1,1	55	56	74	78	59	322	5	64,4	0,385	167
1,2	59	62	81	85	65	352	5	70,4	0,420	168
1,3	64	69	88	91	70	382	5	76,4	0,455	168
1,4	70	75	93	97	76	411	5	82,2	0,490	168
1,5	75	79	99	103	81	437	5	87,4	0,525	166
1,6	80	84	105	108	87	464	5	92,8	0,560	166
1,7	86	88	111	116	92	493	5	98,6	0,595	166
1,8	91	93	118	125	98	525	5	105,0	0,630	167
1,9	96	98	126	134	103	557	5	111,4	0,665	167
2,0	100	102	134	144	109	589	5	117,8	0,700	168
2,1	105	107	143	152	115	622	5	124,4	0,735	169
2,2	109	112	152	159	120	652	5	130,4	0,770	170
2,3	114	117	161	166	126	684	5	136,8	0,805	170
2,4	119	123	170	173	132	717	5	143,4	0,840	171

ТАБЛИЦА V

для вычисленія ординатъ кривой m (диаграмма В) искомой зависимости между давленіемъ на рѣзецъ и толщиной стружки при строганіи чугуна съ подачей въ 0,7 м/м.

Толщина стружки м/м	Давленія на рѣзецъ, взятые изъ диаграммы В какъ ординаты кривыхъ.					Общая сумма этихъ давленій для одной толщи- ны.	Число слагаемыхъ	Среднее давленіе на рѣзецъ-орди- ната искомой кривой	Площадь попереч- наго сѣченія стружки.	Коэффициентъ рѣ- занія давленія на 1 кв. м/м въ кг/г
	g	h	i	k	l					
0,3	—	30	36	49	61	176	4	44	0,21	209,5
0,4	—	37	43	57	68	205	4	51,25	0,23	183
0,5	—	43	51	64	76	234	4	58,5	0,35	167,1
0,6	—	50	62	73	86	271	4	67,75	0,42	161,3
0,7	—	57	73	90	95	315	4	78,75	0,49	160,7
0,8	—	64	83	98	105	350	4	87,5	0,56	156,25

Толщина стружки m/m.	Давленія на рѣзецъ, взятыя изъ диаграммы В какъ ординаты кривыхъ.					Общая сумма этихъ давленій для одной тол- щины.	Число слагаемыхъ	Среднее давленіе на рѣзецъ—орди- ната искомо. кривой	Площадь попереч- сѣченія стружки.	Коэффициентъ рѣ- занія давленія на 1 кв. m/m. въ kgr.
	<i>g</i>	<i>h</i>	<i>i</i>	<i>k</i>	<i>l</i>					
0,9	—	71	94	104	112	381	4	95,25	0,63	152,8
1,0	—	87	104	108	117	416	4	104	0,70	148,6
1,1	—	104	113	117	122	456	4	114	0,77	148
1,2	94	113	122	125	130	584	5	116,8	0,84	139
1,3	103	123	130	132	138	626	5	105,2	0,91	115
1,4	111	133	135	139	146	624	5	132,4	0,98	135
1,5	114	142	140	146	154	696	5	139,2	1,05	132,6
1,6	118	158	145	153	162	736	5	147,2	1,12	131,4
1,7	127	165	150	159	170	771	5	154,25	1,19	129,6
1,8	137	166	154	166	180	803	5	160,6	1,26	126,7
1,9	145	167	158	173	191	834	5	166,8	1,33	125,4
2,0	154	168	163	183	202	870	5	174	1,40	124,3
2,1	164	—	168	186	206	724	4	181	1,47	123,1
2,2	175	—	—	188	208	571	3	190,3	1,55	122,8

ТАБЛИЦА VI

для вычисленія ординатъ кривой *t* (диаграммы С) искомой зави-
симости между давленіемъ на рѣзецъ и толщиной стружки при
строганіи желѣза съ подачей въ 0,35 m/m.

Толщина стружки въ m/m.	Давленія на рѣзецъ, взятыя изъ диаграммы С какъ ординаты кривыхъ.					Общая сумма этихъ давленій для одной тол- щины.	Число слагаемыхъ	Среднее давленіе на рѣзецъ—орди- ната искомой кривой	Площадь попереч- наго сѣченія стружки.	Коэффициентъ рѣ- занія давленія на 1 кв. мм. въ kgr.
	<i>n</i>	<i>o</i>	<i>p</i>	<i>r</i>	<i>s</i>					
0,3	—	29	—	—	—	29	1	29	0,105	276,2
0,4	—	38	—	50	43	131	3	43,6	0,140	311,4
0,5	—	47	49	57	53	206	4	51,25	0,175	292,9
0,6	—	56	60	64	65	245	4	61,25	0,210	291,7
0,7	—	65	72	72	78	287	4	71,75	0,245	292,9
0,8	82	74	82	80	88	386	5	77,2	0,280	275,7
0,9	88	88	88	88	97	449	5	89,8	0,315	285,1
1,0	92	105	100	102	106	505	5	101	0,350	288,6
1,1	103	112	114	112	117	558	5	111,6	0,385	294
1,2	112	118	124	123	127	604	5	120,8	0,420	287,6
1,3	122	128	136	138	140	664	5	132,8	0,455	292,1
1,4	132	140	147	144	148	711	5	142,25	0,490	290,4
1,5	142	152	158	150	156	758	5	151,6	0,525	288,8
1,6	151	163	167	—	—	481	3	160,3	0,560	286,2
1,7	161	173	176	—	—	510	3	170	0,595	286,4
1,8	171	185	187	—	—	543	3	181	0,630	287,8
1,9	180	—	198	—	—	378	2	189	0,665	284,2
2,0	190	—	208	—	—	398	2	199	0,700	284,3
2,1	—	—	218	—	—	218	1	218	0,730	293,6
2,2	—	—	228	—	—	228	1	228	0,770	297,4

Какъ видно изъ прилагаемыхъ ниже діаграммъ (таб. IV и таб. II), эти кривыя очень мало отходятъ отъ прямой, наклоненной къ оси абсциссъ. Нѣкоторыя уклоненія отъ этой прямой можно, навѣрное, объяснить несовершенствомъ измѣрительнаго прибора и недостаточной точностью способа изслѣдованія.

Во всякомъ случаѣ, разсматривая вышеупомянутыя діаграммы, возможно принять, что въ среднемъ давленія на рѣзецъ измѣняются прямо пропорціонально толщинѣ стружки, а такъ какъ при веденіи извѣстной группы опытовъ и построеніемъ къ нимъ относящихся кривыхъ было положено въ основу условіе неизмѣняемости подачи, то слѣдовательно можно сказать, что давленія на рѣзецъ измѣняются прямо пропорціонально площади поперечнаго сѣченія снятой стружки.

Вліяніе механическихъ свойствъ матеріала.

Что касается зависимости коэффициента рѣзанія отъ механическихъ свойствъ матеріала, то сравнивая сопротивленіе стружки для разныхъ металловъ (при одинаковыхъ условіяхъ), находимъ, что коэффициентъ рѣзанія не пропорціоналенъ ни сопротивленію металловъ разрыву, ни сопротивленію срѣзыванію. Напримѣръ, на основаніи опытовъ Зворыкина, профессоромъ Гатцукомъ составлена слѣдующая таблица, изъ которой ясно слѣдуетъ, что никакой пропорціональности не существуетъ, какъ это утверждаетъ Гартъ *):

	Чугунъ.	Бронза.	Свар. жел.	Лит. жел.
Сопротивленіе разрыву kilgr/qmm	10,2	13,8	31,1	35,9
Сопротивленіе срѣзыванію kilgr/qmm	11,2	16,2	23,2	29,2
Коэффициентъ рѣзанія для толщины стружки = 1 m/m	56,7	50,5	105,6	159,2
Отношеніе коэффициента рѣзанія къ сопротивленію разрыву	5,5	3,6	3,4	4,4
Отношеніе коэффициента рѣзанія къ сопротивленію срѣзанія	5	3,1	4,5	5,4

Изъ опытовъ Гауснера оказалось, что при строганіи трехъ сортовъ желѣза съ различнымъ содержаніемъ углерода отъ $0,17\%$ до $0,48\%$,

*) См. «Механическую Технологию» Гатцука, стр. 42.

слѣдовательно—металловъ довольно различной твердости и, весьма вѣроятно, различныхъ по сопротивленію разрыву, получался коэффициентъ рѣзанія одинаковой или вѣрнѣе, колебаніе его были настолько незначительны, что ихъ можно цѣликомъ отнести къ погрѣшностямъ опыта.

На основаніи позднѣйшихъ наблюденій, произведенныхъ по обработкѣ металловъ рѣзаніемъ, пользуясь услугами рѣзцовъ изъ самокаливающихся сортовъ стали, можно съ увѣренностью сказать, что нѣтъ опредѣленной зависимости между коэффициентами рѣзанія и прочими механическими коэффициентами металла. Общая сводка всѣхъ этихъ наблюденій приведена въ нижеслѣдующей таблицѣ:

Мѣсто производ. опытовъ.	Матеріалъ.	Рѣзцы, кото- рыми ра- ботали.	Глубина рѣзанія въ м/м.	Подача въ м/м.	Нормал. скорость рѣзанія въ м/мин	Давленіе сгущки въ кг/см ² .	Механич. свойства въ мет.		Химическій со- ставъ металла въ %.		
							Коэф. рѣзан. въ кг/см ² .	Удлиненіе въ %.	Всего С.	Si.	Mn.
Манчестеръ 1903 г.	Мягкая ко- ванная сталь	Разные со- времен. англійск. рѣз- цы изъ само- каливающихся сталей	4,76	1,59	33,8	18000	4220	29	0,20	0,055	0,605
	Кован. сталь средней твердости.	съ содержа- ніемъ хро- ма, воль- фрама или молибдена	4,76	1,59	24,4	17000	4500	26	0,28	0,086	0,650
	Твердая ко- ван. сталь.		4,76	1,59	12,5	23600	7320	14	0,51	0,111	0,792
Wm. Sollers С ^о Филадельфія 1902 г.	Отжженная средней твердости кованая сталь.	Аналогич- ныхъ же рѣзцовъ, но съ содержа- ніемъ хро- ма и вольфрама.	4,76	1,59	19,5	19500	4920	30	0,34	0,183	0,600
Wm. Sollers С ^о Филадельфія 1902 г.	Мягкій чугу- н. цилиндр. 330м/м со снятой верх. корой.	Рѣзцы изъ быстро рѣ- жущей ста- ли съ содерж. хро- ма, воль- фрама или молибдена.	4,76	1,59	45,2	7310	—	—	—	1,91	—
	То же, но съ залазью на внѣшн. по- верхности.		4,76	1,59	23,2	7310	—	—	—	1,91	—
	Твердый чугу- н. того же раз- мѣра, но со- держ. 15% стальн. лому полый со стенкой 50м/м		4,76	1,59	1,37	11230	1690	—	—	1,91	—

	Глубина рѣзанія въ m/m.		Подача въ m/m.		Площадь стружки.		Нормальная ско- рость рѣзан. въ m/m.		Давленіе стружки въ kg/qcm.		Механическ. свойст. метал.		Химическій составъ ме- тала въ %.										
									Коэффициен. разрыва въ kg/qcm		Коэффициен сжатія въ kg/qcm		С. Всего.		Связанный углеродъ.		Графитъ.		Si		Mn		
Манчестеръ 1900 г:																							
Мягкій чугуны.		4,76	1,59	0,08	30,5	7450	890	4220	3,062	0,459	2,603	3,010	1,180										
Средній чугуны		4,76	1,59	0,0742	14,9	13200	1760	6880	3,305	0,585	2,720	1,703	0,588										
Твердый чугуны		4,76	1,59	0,0757	9,8	12930	1250	6600	3,025	1,150	1,875	1,789	0,348										

Коэффициенты рѣзанія, вычисленные различными авторами, сильно разнятся между собою, причину такого разногласія надо искать въ неточностяхъ самихъ опытовъ, а также и въ различныхъ побочныхъ обстоятельствахъ, иногда сильно влияющихъ на коэффициентъ рѣзанія.

Для большей наглядности, приведу сравнительную таблицу *) коэффициентовъ рѣзанія.

Матеріалы.	Фишеръ.	Ришаръ.	Гартъ.	Тиме.	Зворыкинъ.	Гауснеръ.
Чугуны	70—120	75—90	60—75	52—64	52—62	60—86
Желѣзо сварочное	110—170	125—150	90—112	99—107	93—105	—
Желѣзо литое			—	—	128—141	109—11
Твердая сталь	160—240	125—270	—	152—183	—	—
Бронза	—	65—80	—	49—62	50—60	47—61
Красная мѣдь	—	—	—	—	—	60

*) Коэффициенты рѣзанія даны въ kg. на кв. m/m. Данные проф. Фишера—результатъ сравненія опытовъ Тиме, Смита, Гауснера и Гартинга; по ошибкѣ Фишеръ взялъ числа Тиме безъ поправки на коэф. полезнаго дѣйствія станка: см. „Zeitschrift des Ver. d. deutsch. Ingenieure“, 1897, № 18, стр. 505.

Данные Ришара (G. Richard) взяты изъ труда: „Traité des machines utiles“, стр. 1, стр. 203.

Данные Тиме взяты изъ основъ машиностроенія т. 1, вып. 1, стр. 408 и поправлена на коэф. полезнаго дѣйствія станка 60%. Данные Гарта вычислены на основаніи его примѣровъ.

Данные Зворыкина соответствуютъ толщинѣ стружки въ 1 m/m и угламъ рѣзанія, обычно встрѣчающимся на практикѣ, но вѣсколько округлены.

Числа Гауснера—среднія изъ наблюденій, относящихся къ обычной заводской практикѣ; см. „Механическую Технологию“ проф. Гатнука, стр. 46.

Профессоръ Гатцукъ совѣтуетъ при опредѣленіи давленія на рѣзецъ для толстыхъ стружекъ брать: для чугуна $60 \frac{\text{klgr}}{\text{q mm.}}$, для желѣза сварочнаго или мягкаго литого около $100 \frac{\text{klgr}}{\text{q mm.}}$, а для бронзы, томпака и красной мѣди $60 \frac{\text{klgr}}{\text{q mm.}}$. Помножая эти величины на площадь сѣченія стружки въ кв. m/m, получимъ приблизительное значеніе усилія въ klgr., необходимаго для отдѣленія стружки. При углѣ рѣзанія рѣзца $\alpha > 70$ и толщинѣ стружки тоньше 1 m/m. коэффициентъ рѣзанія придется нѣсколько увеличить.

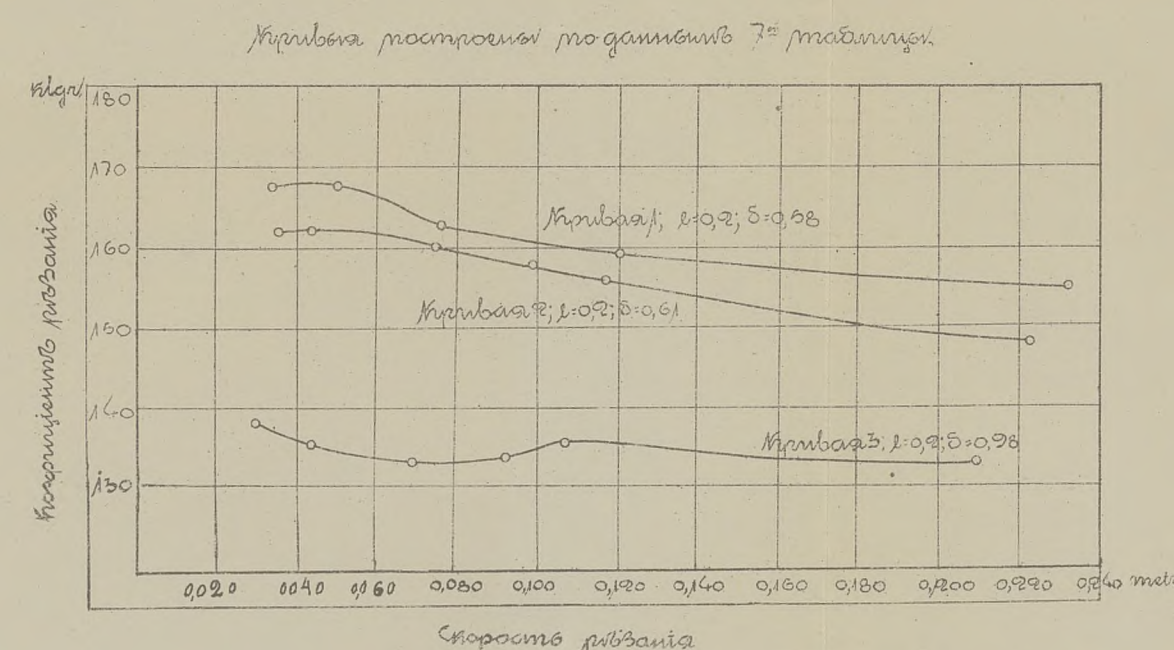
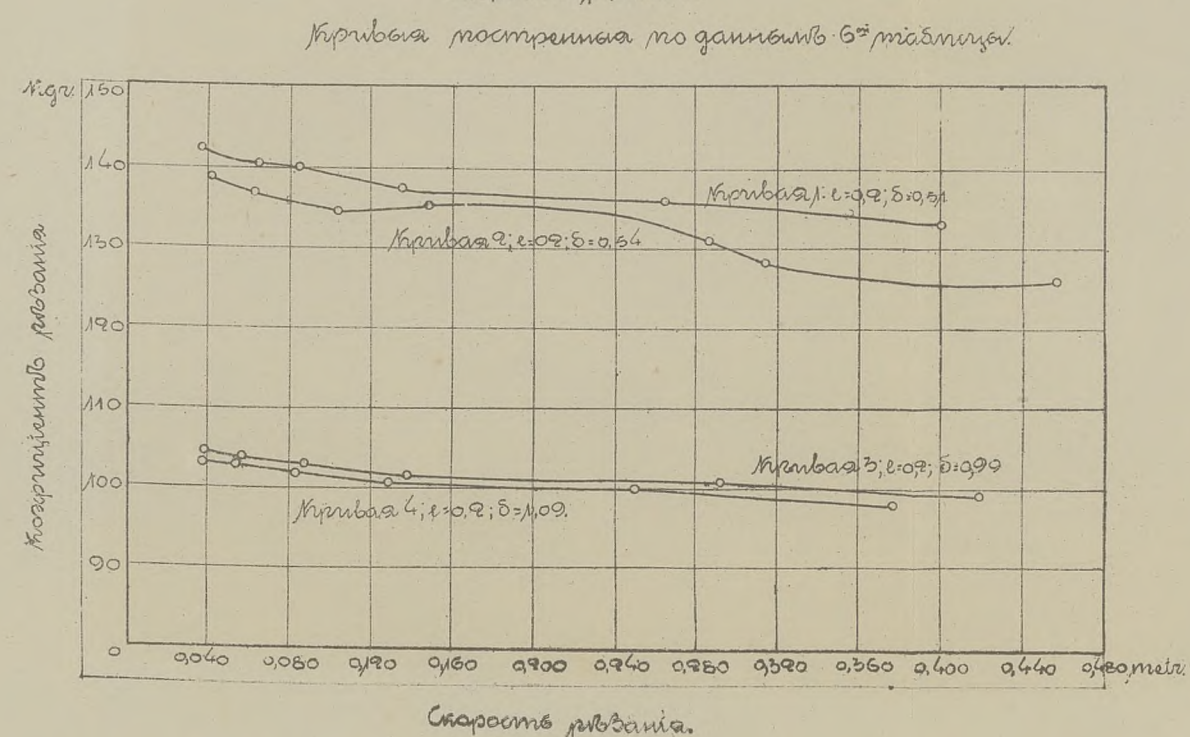
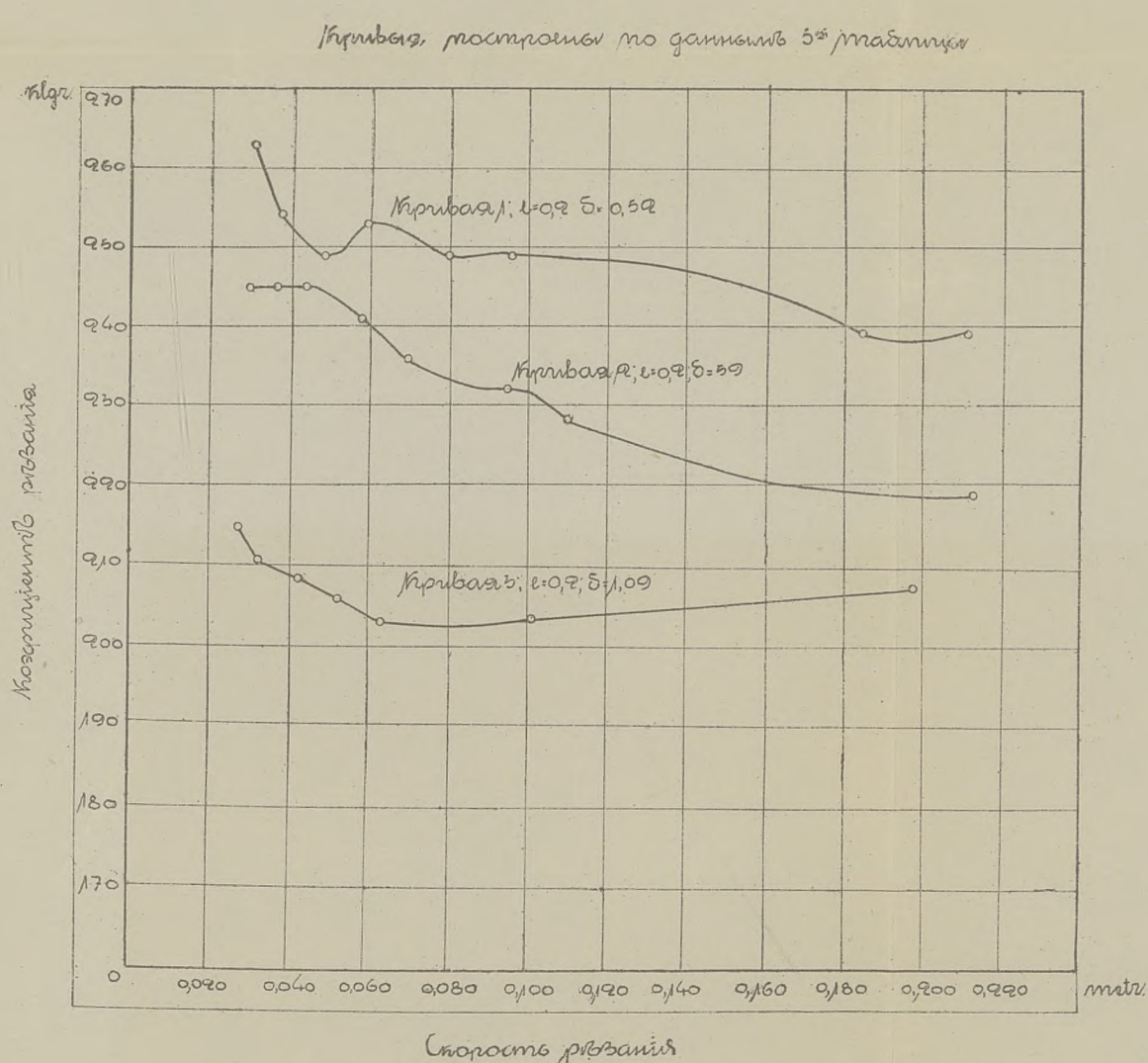
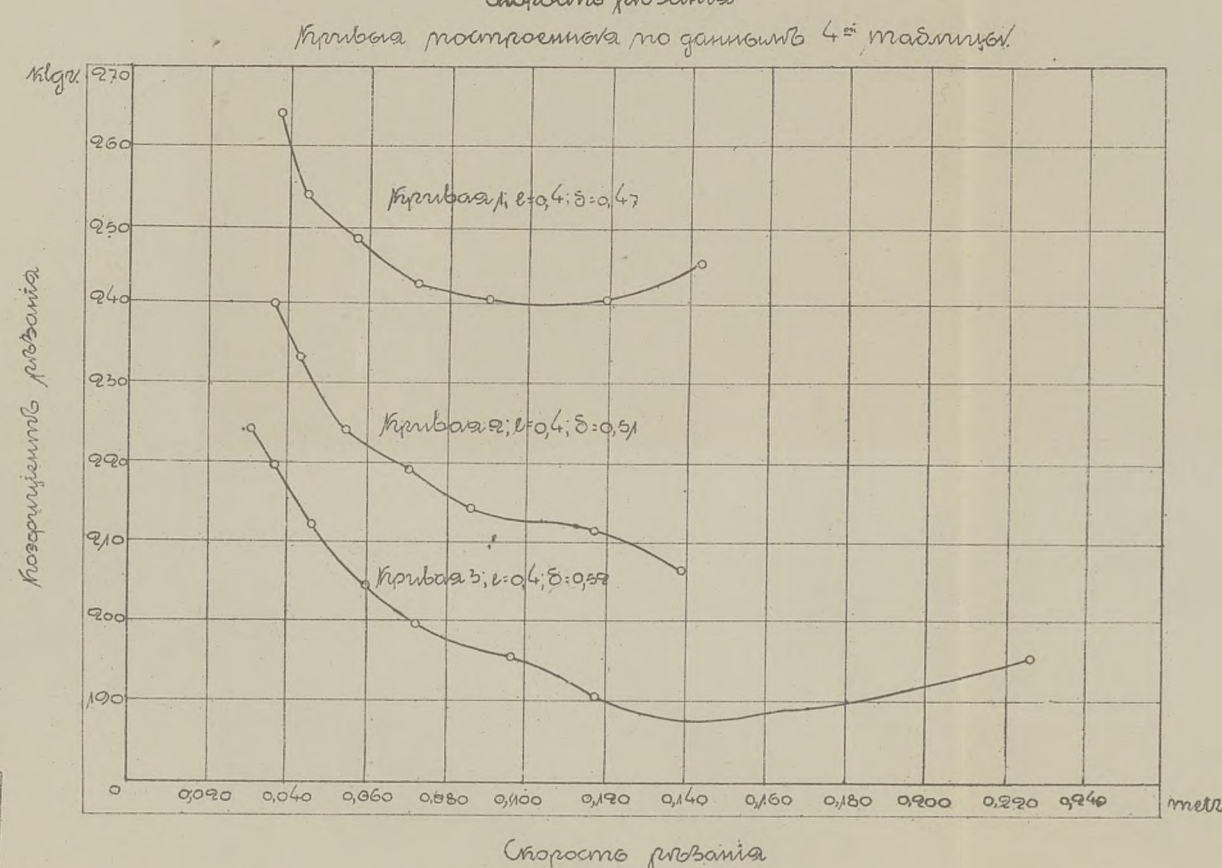
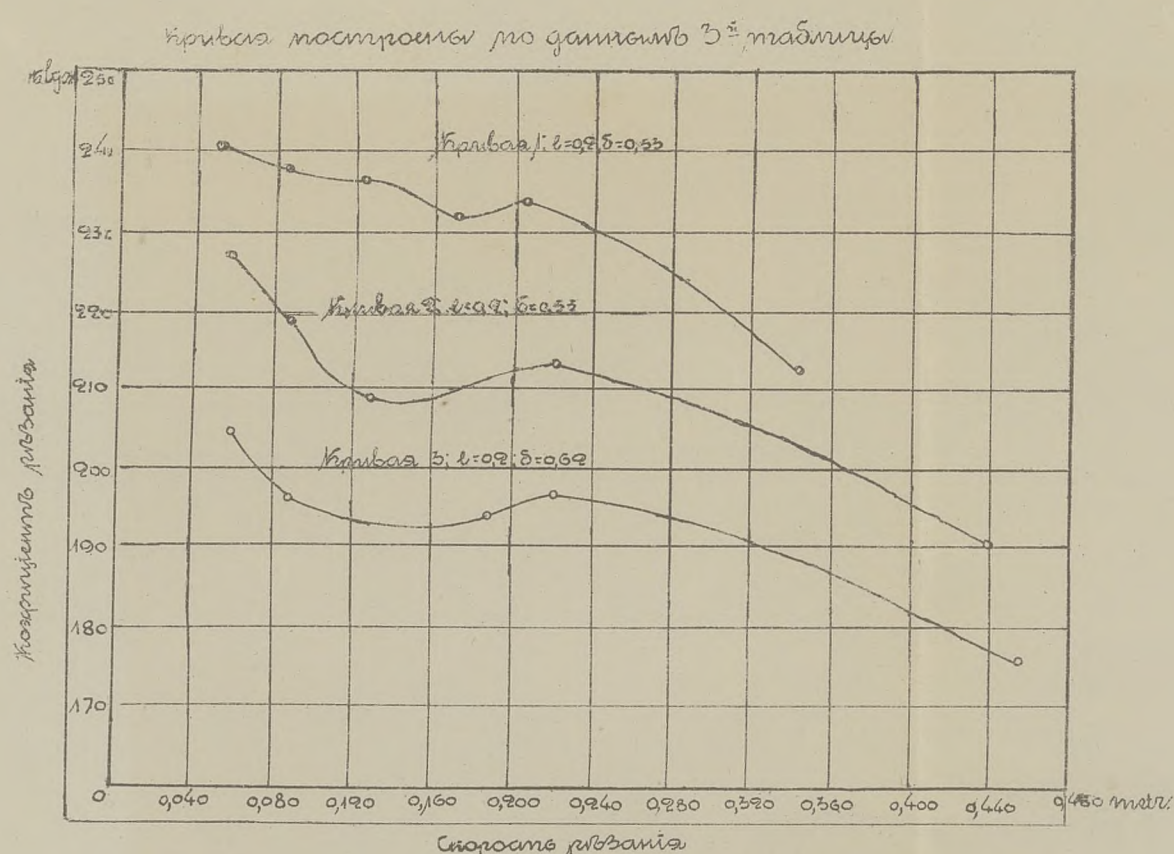
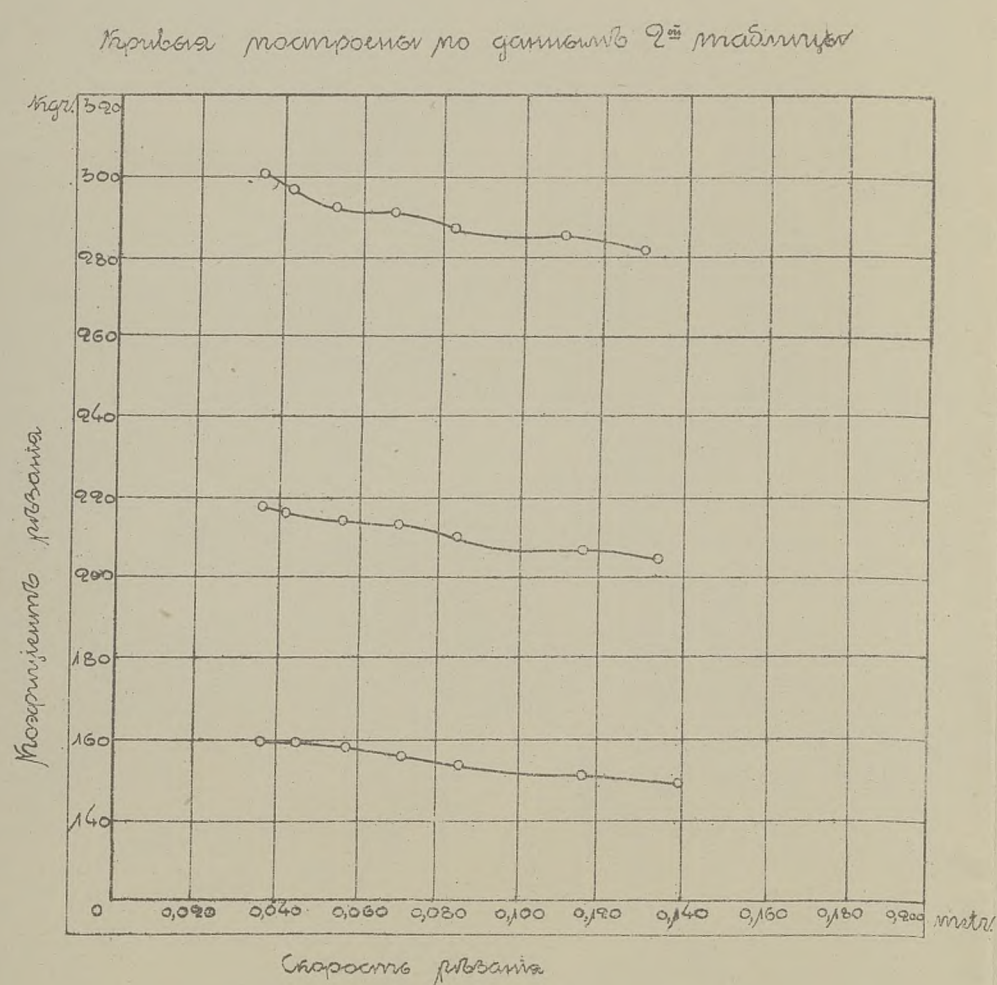
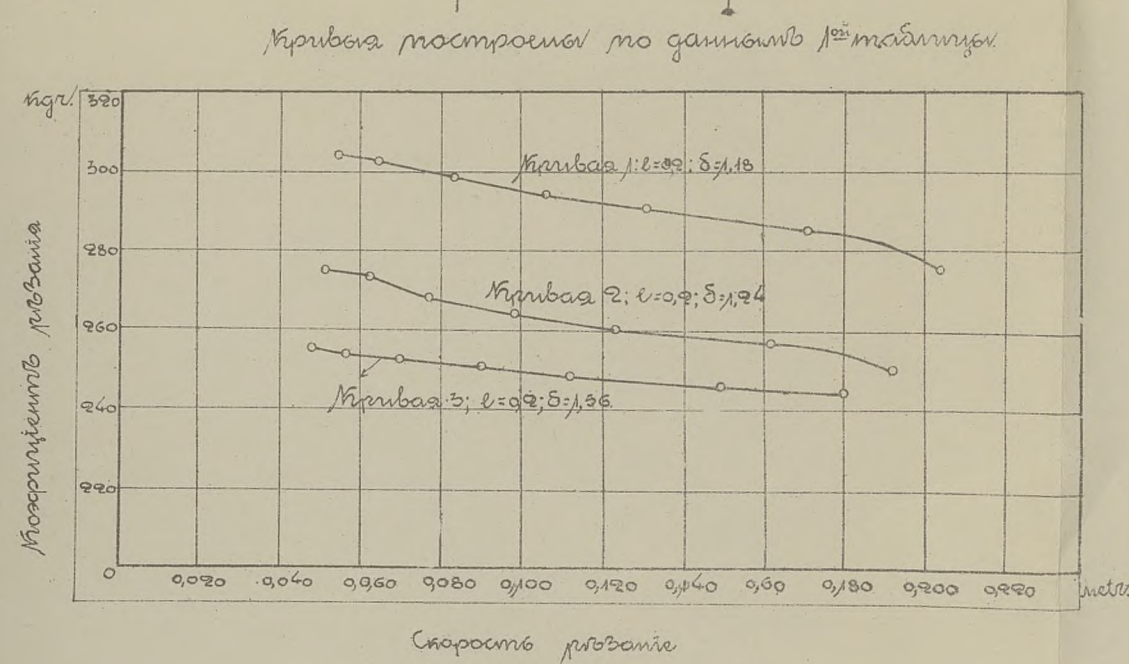
Коэффициентъ рѣзанія металловъ при обработкѣ послѣднихъ рѣзцовъ изъ самозакаливающейся стали нѣсколько отличенъ отъ ранѣе приведенныхъ данныхъ и на основаніи позднѣйшихъ данныхъ, приведенныхъ Тайлоромъ, колеблется въ слѣдующихъ предѣлахъ (Поляковъ, стр. 26, таб. X):

Коэффициенты рѣзанія при рѣзаніи стали, чугуна и желѣза.

Мѣсто производ- ства испытаній.	Давленіе стружки на рѣзецъ въ kg/qcm.			Давленіе, необходимое для питанія рѣзца.	Давленіе*), отжимающее рѣзецъ въ гор. направл. отъ обработ. предмета.	Вліяніе скоро- сти рѣзанія на давленіе стружки.
	Чугун.	Сталь	Мягкое желѣзо	%	%	Давленіе на рѣ- зецъ слегка уменьшается съ увеличеніемъ скорости рѣза- нія.
Манчестеръ. Проф. Никольсонъ.	7450 до 13200	17000 до 23600	— —	0% до 20% отъ давленія стружки на рѣзецъ.	18%—78% отъ давленія стружки на рѣзецъ.	
Германія Г. Фишеръ	7000 до 12000	15900 до 23900	11000 до 16900	Равно давленію на рѣзецъ	—	—
Америка изслѣдо- ванія Тайлора.	4900 до 13900	16900 до 20800	—	Равно давленію на рѣзецъ.	—	Никакихъ замѣт- ныхъ измѣненій въ давленіи на рѣзецъ даже при удвоеніи скоро- сти.

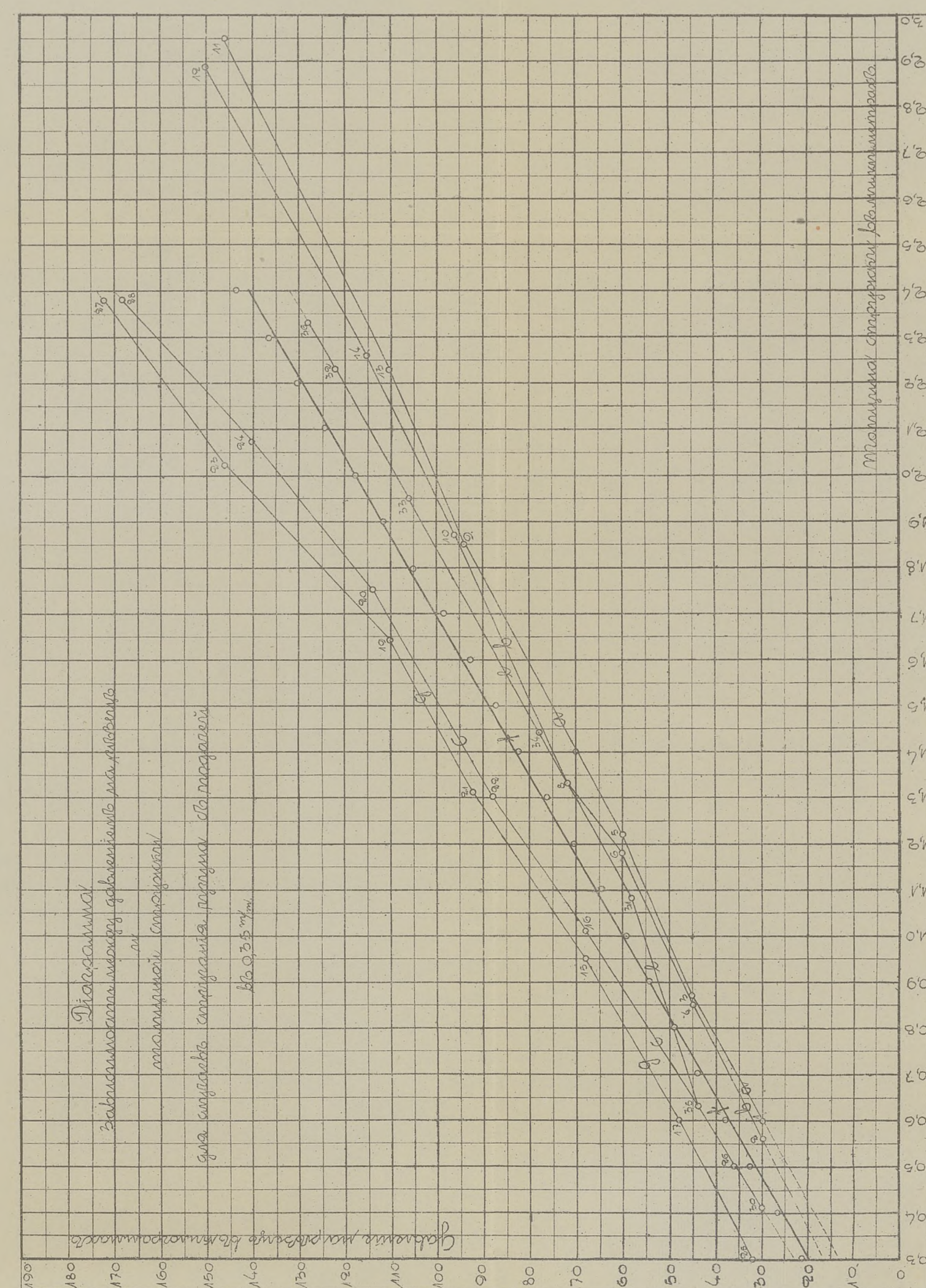
Томскъ, 3 го августа 1909 г.

*) Давленіе отжимающее рѣзецъ въ горизонтальномъ направленіи отъ обрабо-
тываемаго предмета.

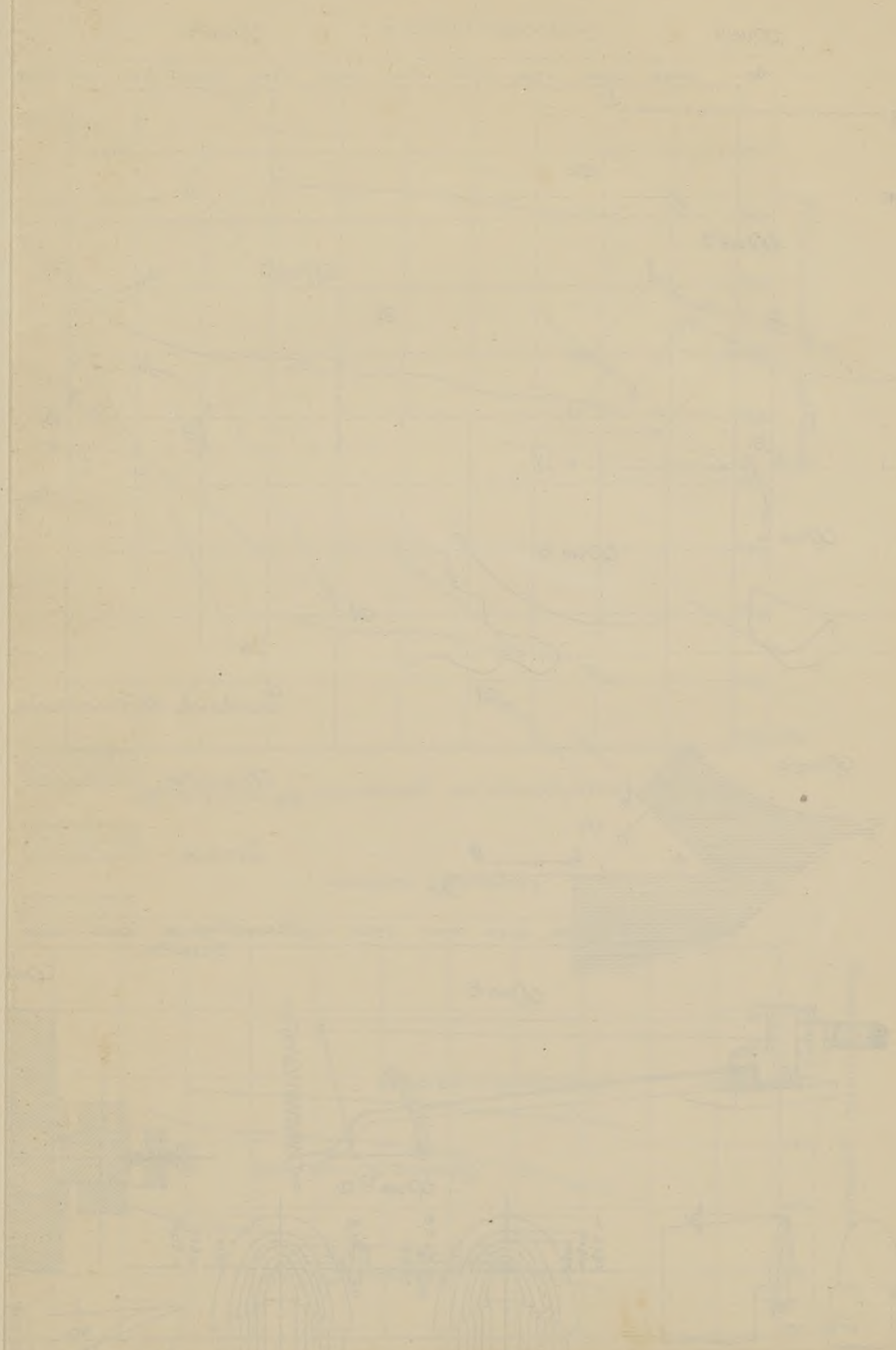


Диаграммы А.

Примечание: а) Оригиналы хранятся в б.у.е. манускриптов на основании маданий № I²
при реке рудороди рудороди № I² отсюда.
б) Оригиналы хранятся в б.у.е. манускриптов на основании маданий № IV²

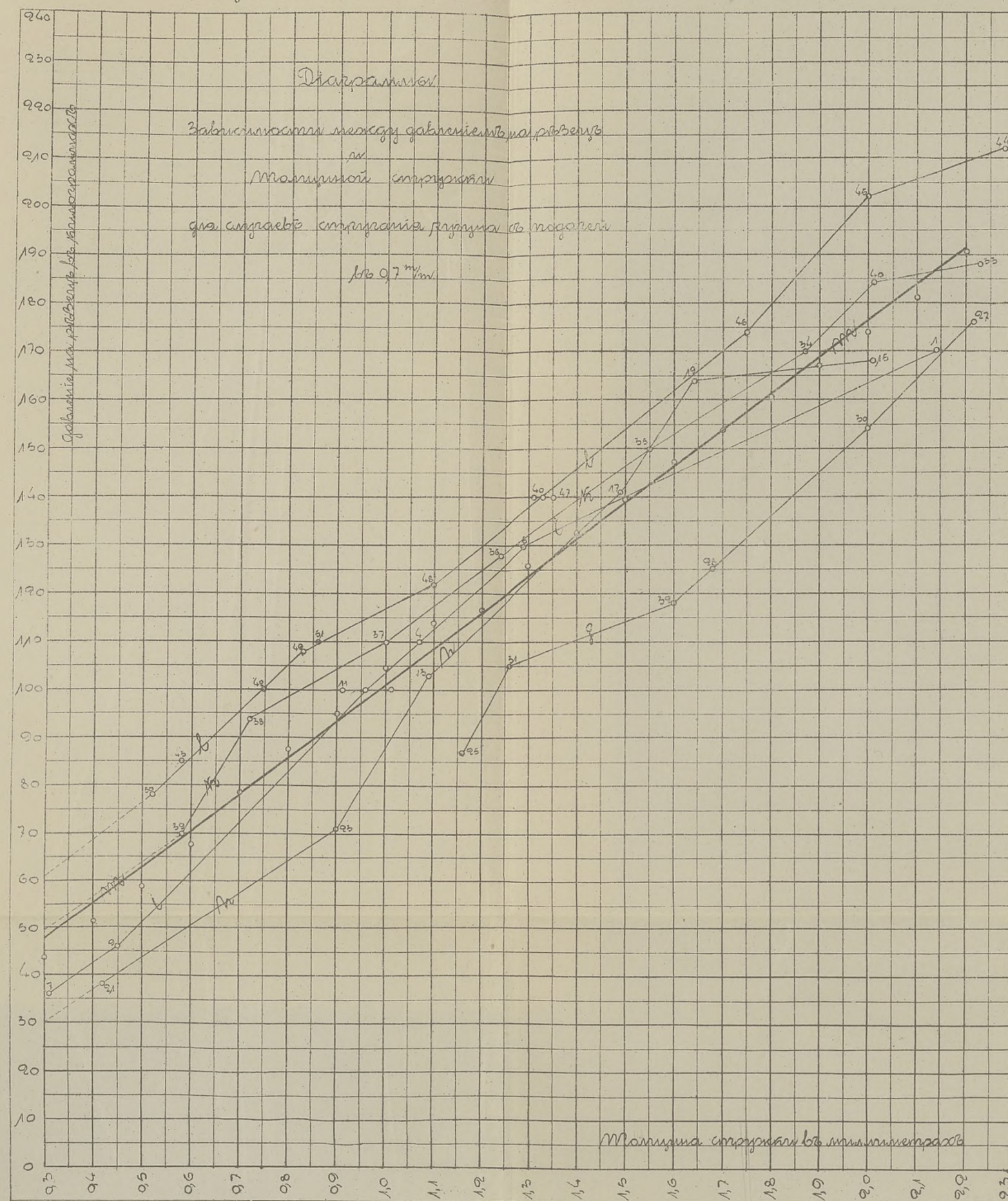


Къ статъѣ Т. И. Тихонова: „О коэффицентѣ рѣзанія металловъ“.



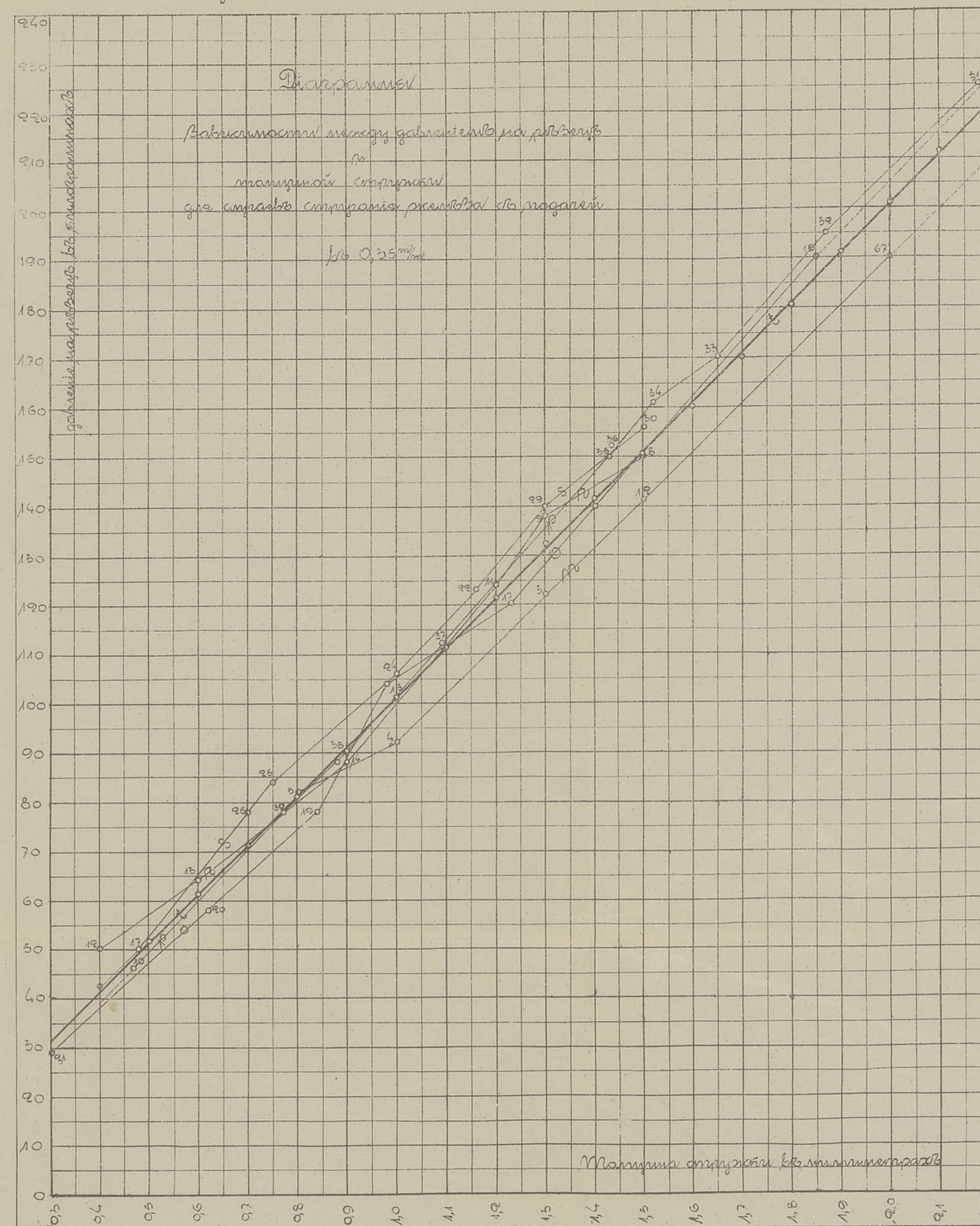
Диаграммы В.

Примечание: а) Органометрический ф. № 1, р. 1. и нанесен на основании таблицы А II;
при репродукции рукописи А: опечатка.
б) Органометрический ф. № 1, р. 1. и нанесен на основании таблицы А V.



Диаграммы. С. Таблица II.

Миграция: а) Органотел прироста N. O. p. p. S. происходит на основании таблицы $\text{Af III}^{\pm}$, при этом
указной указав Af органа.
б) Органотел прироста происходит на основании таблицы $\text{Af VI}^{\pm}$.



Къ статъѣ Т. И. Тихонова: „О коэффициентѣ рѣзанія металловъ“.

Таблица II

Время, прошедшее с момента начала движения, до момента, когда тело достигло заданной высоты.

