

Автографическая запись зависимости между усилиями и деформациями во время удара.

Князь А. Г. Гагаринъ.

Докладъ на собраніи Русскаго Общества испытанія матеріаловъ, въ Москвѣ,
21 апрѣля 1912 года.

§ 1. Общій принципъ приборовъ, записывающихъ зависимость между усилиями и деформациями во время удара, долженъ основываться на сочетаніи двухъ движеній, происходящихъ подъ угломъ. Одно изъ нихъ—горизонтальная слагающая—зависитъ отъ деформации образца, т. е. отъ измѣненія разстоянія между концами образца. Вертикальная слагающая зависитъ отъ показаній динамометра и должна послушно слѣдить за быстрыми измѣненіями усилий, происходящими во время удара. Первоначально я пользовался пружиной, какъ динамометромъ, и подвергалъ ее продольному удару, такъ какъ вычисленіе продольныхъ колебаній проще и точнѣ поперечныхъ, и, кромѣ того, такія пружины болѣе похожи на обыкновенныя опоры.

Въ 1904 году я построилъ приборъ фиг. 1, въ которомъ игла l вычерчиваетъ указанную зависимость на чашѣ k . Сжатіе динамометра b и опусканіе наковальни a производятъ опусканіе иглы. Сжатіе образца c , вызванное приближеніемъ бабы d къ наковальнѣ, даетъ горизонтальное перемѣщеніе иглы при помощи спиральной дорожки n . Сочетаніе вертикальнаго и горизонтальнаго движеній даютъ диаграмму на маломъ свинцовомъ листѣ по слѣткѣ, гдѣ ординаты выражаютъ усилия въ тоннахъ, а абсциссы—деформации въ миллиметрахъ.

Одновременно можно записывать на барабанѣ Морена x движенія бабы и наковальни при помощи игтифтовъ y и z , къ нимъ прикрѣпленныхъ. На фиг. 2 показана игла отдѣльно. На фиг. 3 видны чаша и свинцовый листъ. На свинцовомъ листѣ горизонтальныя линіи нанесены на машинѣ Эмери. На фиг. 4, нашъ ударный приборъ даетъ статическія діаграммы. Фиг. 5—здѣсь видно, какъ мѣдный крешерный столбикъ два раза разгружался во время хода нагрузки.

Приспособленіе на изгибающій ударъ показано на фиг. 6 передъ ударомъ и на фиг. 7 послѣ удара.

§ 2. На фиг. 8 мы видимъ діаграммы на сжимающій ударъ по мѣди, цинку, олову и стали и замѣчаемъ, что каждый матеріалъ имѣетъ свою форму діаграммы, тождественно повторяющуюся въ равныхъ условіяхъ. Форма зависитъ отъ живого сопротивленія матеріала удару и отъ колебаній прибора. Сумма этихъ влияній даетъ высокую и узкую

диаграмму для твердыхъ матеріаловъ и низкую и длинную для мягкихъ и пластичныхъ.

Образцы хромо-никкелевой стали были взяты изъ одной отливки на Путиловскомъ заводѣ и потому всѣ имѣли одинъ составъ. Всѣ были закалены при одной и той-же температурѣ, но отпущены при десяти различныхъ температурахъ. Эти образцы испытывались на статическое растяженіе на обыкновенныхъ машинахъ, на статическое сжатіе на моемъ прессѣ (фиг. 9) вдоль и поперекъ волоконъ (фиг. 10), сжимающими ударами бабы въ 12,5 килограммъ, сброшенной съ 75 сант. на образцы 6 м/м. въ діаметрѣ и 9 м/м. въ высоту (фиг. 11), изгибающими ударами (фиг. 12) той-же мощности по образцамъ 6×6 м/м. и 25 м/м между опорами. Результаты собраны на таблицѣ фиг. 13 и указываютъ на значительное согласіе между данными статическаго растяженія и цифрами, выведенными изъ нашихъ ударныхъ диаграммъ. Это даетъ возможность видѣть, что нашъ ударный приборъ можетъ принести пользу, когда мы покупаемъ сталь подъ удары, напримѣръ осевую.

§ 3. Всѣ существующіе математическіе методы изученія колебаній созданы въ предположеніи, что отъ момента прикосновенія бабы къ динамометру (мы теперь предполагаемъ, что образца не положили) до момента ея взлета баба и наковальня составляютъ какъ бы одну массу. Штифтъ, прикрѣпленный къ бабѣ, воспроизводитъ на барабанѣ Морена кривую фиг. 14 (фотографія), или въ удобномъ масштабѣ кривую *abc* фиг. 15, полученную при участіи Цейсовскаго координатнаго микроскопа. Но наковальня не составляетъ одно съ бабой и во время одного удара бьетъ по ней снизу три раза, благодаря чему происходятъ мелкія волны (рядъ *a, b, c, ... l* около основного тона *A* во время движенія бабы. Эти высшія гармоническія были исключены анализаторомъ Генричи.

Мы находимъ, что траекторія свободныхъ колебаній динамометра, вычисленная (см. *U* фиг. 15) по приближенному методу С. Венана и (см. *L* и *C* фиг. 15) по точнымъ методамъ Ловъ и Фурье-Крылова очень близка къ дѣйствительной траекторіи *A* бабы. Путь (фиг. 16), начерченный штифтомъ наковальни (фотографія), доказываетъ, что она не остается связанной съ бабой, какъ выше предполагалось. На *B*, фиг. 17, воспроизведенной въ удобномъ масштабѣ при помощи координатнаго микроскопа, видно, что, когда происходитъ первое прикосновеніе, скорость бабы равна 377 сант. въ сек., а скорость динамометра— нуль. Въ теченіи первыхъ 0,00008 секунды скорость наковальни постепенно растетъ отъ *a* къ *β*, догоняетъ скорость бабы съ ускореніемъ 116 километровъ въ квадратъ секунды. Скорость возрастаетъ далѣе и достигаетъ 926 сант. въ секунду, у динамометра наступаютъ сложныя колебанія. Амплитуда ихъ основного тона составляетъ лишь 28% амплитуды основного тона траекторіи бабы, періоды же ихъ одинаковы (0,00312 секунды). Высшія гармоническія имѣютъ большія амплитуды,

достигающія половины принадлежащей основному тону. Онъ образуетъ чрезвычайно медленно сходящійся рядъ.

Мы ближе подойдемъ къ дѣлу, когда станемъ вычислять вынужденныя колебанія динамометра. Для этого намъ надо знать силу $f(t)$, вынуждающую колебанія, въ функціи времени. Но математическая физика еще не выяснила закона измѣненія сжимающаго усилія даже въ чрезвычайно простомъ случаѣ продольнаго удара бабы, падающей на стержень, задѣланный другимъ концомъ. Дѣлаемъ тогда предположеніе, что сила $f(t)$ пропорціональна ординатамъ A (фиг. 15) траекторіи бабы, т. е. ея опусканію. Мы получаемъ линію D (фиг. 17), которая уже значительно ближе къ дѣйствительной B , чѣмъ L и C (фиг. 15). Мы еще ближе подойдемъ къ дѣлу, когда воспользуемся тѣмъ, что участки кривой ($=A-B$) (фиг. 18) ниже оси абсциссъ изображаютъ сжатіе частей, пришедшихъ въ соприкосновеніе во время удара, когда никакого образца на наковальню не положено. [Синтетическая кривая K была бы вычерчена иглою, если бы она нисколько не гнулась. Цифры на этой кривой изображаютъ сто тысячныя доли секунды и даютъ нѣкоторое понятіе о чрезвычайной непродолжительности и громадности ускореній (свыше 600 километровъ въ квадратъ секунды), изгибающихъ иглу, но дѣйствующихъ слишкомъ скоро, чтобы не только сломать ее, но даже довести ее до предѣла упругости]. Принимая ординаты этихъ участковъ пропорціональными силѣ $f(t)$ и вводя такой $f(t)$ въ уравненіе вынужденныхъ колебаній, мы получаемъ (фиг. 19) пунктирную линію, которая на участкѣ $\alpha\beta\gamma$ очень близко совпадаетъ съ дѣйствительной кривой B (сравнить съ D фиг. 17 и L и C фиг. 15). Но и эта линія «кси», оказывается не имѣть минимума, какъ бы должно, дальнѣйшей правды мы не находимъ, видно, что мы теперь уловили только начало $f(t)$. Если на наковальню положенъ мѣдный образецъ, поглощающій рѣзкость удара, синтетическая кривая K (фиг. 20), построенная при допущеніи полной неизгибаемости и лы, становится очень похожей на автоматически полученную на фиг. 8 при вынужденныхъ колебаніяхъ иглы.

§ 4. Стремясь избѣжать колебанія, я построилъ приборъ (фиг. 21), въ которомъ артиллерійскіе крешерные столбики были употреблены въ качествѣ динамометровъ и записывали измѣненія нажатія, пока происходилъ ударъ.

Другія части прибора были солидно построены и это-то оказалось для дѣла вреднымъ (упоминаю это, чтобы показать, чего не слѣдуетъ дѣлать). Онѣ колебались и вліяли на діаграммы, фиг. 22, обжатіе мѣди, фиг. 23—сжатіе стали, фиг. 24—изгибаніе стали. Я былъ вынужденъ упростить приборъ такъ, чтобы въ немъ нечему было вибрировать при ударѣ. Образецъ k (фиг. 25) отдѣленъ отъ крешерныхъ столбиковъ c каленой наковальней b , положенной на нихъ. Направляющія сведены къ плоскимъ пружинкамъ d . Вогнутое сферическое

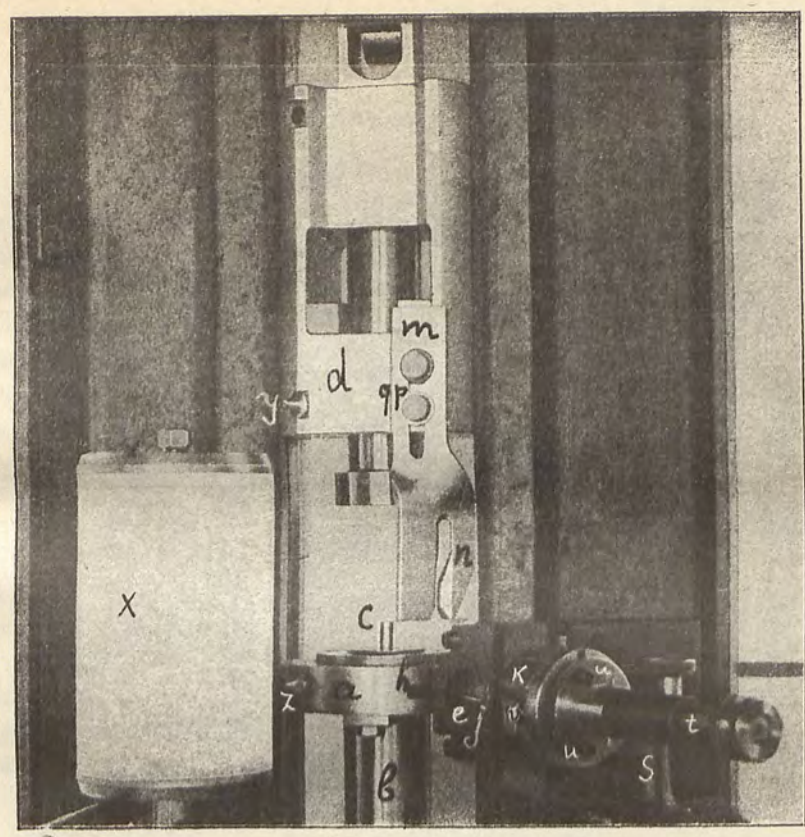


Рис. 1.

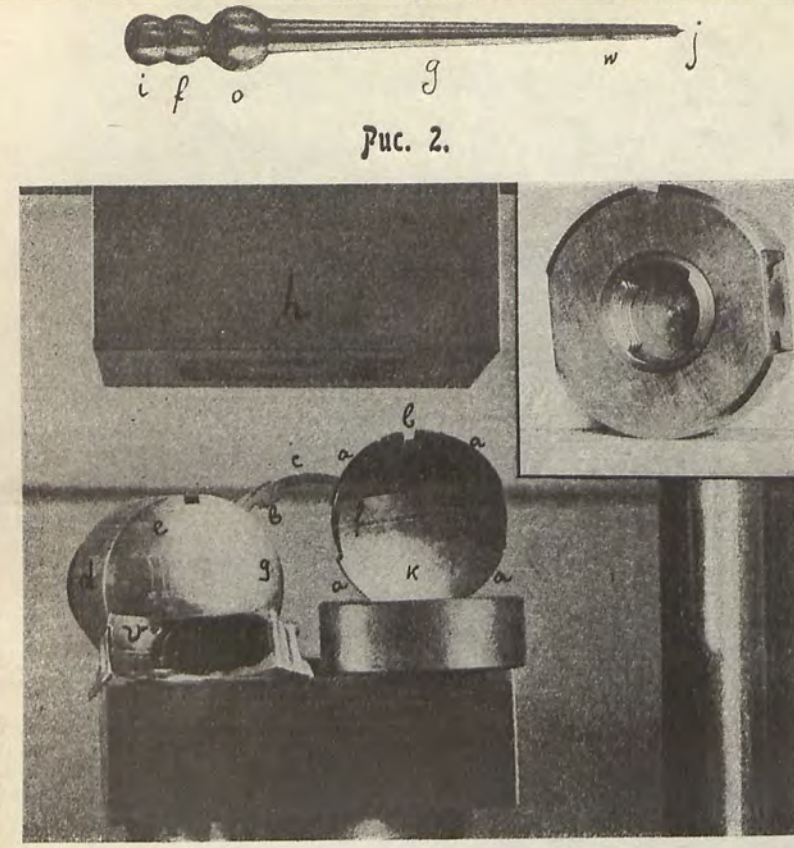


Рис. 2.

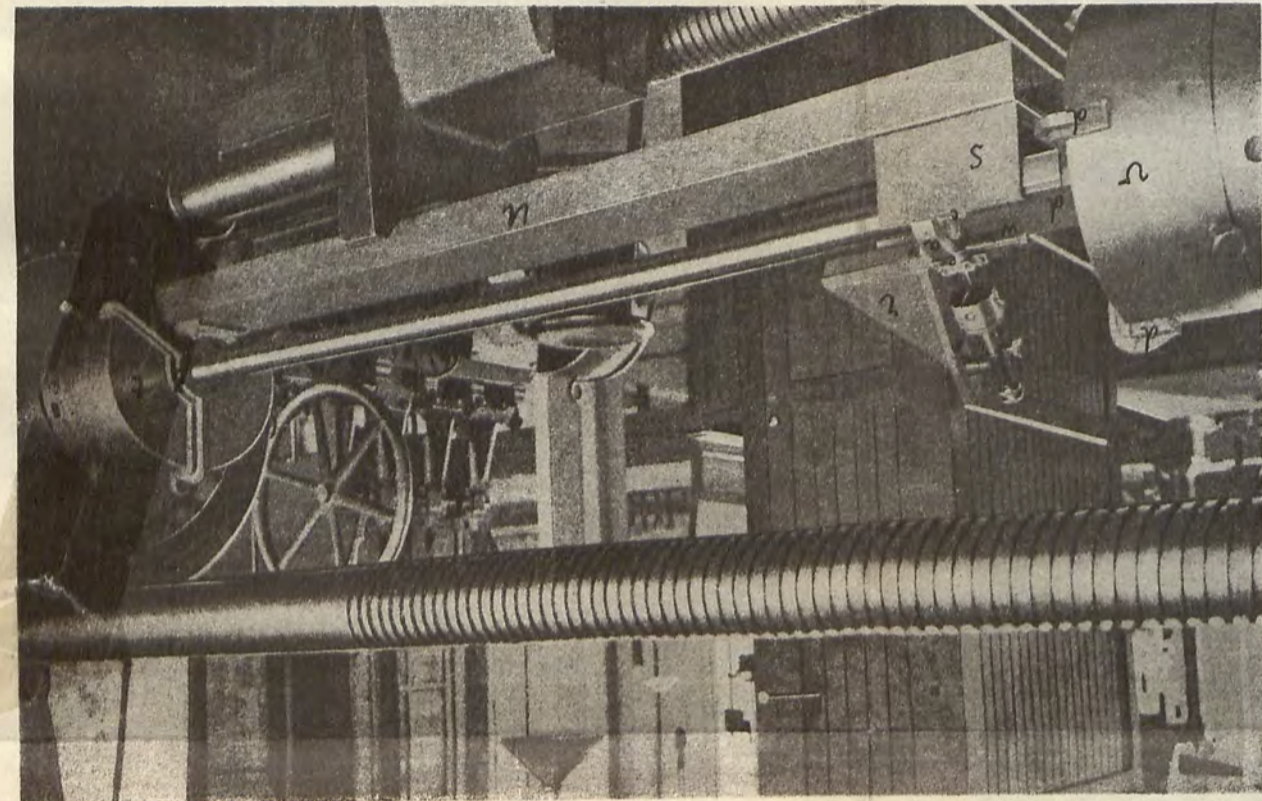


Рис. 4.

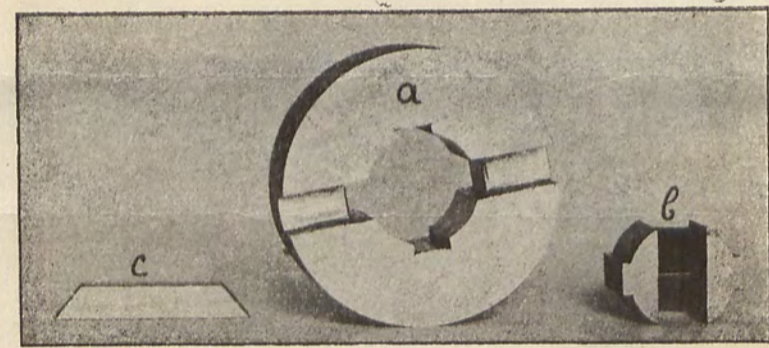


Рис. 6.

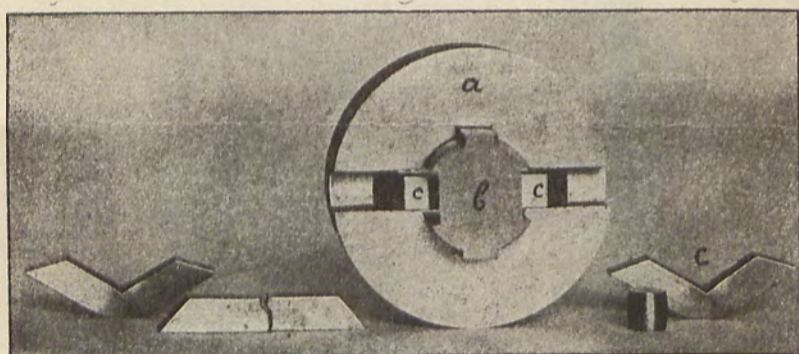


Рис. 7.

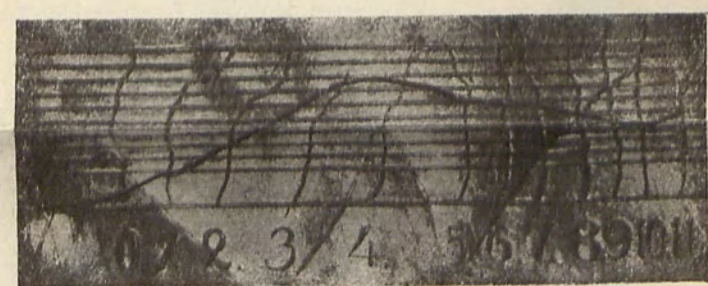


Рис. 8.

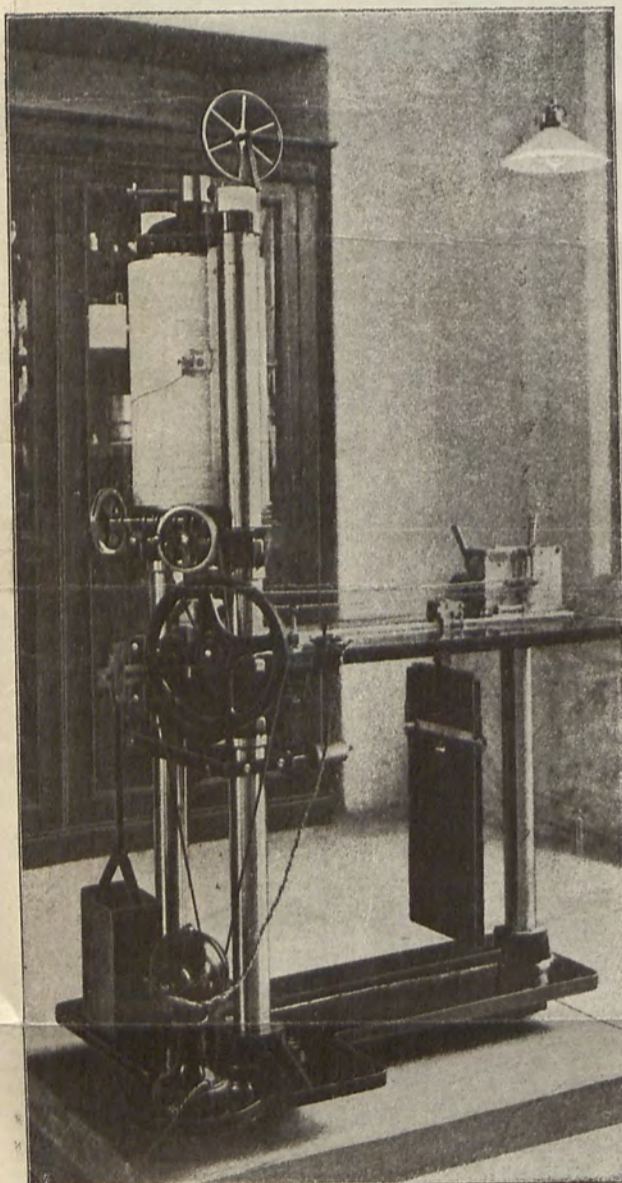


Рис. 9.

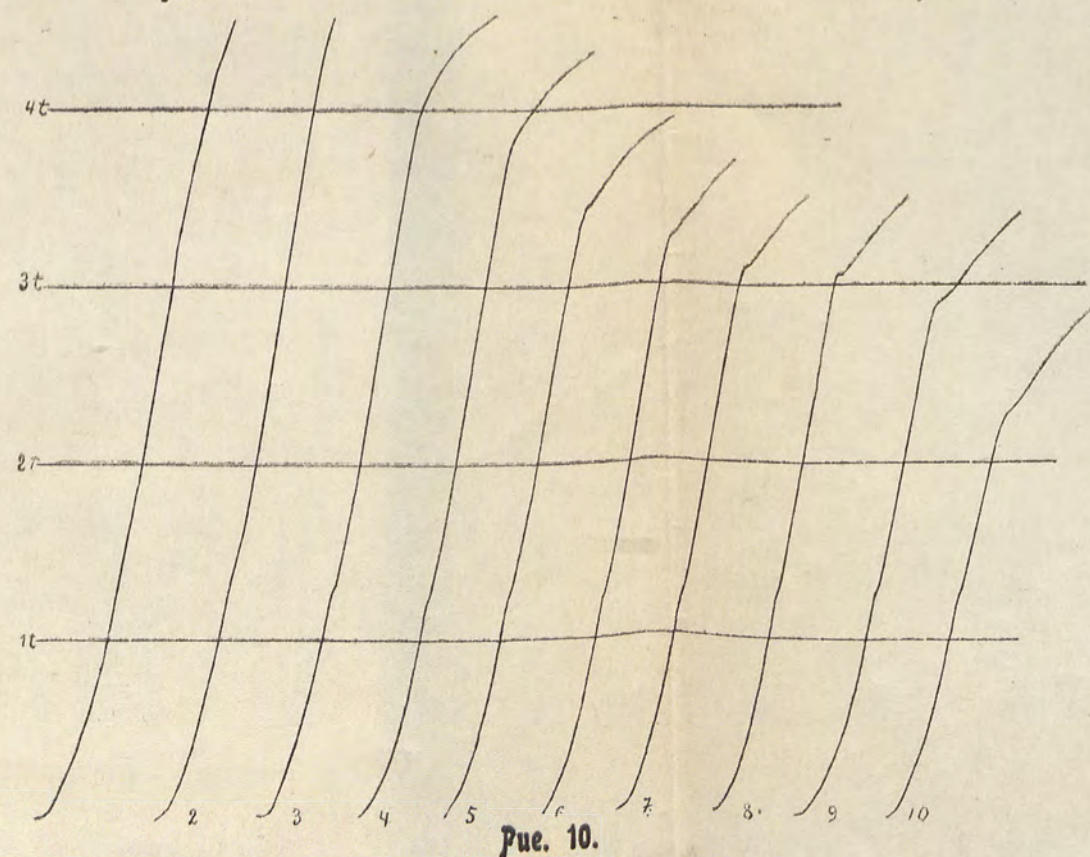


Рис. 10.



Рис. 5.

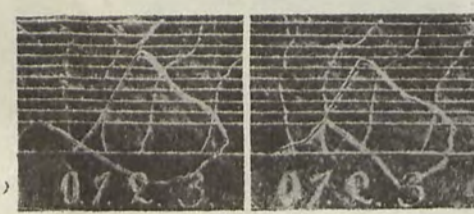


Рис. 11.

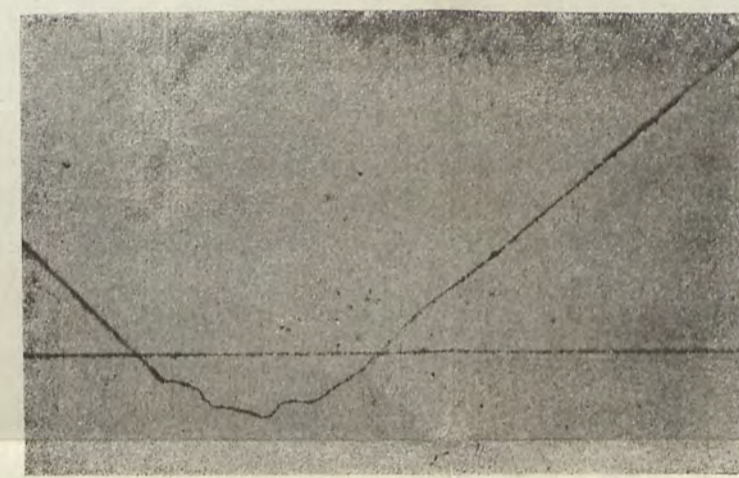


Рис. 14.

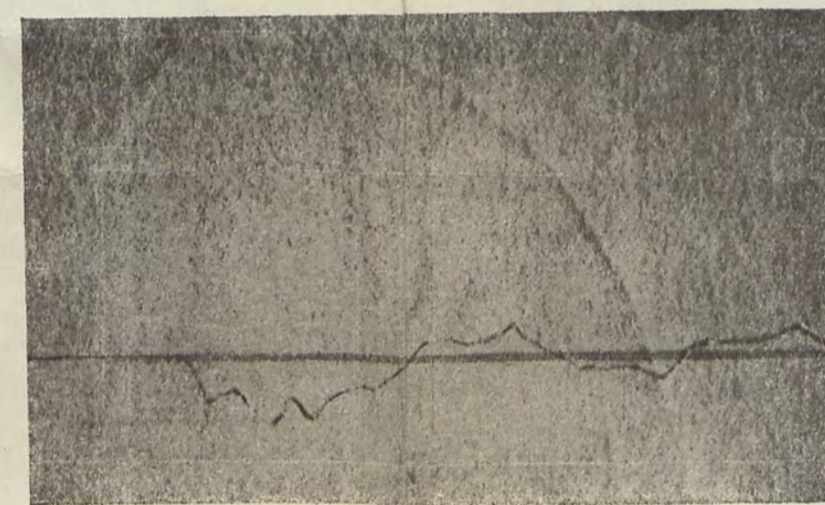


Рис. 16.

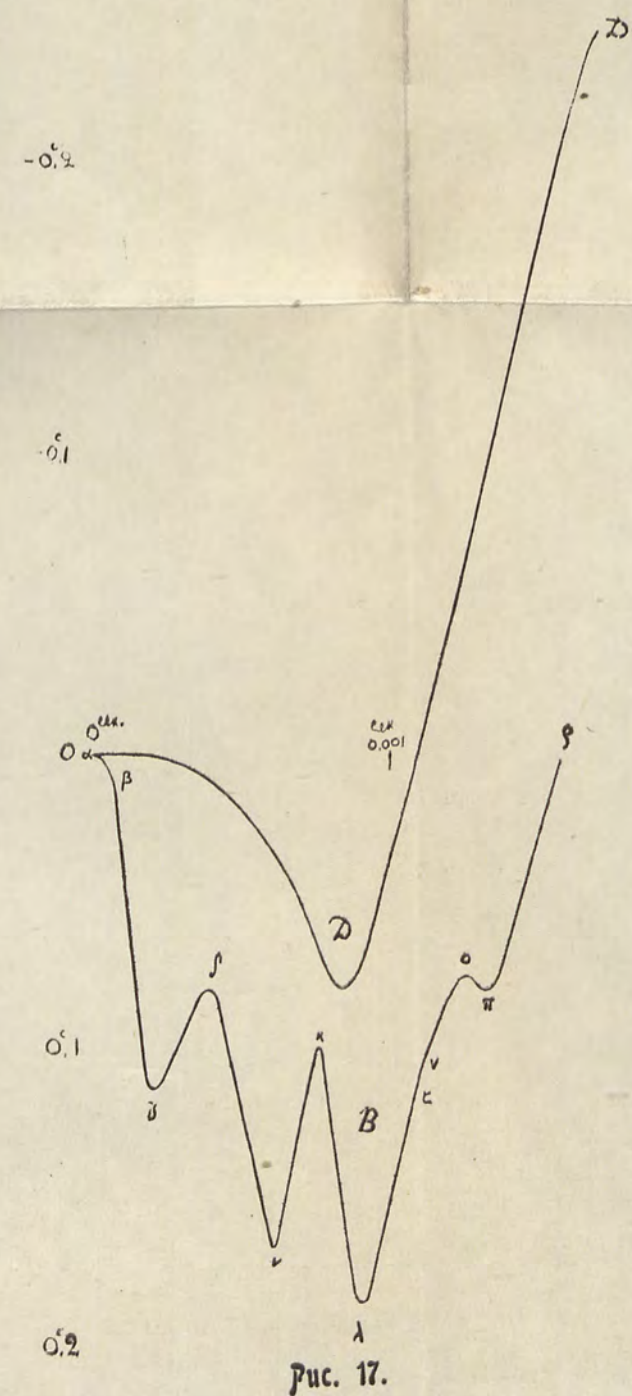


Рис. 17.

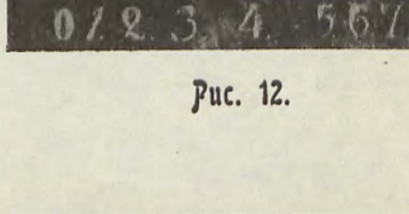
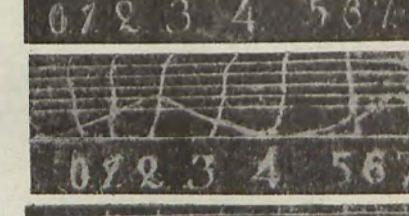
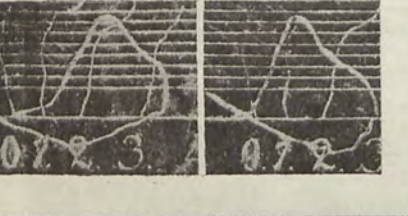
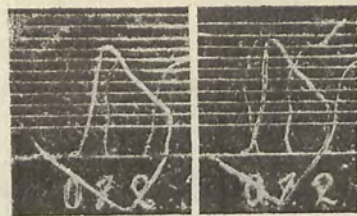


Рис. 12.

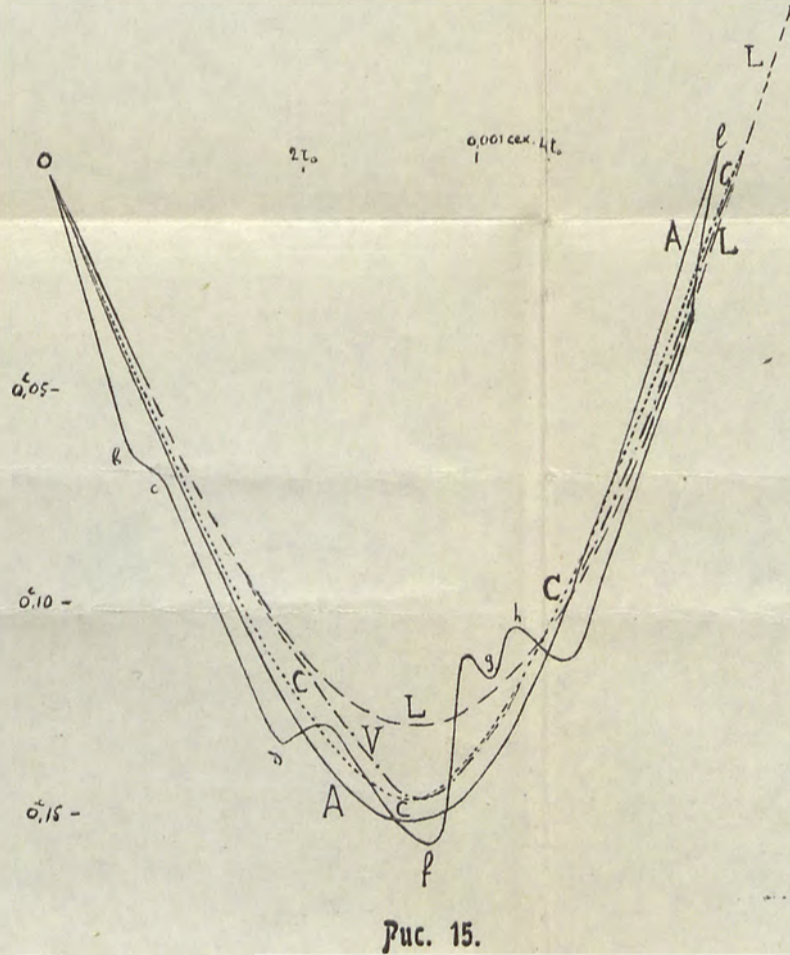


Рис. 15.

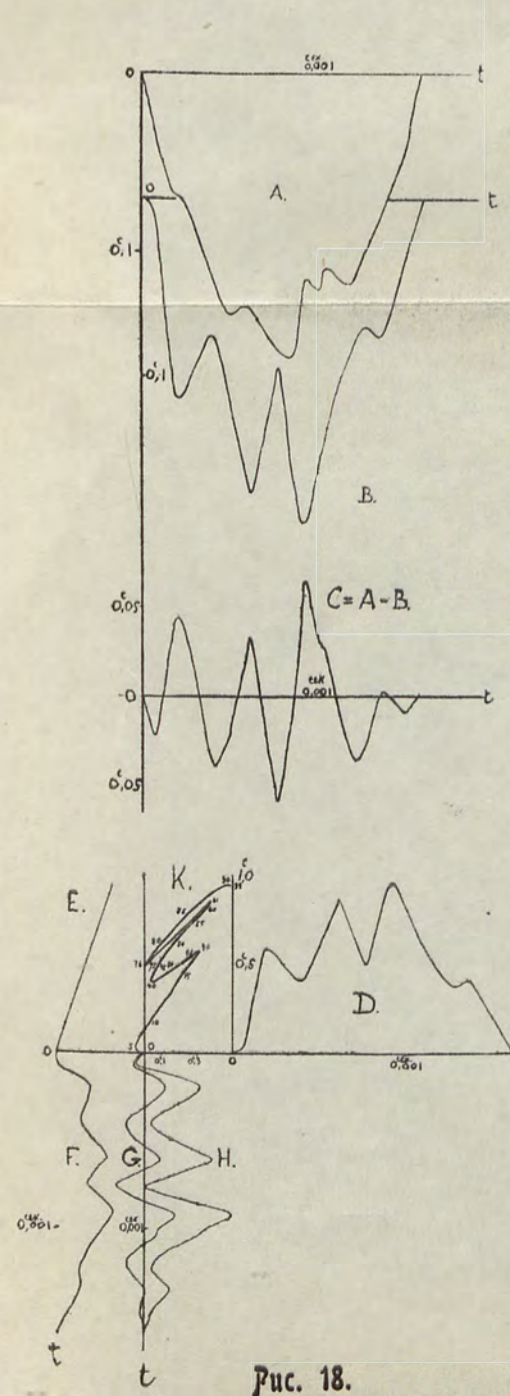


Рис. 18.



Рис. 20.



Рис. 22.

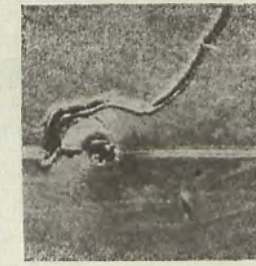


Рис. 23.



Рис. 24.

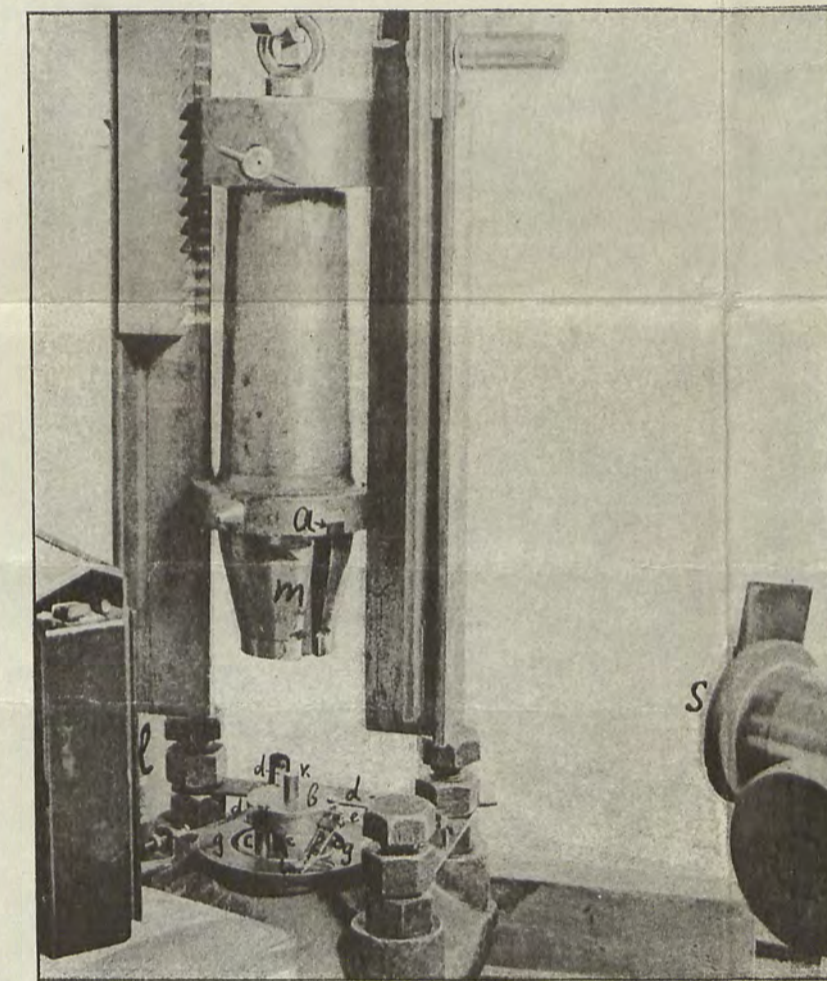


Рис. 25.



Рис. 27.

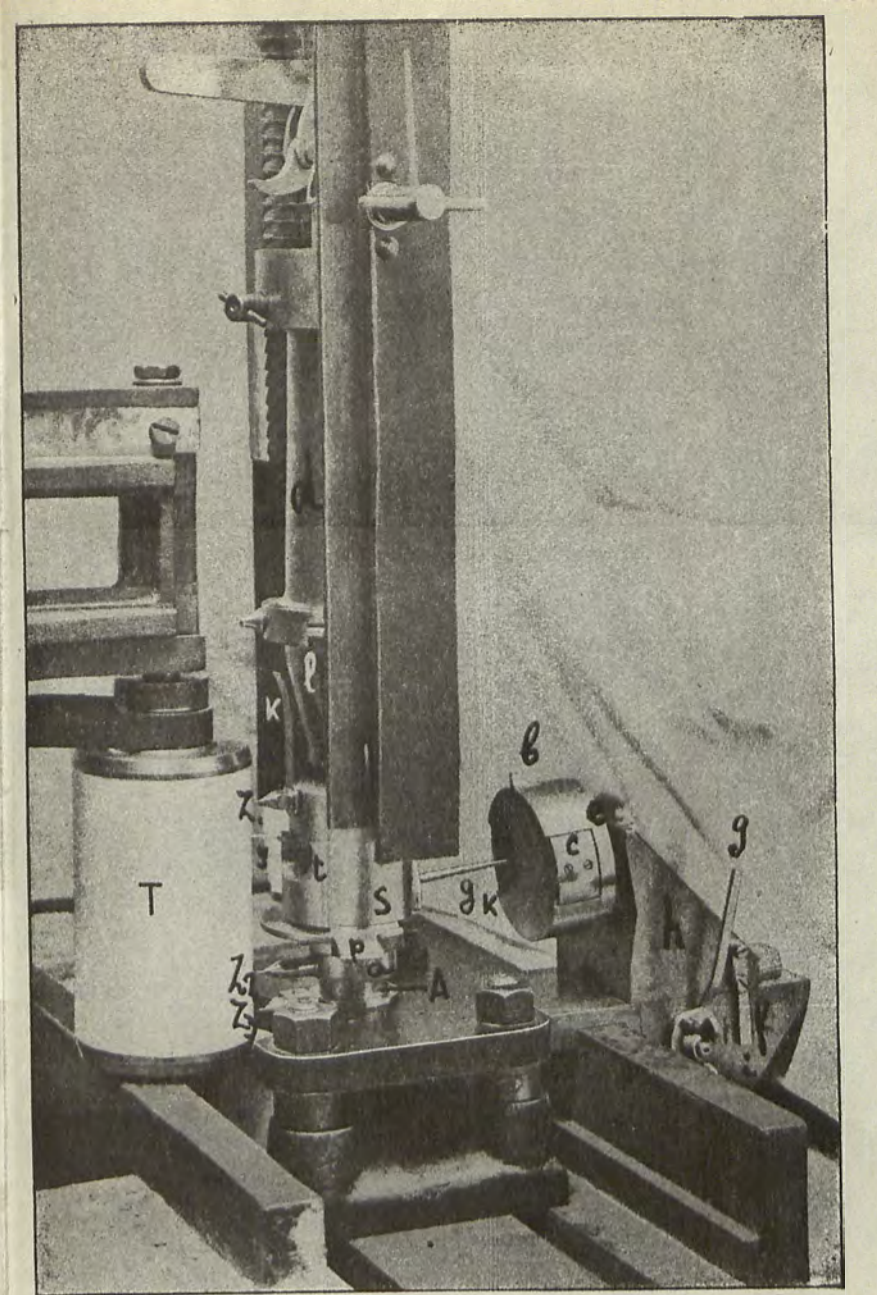


Рис. 21.

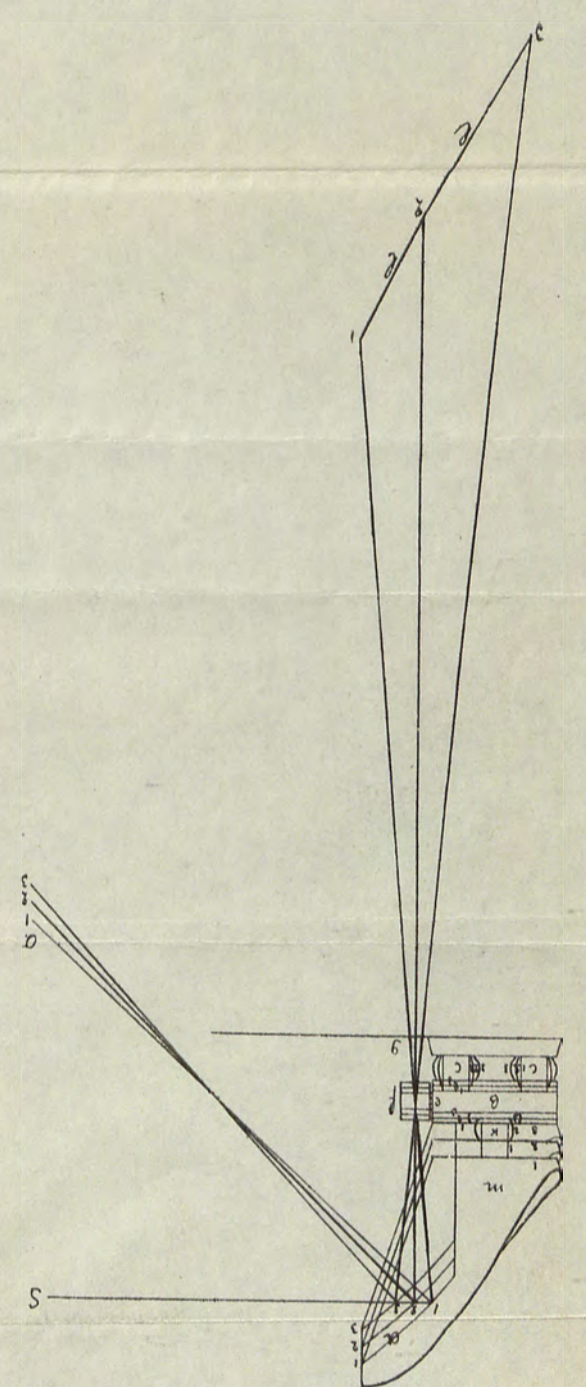


Рис. 26.

Автографическая запись зависимости между усилиями и деформациями во время удара

КНЯЗЬ А. Г. ГАГАРИНЪ.

Докладъ на собраніи Русскаго Общества испытанія материаловъ, въ Москвѣ, 21 Апрѣля 1912 года.

зеркало A вставлено въ бабу, а другое плоское зеркальце f въ 1 квадратный миллиметр надѣто на винтикъ-ось e , вставленный въ наковальню. Конецъ рамки для f развилень и винтикъ i , пропущенными черезъ вилку, обезпечиваетъ постоянное прикосновеніе вилки къ основанію g . Записи получаютъ слѣдующимъ образомъ: пучекъ лучей свѣта, направленный на зеркало a изъ лампы s , отражается внизъ на второе зеркальце и оттуда посылается на фотографическую пластинку e . Зеркало на бабѣ улавливается пучекъ свѣта передъ самымъ началомъ удара. Во время паденія бабы и деформированія образца зайчикъ постепенно переходитъ справа на лѣво по чувствительной пластинкѣ, (фиг. 26). Происходящее въ этотъ моментъ сжатіе крешерныхъ столбиковъ вызываетъ измѣненіе въ уклонѣ малаго зеркальца и возрастаніе усилій отмѣчается подъемомъ зайчика на пластинкѣ.

На фиг. 27 приведена діаграмма обжатія ударомъ по мягкому стальному цилиндру на нашемъ приборѣ. Здѣсь предѣлъ упругости вполне обозначился, а періоды чрезвычайно быстрыхъ колебаній наковальни показаны ввидѣ перловъ на траекторіи. Эти перлы вводятъ элементъ времени и даютъ намъ мѣру измѣненной скорости образованія діаграммы. На этомъ мнѣ пришлось прервать свои опыты надъ неупругимъ динамометромъ.

Такимъ образомъ я получилъ діаграммы, въ которыхъ никакіе посторонніе элементы не могли войти. Въ нихъ записаны только усилія и деформациі.

Далѣе, я намѣренъ тарировать приборъ и на діаграммныя бланки нанести координатныя сѣтки для разныхъ скоростей удара. Здѣсь трудность представляетъ получить динамическое тарированіе усилій. Для этого я намѣренъ снимать образецъ съ плитки, оставлять внизу крешерные столбики и производить ударъ бабы съ данной скоростью, замѣнивъ неподвижную фотографическую пластинку свѣточувствительной пленкой на барабанѣ Морена. Вслѣдствіи этого кривая зависимости обжатія крешеровъ отъ деформациі образца замѣнится кривой зависимости обжатія крешеровъ отъ времени, т. е траекторіею обжатія крешеровъ на нашемъ приборѣ. При помощи прибора Вагенера *) я дважды продифференцирую траекторію, получу кривую ускореній, умножу на массу и полученные кривыя давленія нанесу на координатный діаграммный бланкъ.

Князь А. Г. Гагаринъ.

*) Zeitschrift des Vereins deutscher Ingenieure, Band 56, № 1, Seite 20.