

Къ вопросу объ углѣ заостренія фрезы.

Изъ области изслѣдованія работы обыкновеннаго рѣзца слѣдуетъ, что въ зависимости отъ качества обрабатываемаго металла долженъ измѣняться и уголъ работающаго рѣзца для сохраненія принципа наивыгоднѣйшей работы. Такъ, по опытнымъ изслѣдованіямъ Тейлора, слѣдуетъ:

А) для рѣзанія чугуна и твердыхъ сортовъ стали съ содержаніемъ углерода около 0,45% рѣзецъ долженъ имѣть уголъ рѣзанія 68° при заднемъ углѣ рѣзанія 8° .

В) Для рѣзанія мягкихъ сортовъ стали съ содержаніемъ углерода менѣе 0,45% уголъ рѣзанія рѣзца долженъ быть 61° при томъ же заднемъ углѣ рѣзца.

С) Для рѣзанія отбѣленной корки чугуна—уголъ рѣзанія долженъ быть $86-90^{\circ}$ при томъ же размѣрѣ задняго угла рѣзца.

Д) Для стали, равной по твердости бандажной,—уголъ рѣзанія равенъ 74° при тѣхъ же условіяхъ относительно размѣровъ задняго угла рѣзца.

Такимъ образомъ изъ предыдущаго ясно видно, что для рѣзцовъ обычной конструкціи существуетъ вполне опредѣленная практическая зависимость относительно угла рѣзанія рѣзца въ зависимости отъ характера обрабатываемаго металла. Вполнѣ естественно предполагать, что подобная зависимость существуетъ и для болѣе усовершенствованныхъ типовъ рѣзцовъ, каковыми являются фрезы. Но въ дѣйствительности, на практикѣ, подобной зависимости не наблюдается,—уголъ рѣзанія у современныхъ фрезъ съ весьма малымъ исключеніемъ равенъ 90° . Основная причина подобнаго явленія для современныхъ фрезъ заключается въ томъ, что фреза представляетъ изъ себя весьма цѣнный инструментъ, а посему является вполне естественное желаніе конструировать фрезу для большаго цикла возможныхъ для нея работъ, но при этомъ фреза должна хорошо сохраняться, слѣдовательно имѣть наиболѣе стойкій уголъ рѣзанія, равный 90° . Понятно, что при такихъ условіяхъ при постоянномъ углѣ рѣзанія 90° приходится иногда тратить значительное количество энергіи, поглощаемой фрезой, на-расно, что можно было бы и избѣжать, имѣя значительный наборъ

фрезъ съ различными углами рѣзанія. Но выгода, полученная въ экономіи расхода энергіи, поглощаемой фрезой при работѣ, въ большинствѣ случаевъ на практикѣ не окупаетъ въ подобныхъ случаяхъ тѣхъ затратъ, которыя необходимо произвести для набора такого ассортимента фрезъ съ различными углами рѣзанія. Кромѣ только что указанной экономической причины есть еще и практическая причина, мѣшающая измѣненію угла рѣзанія у фрезъ, а именно: только у фрезъ торцевыхъ и простой цилиндрической формы возможно практически безъ большихъ трудностей при изготовленіи ихъ измѣнять уголъ рѣзанія, дѣлая его меньше 90° , но при этомъ передняя грань рѣзца не проходитъ черезъ ось фрезы. Воспроизвести такую-же переднюю грань рѣзца съ отклоненіемъ угла рѣзанія отъ 90° для большинства фасонныхъ фрезъ является практически неосуществимой задачей. Указанія на то, что съ уменьшеніемъ угла рѣзанія фрезы отъ обычнаго 90° уменьшится расходуемая ей работа, были сдѣланы еще въ концѣ прошлаго столѣтія французомъ Desgrandchamps¹⁾, который предлагалъ изготовлять цилиндрическія фрезы, у которыхъ передняя грань рѣзца направлена не по радіусу фрезы, а по нѣкоторой касательной къ окружности въ нѣсколько разъ меньшаго діаметра, чѣмъ у фрезы. Несмотря на очевидность въ экономіи работы фрезы послѣдней конструкции, фреза съ поднутреніемъ ея зубцовъ, вслѣдствіе ранѣе указанныхъ экономическихъ и практическихъ соображеній, распространенія на современномъ рынкѣ не получила. Лучшіе заводы Брауна и Шарпа, Пратта и Уитнея, Рейнекера, Лёве и др. изготовляютъ въ данное время фрезы съ угломъ рѣзанія 90° . Чтобы иллюстрировать, что съ уменьшеніемъ угла рѣзанія фрезы отъ 90° до наивыгоднѣйшихъ размѣровъ для обычныхъ рѣзцовъ будетъ экономія въ работѣ, поглощаемой фрезой, въ механическихъ мастерскихъ Томскаго Технологическаго Института былъ спроектированъ и выполненъ довольно простой конструкціи масляный динамометръ, который далъ возможность при помощи діаграммъ обычнаго индикатора опредѣлить крутящій моментъ фрезы и по немъ прослѣдить условія работы цилиндрической фрезы при измѣненіи угла заостренія у рѣзущихъ зубцовъ послѣдней.

Первоначальныя изслѣдованія по этому вопросу были сдѣланы въ механическихъ мастерскихъ Томскаго Технологическаго Института студентами, а болѣе детальныя въ вполнѣ однородныхъ условіяхъ послѣ, независимо отъ первыхъ.

Устройство вышеназваннаго динамометра заключается въ слѣдующемъ: (фиг. 1 и 2 прилагаемой къ статьѣ таблицы, $\frac{1}{2}$ натуральной

¹⁾ Вѣстникъ О-ва Технологовъ. 1909 стр. 541.

величины) въ поломъ шпиндель обыкновеннаго универсально-фрезернаго станка закрѣплялась оправка для испытываемой фрезы, при чемъ эта оправка была нѣсколько иной конструкціи по сравненію съ таковой для обычныхъ универсально-фрезерныхъ станковъ. Въ шпиндель станка закрѣплялась правая часть этой оправки неподвижно и вращалась вмѣстѣ со ступенчатымъ шкивомъ станка; указанная правая часть этой оправки оканчивалась особой вилкой, при помощи которой передавалось усилие отъ ремня станка поршнямъ гидравлическихъ цилиндровъ (1, 2), составляющихъ одно цѣлое съ цилиндрической оправкой, на которую закрѣплялась испытываемая фреза (3). Подъ поршни гидравлическихъ цилиндровъ наливалось масло, и воздухъ послѣ ряда необходимыхъ колебаній и другихъ мѣръ предосторожности тщательно удалялся изъ подъ поршней цилиндровъ (1, 2). Оправка фрезы, какъ это видно изъ чертежа, внутри имѣетъ каналъ (5), который соединяется особыми трубками съ масляными цилиндрами прибора (1, 2), а указанный каналъ (5) соединяется съ поршнемъ обыкновеннаго индикатора. Цилиндрическая часть оправки, на которой сидитъ фреза, по отношенію правой части оправки (вилкѣ), составляющей одно цѣлое со шпинделемъ станка, можетъ вращаться, но соединеніе въ одно цѣлое обѣихъ половинъ оправки происходитъ только черезъ поршни масляныхъ цилиндровъ. Такимъ образомъ усилие, преодолеваемое фрезой при работѣ, вызываетъ определенное давление на масло подъ поршнями цилиндровъ (1, 2), а масло изъ послѣднихъ черезъ каналъ (5) оправки фрезы дѣйствуетъ на поршень индикатора. Брусокъ (12), съ котораго снимались стружки фрезой, былъ закрѣпленъ на столѣ станка при помощи простыхъ упорковъ (13, 13). Для полученія діаграммы на индикаторѣ шнурокъ послѣдняго соединялся при помощи отводящихъ роликовъ со столомъ станка; слѣдовательно, въ зависимости отъ величины подачи стола при работѣ фрезой, постепенно вращался барабанъ индикатора, а карандашъ индикатора, въ зависимости отъ величины давления масла на поршни прибора, оставлялъ кривую давленій на діаграммѣ. Діаграмма, полученная по этому способу (фиг. 3, для фрезы съ угломъ рѣзанія 80° и толщиной стружки $4^{\text{м}}/\text{м}$), представляетъ сплошную заштрихованную площадь и была не вполне удобна для измѣреній. Для уничтоженія послѣдняго недостатка и для болѣе яснаго представленія о работѣ всѣхъ зубцовъ фрезы для дальнѣйшихъ испытаній былъ закрѣпленъ рядомъ съ фрезой на оправкѣ послѣдней особый барабанъ (4) съ спиральною выточкою (11). Длина той части (4) барабана, гдѣ имѣлась спиральная выточка, была меньше окружности индикатора. Въ

спиральной выемкѣ барабана (4) могъ при нажатіи перемѣщаться штифтъ (10), составляющій одно цѣлое съ косымъ плоскимъ рычагомъ (8). Последній рычагъ (8) съ своей цилиндрической направляющей можетъ перемѣщаться продольно оправки фрезы въ пазахъ особыхъ захватокъ (7,7), на которыхъ рычагъ (8) подвѣшенъ къ косому колѣну станка. Къ концу (9) цилиндрическаго стержня рычага (8) прикрѣпляется конецъ шнура индикатора. Измѣняя длину спирали на барабанѣ (4) (были поставлены смѣнные барабаны), можно при нажатіи штифта (10) въ впадину спирали снимать при помощи указанного индикатора діаграммы давленій на масло поршней динамометра за $\frac{1}{2}$, 1 и 2 оборота фрезы во время работы. Фиг. 4 даетъ копию одной изъ такихъ діаграммъ для двухъ оборотовъ фрезы съ угломъ рѣзанія 80° и толщиной стружки $4^m/m$. Фиг. 5—есть копия діаграммы давленій за два оборота фрезы съ угломъ рѣзанія 90° и для толщины стружки $4^m/m$. Работа каждого рѣзца фрезы на двухъ послѣднихъ діаграммахъ отчетливо замѣтна. Общее число всѣхъ снятыхъ діаграммъ было весьма значительно, но для полученія общихъ выводовъ по данному вопросу для подсчета бралось не меньше трехъ характерныхъ діаграммъ для данного случая.

На всѣхъ полученныхъ индикаторныхъ діаграммахъ были вычислены среднія индикаторныя давленія, затѣмъ изъ всѣхъ полученныхъ среднихъ индикаторныхъ давленій, относящихся къ каждой діаграммѣ въ отдѣльности, были вычислены среднія индикаторныя давленія для каждой толщины слоя. Результаты всѣхъ вычисленій помѣщены въ въ нижеслѣдующихъ таблицахъ (масштабъ индик. пруж. 12 mm 1 klg.)

Таблица среднихъ индикаторныхъ давленій для діаграммъ, снятыхъ при первомъ способѣ вращенія барабана.

Фреза съ угл. рѣзан. рѣзовъ 90° .			Фреза съ угл. рѣзан. рѣзовъ 80° .	
Толщина слоя въ mm	Сред. индикаторн. давл. на каждой ді-аграммѣ въ kg/cm .	Средн. индикат. давленіе для кажд. толщ. слоя	Средн. индикаторн. давл. на каждой ді-аграммѣ въ kg/cm .	Средн. индикат. давленіе для кажд. толщ. слоя
1	1,41; 1,36; 1,33;	1,366	0,75; 0,733; 0,789;	0,757
2	1,477; 1,599; 1,532;	1,536	0,881; 1,06; 1,15;	1,03
3	2,295; 2,351; 2,079;	2,241	1,451; 1,475; 1,454;	1,46
4	2,839; 3,02; 3,1012;	2,906	1,725; 1,755; 1,752;	1,744

Слѣдующая таблица содержитъ величины среднихъ индикаторныхъ давленій для діаграммъ, снятыхъ при второмъ способѣ вращенія барабана индикатора; въ этой таблицѣ приведены среднія индикаторныя давленія для тѣхъ діаграммъ, которыя были сняты во время работы съ втулкой, винтовая борозда которой соответствовала двумъ оборотамъ фрезы

1	0,927; 0,975; 0,953; 0,973;	0,975	0,67; 0,612; 0,65; 0,6;	0,633
2	1,716; 1,763; 1,702; 1,703;	1,721	0,764; 0,76; 0,669; 0,671;	0,716
3	2,185; 2,104; 2,5175; 2,5175;	2,331	1,051; 1,054; 1,125; 0,996;	1,056
4	2,948; 2,616; 3; 2,817	2,845	1,403; 1,395; 1,49; 1,46;	1,437

Если теперь изъ полученныхъ среднихъ индикаторныхъ давленій для каждой толщины слоя вычесть давленіе, обусловливаемое треніемъ въ приборѣ, то получится абсолютное давленіе, зависящее отъ сопротивленія рѣзанію фрезы. Для діаграммъ, снятыхъ при первомъ способѣ вращенія барабана во время работы съ фрезой, рѣзцы которой имѣютъ уголъ рѣзанія $=90^\circ$, слѣдуетъ вычесть изъ среднихъ индикаторныхъ давленій $0,225 \text{ kg/cm}^2$, для всѣхъ же остальныхъ діаграммъ слѣдуетъ вычесть изъ среднихъ индикаторныхъ давленій $0,1375 \text{ kg}$., такъ какъ въ послѣднемъ случаѣ работа производилась съ приборомъ, который послѣ предварительной разборки былъ вычищенъ и смазанъ, слѣдовательно, треніе въ немъ было значительно меньше, и во время работы онъ былъ несравненно чувствительнѣе. Результаты полученныхъ вычисленій помѣщены въ нижеслѣдующей таблицѣ.

Таблица среднихъ (исправленныхъ) индикаторныхъ давленій для діаграммъ снятыхъ при первомъ способѣ вращенія барабана.

Толщина слоя въ mm.	Среднія индикат. давленія для фрезы съ угломъ рѣзанія рѣз- цовъ $=90^\circ$.	Среднія индикат. давленія для фрезы съ угломъ рѣзанія рѣз- цовъ $=80^\circ$.
1	1,141	0,6195
2	1,311	0,8925
3	2,016	1,3225
4	2,761	1,6065

Таблицы средних (исправленных) индикаторных давлений для диаграмм снятых при втором способѣ вращенія барабана.

1	0,8195	0,4955
2	1,5836	0,5785
3	2,1935	0,9185
4	2,7075	1,2995

При помощи полученных въ исправленномъ видѣ средних индикаторныхъ давлений нужно вычислить моменты, дѣйствующие на поршняхъ маслянаго прибора; для этого имѣется слѣдующее уравненіе:

$$M = l \cdot S \cdot p_i, \text{ гдѣ}$$

M —моментъ дѣйствующій на поршняхъ

l —плечо между поршнями, —разстоянію между осями поршней, —200 mm.

S —площадь поршня; площадь поршня опредѣляется по формулѣ

$$S = \frac{\pi d^2}{4}, \text{ гдѣ } d \text{ — діаметръ поршня } = 4,5 \text{ см., слѣдовательно площадь}$$

$$\text{поршня } = S = \frac{\pi \cdot 4,5^2}{4} = 15,806 \text{ см}^2.$$

p_i —среднее индикаторное давленіе для каждой толщины слоя въ kg/cm^2 .

Вычисленные по вышеприведенному уравненію моменты помѣщены въ слѣдующей таблицѣ.

	Толщина слоя въ mm.	Моменты на поршняхъ для фрезы съ угломъ рѣзанія рѣз- повъ=90°.	Моменты на поршняхъ для фрезы съ угломъ рѣзанія рѣз- повъ=80°.
При первомъ способѣ вращенія барабана ин- дикатора	1	3627,5 mm kg	1969,5 mm kg.
	2	4168	2837,5
	3	6409	4204,5
	4	8778	5107,5
При второмъ способѣ вращенія барабана ин- дикатора.	1	260;	1589,5
	2	5023,4	1843
	3	6964	2924
	4	8584	4132,5

При помощи полученныхъ моментовъ можно опредѣлить окружныя усилія на рѣзцахъ фрезы, находящихся въ каждый данный моментъ въ работѣ;

для этого имѣется уравненіе

$$M = W \cdot r \text{ или } W = \frac{M}{r}, \text{ гдѣ}$$

W — окружное усиліе, дѣйствующее на рѣзцы фрезы.

M — моментъ на поршняхъ прибора.

r — наружный радіусъ фрезы = 50,5 mm.

Результаты произведенныхъ вычисленій по вышеприведенному уравненію помѣщены въ слѣдующей таблицѣ.

	Толщина слоя въ mm.	Окружныя усилія для фрезы съ угломъ рѣзанія рѣзцовъ = 90°.	Окружныя усилія для фрезы съ угломъ рѣзанія рѣзцовъ = 80°.
При первомъ способѣ вращенія барабана индикатора.	1	71,8 kg.	39 kg.
	2	82,5	56
	3	126,9	83
	4	173,8	101
При второмъ способѣ вращенія барабана индикатора.	1	51,6	31,5
	2	99,4	36,5
	3	138	57,9
	4	170	81,6

Теперь нужно опредѣлить, сколько зубцовъ фрезы принимаетъ одновременно участіе при сниманіи каждой толщины слоя. Имѣемъ чертежъ (фиг. 6), гдѣ D — наружный діаметръ фрезы, d — толщина снимаемаго слоя, ψ — уголъ соответствующій части окружности фрезы съ зубцами, одновременно снимающими слой толщиной d .

Уголъ α , соответствующій одному зубцу фрезы (при числѣ всѣхъ зубцовъ фрезы = 22), опредѣлится слѣдующимъ образомъ

$$\alpha = \frac{360}{22} = 16^\circ 21' 49''$$

Уголъ ψ_1 , соответствующій толщинѣ снимаемаго слоя $d = 1$ mm., опредѣлится изъ уравненія

$$\frac{D}{2} - d = \cos \psi \cdot \frac{D}{2} \text{ или } \cos \psi = \frac{\frac{D}{2} - d}{\frac{D}{2}}, \text{ гдѣ}$$

$\frac{D}{2}$ = радіусъ фрезы = 50,5 mm., $d = 1$ mm., слѣдовательно

$$\cos \psi_1 = \frac{50,5 - 1}{50,5} = \frac{49,5}{50,5} = 0,9802, \text{ отсюда } \psi_1 = 11^\circ 25'.$$

Изъ сравненія двухъ угловъ α и ψ_1 видно, что при толщинѣ снимаемаго слоя $d = 1$ mm. въ работѣ принимаетъ участіе въ каждый данный моментъ только одинъ зубъ фрезы. Для толщины снимаемаго слоя $d = 2$ mm. уголъ ψ_2 опредѣлится изъ уравненія

$$\cos \psi_2 = \frac{\frac{D}{2} - d_2}{\frac{D}{2}} = \frac{50,5 - 2}{50,5} = \frac{48,5}{50,5} = 0,9604.$$

$$\psi_2 = 16^\circ 11''.$$

Изъ второго сравненія двухъ угловъ α и ψ_2 видно, что при толщинѣ снимаемаго слоя $d = 2$ mm. въ работѣ въ каждый данный моментъ принимаетъ участіе одинъ зубъ.

Для толщины снимаемаго слоя $d = 3$ mm. уголъ ψ_3 опредѣлится изъ уравненія

$$\cos \psi_3 = \frac{\frac{D}{2} - d_3}{\frac{D}{2}} = \frac{50,5 - 3}{50,5} = \frac{47,5}{50,5} = 0,9406$$

$$\psi_3 = 19^\circ 51'$$

Изъ послѣдняго сравненія угловъ α и ψ_3 видно, что при толщинѣ снимаемаго слоя $d = 3$ mm. въ каждый данный моментъ принимаютъ участіе два зубца фрезы; уголъ соответствующій второму зубцу фрезы, $\psi_3' = \psi_3 - \alpha = 19^\circ 51' - 16^\circ 21' 49'' = 3^\circ 29' 11''$; соотв. $\cos 3^\circ 29' 11'' = 0,9982$.

Толщина слоя d_3' , снимаемаго 2-мъ зубцомъ, опредѣляется изъ уравненія

$$\cos \psi_3' = \frac{\frac{D}{2} - d_3'}{\frac{D}{2}} \text{ или } d_3' = \frac{D}{2} - \frac{D}{2} \cos \psi_3' = 50,5 - 50,5 \cos 3^\circ 29' 11'' =$$

$$= 50,5 - 50,5 \cdot 0,9982, \text{ т. е.}$$

$$d_3' = 0,091 \text{ mm.}$$

Для толщины снимаемаго слоя $d = 4$ mm. уголъ ψ_4 опредѣлится изъ уравненія

$$\cos \psi_4 = \frac{\frac{D}{2} - d_4}{\frac{D}{2}} = \frac{50,5 - 4}{50,5} = \frac{46,5}{50,5} = 0,9208.$$

$$\psi_4 = 22^\circ 57' 30''.$$

Отсюда видно, что при толщинѣ слоя $d = 4$ mm. въ работѣ одновременно участвуютъ два зубца. Уголъ соответствующій второму зубцу $\psi_4' = \psi_4 - \alpha = 22^\circ 57' 30'' - 16^\circ 21' 49'' = 6^\circ 35' 41''$; соответствующій $\cos 6^\circ 35' 41'' = 0,9934$; толщина слоя, снимаемаго вторымъ зубцомъ,

$$= d_4' = \frac{D}{2} - \frac{D}{2} \cos \psi_4' = 50,5 - 50,5 \cdot \cos 6^\circ 35' 41'' = 50,5 \cdot 0,9934 = 0,33 \text{ mm.}$$

Для опредѣленія толщины стружки, снимаемой однимъ зубцомъ фрезы, имѣемъ чертежъ (фиг. 7), на которомъ $ebfiac$ представляетъ стружку, снимаемую однимъ зубцомъ фрезы, $\frac{D}{2}$ — радиусъ фрезы, d — толщина снимаемаго слоя.

Для расчета необходимо допустить, что въ то время, когда зубъ фрезы снимаетъ стружку $ebfiac$, сама фреза перемѣстится на величину mm_1 , равную величинѣ подачи на одинъ зубъ фрезы, и что кривая ebf внѣшняго очертанія есть дуга радиуса $= \frac{D}{2}$; въ такомъ случаѣ толщина стружки для нѣкоторого положенія, соответствующаго углу y , представится такъ:

$$X = ac \sin y,$$

гдѣ ac равняется mm_1 , т. е. величинѣ подачи фрезы на одинъ зубъ. Если фрезы имѣетъ Z работающихъ зубьевъ, n число оборотовъ въ 1 мин. и V скорость подачи въ секунду, то

$$ac = \frac{60}{n} \cdot \frac{V}{Z},$$

слѣдовательно

$$X = \frac{60}{n} \cdot \frac{V}{Z} \cdot \sin y;$$

но наибольшая толщина стружки δ будетъ тогда, когда $y = \psi$, т. е.

$$\delta = \frac{60}{n} \cdot \frac{V}{Z} \sin \psi;$$

для толщины снимаемого слоя $d \cos \psi = \frac{D-d}{2}$, а

$$\sin \psi = \sqrt{1 - \cos^2 \psi} = \sqrt{4 \left(\frac{d}{D} - \frac{D^2}{d^2} \right)}.$$

Теперь толщина стружки, снимаемой однимъ зубомъ фрезы для слоя толщиной d , выразится такъ

$$\delta = \frac{2.60.V}{n.Z} \cdot \sqrt{\frac{d}{D} - \frac{D^2}{d^2}}.$$

Эта формула для нашего случая можетъ быть значительно упрощена, если въ нее подставить цифровыя величины общія для всѣхъ случаевъ работы съ наблюдаемыми фрезами; такъ вмѣсто V подставить скорость подачи фрезы въ одну секунду $= \frac{2,4}{60} = 0,04$ mm.; вмѣсто n — число оборотовъ фрезы въ одну мин. $= 12$; вмѣсто Z число зубьевъ фрезы, работающих въ продолженіи одной сек., $= \frac{12}{60} \cdot 22 = 4,4$; вмѣсто D — наружный діаметръ фрезы $= 101$ mm., то формула для δ приметъ слѣдующій видъ:

$$\delta = \frac{2.60.0,44}{12.4,4} \sqrt{\frac{d}{101} - \frac{101^2}{d^2}} = \frac{1}{11} \sqrt{\frac{101.d - d^2}{101^2}} = \frac{1}{1011} \sqrt{101.d - d^2}$$

$$\delta = \frac{1}{1011} \sqrt{d(101-d)}$$

При толщинѣ снимаемого слоя $d = 1$ mm. въ работѣ, какъ уже извѣстно, въ каждый данный моментъ участвуетъ одинъ зубъ фрезы. Толщина стружки, снимаемой однимъ зубцомъ фрезы, опредѣлится по формулѣ

$$\delta_1 = \frac{1}{1011} \sqrt{d(101-d)} = \frac{1}{1011} \cdot \sqrt{1(101-1)} = \frac{10}{1011},$$

т. е.

$$\delta_1 = 0,009891 \text{ mm.}$$

При толщинѣ снимаемого слоя $d = 2$ mm. въ работѣ въ каждый данный моментъ участвуетъ одинъ зубъ фрезы. Толщина стружки, снимаемой однимъ зубомъ фрезы, опредѣлится по той же формулѣ

$$\delta_2 = \frac{1}{1011} \sqrt{d(101-d)} = \frac{1}{1011} \sqrt{2(101-2)} = \frac{1}{1011} \sqrt{198},$$

откуда

$$\delta_2 = 0,01392 \text{ mm.}$$

Далѣ при толщинѣ снимаемаго слоя $d = 3 \text{ mm.}$ въ работѣ въ каждый данный моментъ участвуетъ два зуба фрезы. Толщина стружки, снимаемой однимъ зубомъ фрезы, для этого случая опредѣлится изъ соотношенія

$$\delta_3' = \frac{1}{1011} \sqrt{d(101-d)} = \frac{1}{1011} \sqrt{3(101-3)} = \frac{1}{1011} \sqrt{294}.$$

$$\delta_3' = 0,01696 \text{ mm.}$$

Толщина стружки, снимаемой другимъ зубомъ фрезы, для того же случая опредѣлится изъ уравненія

$$\delta_3'' = \frac{1}{1011} \sqrt{d(101-d)} = \frac{1}{1011} \sqrt{0,091(101-0,091)} =$$

$$= \frac{1}{1011} \sqrt{9,1827}$$

$$\delta_3'' = 0,002997 \text{ mm.}$$

При толщинѣ снимаемаго слоя $d = 4 \text{ mm.}$ въ работѣ, какъ было указано раньше, въ каждый моментъ участвуютъ два зуба фрезы.

Толщина стружки, снимаемой однимъ зубомъ фрезы, для послѣдняго случая опредѣлится изъ соотношенія

$$\delta_4' = \frac{1}{1011} \sqrt{d(101-d)} = \frac{1}{1011} \sqrt{4(101-4)} = \frac{1}{1011} \sqrt{388}$$

$$\delta_4' = 0,0195 \text{ mm.}$$

Толщина стружки, снимаемой вторымъ зубомъ фрезы, опредѣлится изъ уравненія

$$\delta_4'' = \frac{1}{1011} \sqrt{d(101-d)} = \frac{1}{1011} \sqrt{0,33(101-0,33)} = \frac{1}{1011} \sqrt{33,22}$$

$$\delta_4'' = 0,005701 \text{ mm.}$$

Наконецъ для опредѣленія коэффициента рѣзанія имѣется общая формула:

$$W = k. \delta. b \text{ или } R = \frac{W}{\delta. b},$$

гдѣ R —коэффициентъ рѣзанія въ kg/mm^2

W —окружное усилие на рѣзцахъ фрезы, работающих одновременно. Значеніе для W берется изъ вышеприведенной таблицы сообразно каждому случаю.

δ —толщина стружки. При сниманіи слоя толщина въ 1 и 2 mm. въ работѣ одновременно участвуетъ одинъ рѣзецъ фрезы, слѣдовательно для этихъ случаевъ вмѣсто δ нужно подставить значеніе толщины стружки, снимаемой однимъ рѣзцомъ фрезы. При сниманіи слоя толщиной въ 3 и 4 mm. въ работѣ одновременно участвуютъ два рѣзца фрезы, слѣдовательно для этихъ случаевъ вмѣсто δ нужно подставить значеніе суммы толщинъ стружекъ, сжимаемыхъ двумя рѣзцами.

b —ширина стружки=38,5 mm.

Во-первыхъ займемся опредѣленіемъ коэффициента рѣзанія при первомъ способѣ приведенія во вращеніе барабана индикатора.

Для фрезы съ угломъ рѣзанія рѣзцовъ=90° при толщинѣ снимаемаго слоя $d=1$ mm. коэффициентъ рѣзанія R опредѣлится по формулѣ

$$R = \frac{W}{\delta_1. b} = \frac{71,8}{0,009891. 38,5} = 188,55$$

При толщинѣ слоя $d=2$ mm. коэффициентъ

$$R = \frac{W}{\delta_2. b} = \frac{82,5}{0,01392. 38,5} = 153,94$$

При толщинѣ слоя $d=3$ mm. коэффициентъ R опредѣлится изъ уравненія

$$R = \frac{W}{(\delta_3' + \delta_3'') b} = \frac{126,9}{(0,01696 + 0,002977) 38,5} = 165,13$$

При толщинѣ слоя $d=4$ mm коэффициентъ R опредѣлится изъ соотношенія

$$R = \frac{W}{(\delta_4' + \delta_4'') b} = \frac{173,8}{(0,0195 + 0,005701) . 38,5} = \frac{173,8}{0,025201 . 38,5} = 179,14.$$

Для фрезы съ угломъ рѣзанія рѣзцовъ=80° при толщинѣ слоя $d=1$ mm коэффициентъ R опредѣлится по формулѣ

$$R = \frac{W}{\delta_1. b} = \frac{39}{0,009891. 38,5} = \frac{39}{0,3808} = 102,4.$$

При толщинѣ слоя $d = 2$ mm, коэффициентъ

$$R = \frac{W}{\delta_2 \cdot b} = \frac{56}{0,01392 \cdot 38,5} = \frac{56}{0,5359} = 104,5.$$

При толщинѣ слоя $d = 3$ mm коэффициентъ

$$R = \frac{W}{(\delta_3' + \delta_3'') b} = \frac{83}{(0,01696 + 0,002997) 38,5} = \frac{83}{0,76846} = 108,1.$$

При толщинѣ слоя $d = 4$ mm коэффициентъ

$$R = \frac{W}{(\delta_4' + \delta_4'') b} = \frac{101}{(0,0195 + 0,005701) 38,5} = \frac{101}{0,9702} = 104,1.$$

Затѣмъ опредѣлимъ величины коэффициента рѣзанія при второмъ способѣ приведенія во вращеніе барабана индикатора.

Для фрезы съ угломъ рѣзанія рѣзцовъ $= 90^\circ$ при толщинѣ слоя $d = 1$ mm коэф. R опредѣлится по формулѣ

$$R = \frac{W}{\delta_1 b} = \frac{51,6}{0,009891 \cdot 38,5} = \frac{51,6}{0,3808} = 135,5.$$

При толщинѣ слоя $d = 2$ mm коэффициентъ рѣзанія

$$R = \frac{W}{\delta_2 \cdot b} = \frac{99,4}{0,01392 \cdot 38,5} = \frac{99,4}{0,5359} = 185,5.$$

При толщинѣ слоя $d = 3$ mm коэффициентъ рѣзанія

$$R = \frac{W}{(\delta_3' + \delta_3'') b} = \frac{138}{(0,01696 + 0,002997) 38,5} = \frac{138}{0,76846} = 179,6$$

При толщинѣ слоя $d = 4$ mm. для того же коэффициента рѣзанія имѣемъ

$$R = \frac{W}{(\delta_4' + \delta_4'') b} = \frac{170}{(0,0195 + 0,005701) 38,5} = \frac{170}{0,9702} = 175,2.$$

Для фрезы съ угломъ рѣзанія рѣзцовъ $= 80^\circ$ при толщинѣ слоя $d = 1$ mm. коэффициентъ

$$R = \frac{W}{\delta_1 \cdot b} = \frac{31,5}{0,009891 \cdot 38,5} = \frac{31,5}{0,3808} = 82,72$$

При толщинѣ слоя $d = 2$ mm.

$$R = \frac{W}{\delta_2 \cdot b} = \frac{36,5}{0,01392 \cdot 38,5} = \frac{36,5}{0,5359} = 68,11.$$

При толщинѣ слоя $d = 3$ mm.

$$R = \frac{W}{(\partial_3^1 + \partial_3'')b} = \frac{57,9}{(0,01696 + 0,002997)38,5} = \frac{57,9}{0,76846} = 75,35.$$

При толщинѣ слоя $d = 4$ mm.

$$R = \frac{W}{(\partial_4^1 + \partial_4'')b} = \frac{81,6}{(0,0195 + 0,005701)38,5} = \frac{81,6}{0,9702} = 84,11.$$

Средняя величина коэффициента рѣзанія для фрезы съ угломъ рѣзанія рѣзцовъ $= 90^\circ$ при обоихъ способахъ вращенія барабана индикатора будетъ

$$R = \frac{188,55 + 153,94 + 165,13 + 179,14 + 135,5 + 185,5 + 179,6 + 175,2}{8} = 170,32.$$

Средняя величина коэффициента рѣзанія для фрезы съ угломъ рѣзанія рѣзцовъ $= 80^\circ$ при обоихъ способахъ вращенія барабана будетъ

$$R = \frac{102,4 + 104,5 + 108,1 + 104,1 + 82,72 + 68,11 + 75,35 + 84,11}{8} = 91,17.$$

Результаты всѣхъ вычисленій коэффициента рѣзанія могутъ быть быть представлены въ слѣдующей таблицѣ.

		Толщина слоя въ mm.	Коэффициентъ рѣзанія для фре- зы съ угломъ рѣзанія рѣзцовъ $= 90^\circ$.	Коэффициентъ рѣзанія для фре- зы съ угломъ рѣзанія рѣзцовъ $= 80^\circ$.
При первомъ способѣ вращенія барабана ин- дикатора.	1		188,55	102,4
	2		153,94	104,5
	3		165,13	108,1
	4		179,14	104,1
При второмъ способѣ вращенія барабана ин- дикатора.	1		135,5	82,72
	2		185,5	68,11
	3		179,6	75,35
	4		175,2	84,11
Средняя вели- чина коэффи- циента рѣзанія.			170,32	91,17

Такимъ образомъ изъ данныхъ послѣдней таблицы довольно ясно слѣдуетъ, что при уменьшеніи угла рѣзанія съ 90° до 80° у обычной цилиндрической фрезы при сохраненіи всѣхъ прочихъ условій работы является экономія въ расходѣ поглощаемой ею работы около 58%. Фреза съ угломъ въ 90° была выписана съ завода Л. Лева, съ угломъ въ 80° была изготовлена въ механическихъ мастерскихъ Института. Предполагая, что значительный выигрышъ въ расходѣ поглощаемой энергии фрезой съ угломъ рѣзанія въ 80° по сравненію съ фрезой съ угломъ рѣзанія въ 90° объясняется простою разницею изготовленія и точенія фрезы, въ механическихъ мастерскихъ Института изъ той же стали, изъ которой была изготовлена фреза съ угломъ рѣзанія 80° , была изготовлена фреза съ угломъ рѣзанія въ 90° и съ ней были произведены наблюденія, при чемъ фреза работала весьма мало и была безусловно весьма острой, тогда какъ при ранѣе указанныхъ опытахъ фрезы работали по нѣскольку дней безъ точки, но въ одинаковыхъ условіяхъ,—съ смазкою мыльной водой¹⁾. Диаграммы снимались за одинъ оборотъ фрезы, условія работъ были тѣ же, что и ранѣе для фрезы съ угломъ 90° и на основаніи такихъ диаграммъ путемъ ранѣе приведеннаго подсчета средній коэффициентъ рѣзанія для того-же матеріала (мартеновское желѣзо) при тѣхъ же условіяхъ работы опредѣлился.

Для толщины снимаемаго слоя въ $1 \text{ м/м} - 82,2 \text{ кг/мм}$			
"	"	"	" 2 " 113,2 "
"	"	"	" 3 " 101 "
"	"	"	" 4 " 103,2 "

Среднее значеніе коэффициента рѣзанія изъ послѣднихъ наблюденій— $99,9 \text{ кг/мм}$. Такимъ образомъ и въ послѣднемъ случаѣ, когда условія работы фрезы были весьма благопріятны для нея,—фреза была весьма острой, среднее значеніе коэффициента рѣзанія $99,9 \text{ кг/мм}$ больше средняго значенія коэффициента рѣзанія, получаемаго для фрезы съ угломъ рѣзанія въ 80° ,— $91,17 \text{ кг/мм}$. Измѣненіе угла рѣзанія отъ 90° до 80° достигалось только измѣненіемъ направленія передней грани зубца, при 80° она шла не черезъ центръ фрезы, какъ это было для 90° , а по касательной къ нѣкоторой окружности меньшаго діаметра (чѣмъ у фрезы) съ сохраненіемъ всѣхъ прочихъ размѣровъ зубца.

Увеличить ширину и толщину снимаемой стружки не удалось, вслѣдствіе слабости станка.

¹⁾ Наблюденія надъ работой испытуемой фрезы производились 3—4 часа въ сутки, и только въ этотъ періодъ времени фрезы находились въ работѣ.

Изъ всего ранѣе изложеннаго довольно ярко слѣдуетъ, что основное правило, относящееся къ рѣзцамъ обычной конструкціи и гласящее, что съ уменьшеніемъ угла рѣзанія отъ 90^0 въ предѣлахъ до наивыгоднѣйшаго уменьшается и поглощаемая имъ энергія, вполне примѣнимо и къ рѣзцамъ болѣе сложной конструкціи,—фрезамъ, но только ранѣе указанные причины практическаго и экономическаго характера препятствуютъ проведенію этого принципа въ жизнь.

Т. И. Тихоновъ

Устройство гина-
мометра на универ-
сально-фрезерном
станке.

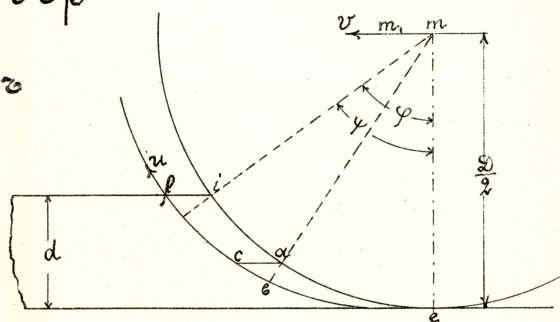


Рис. 7.

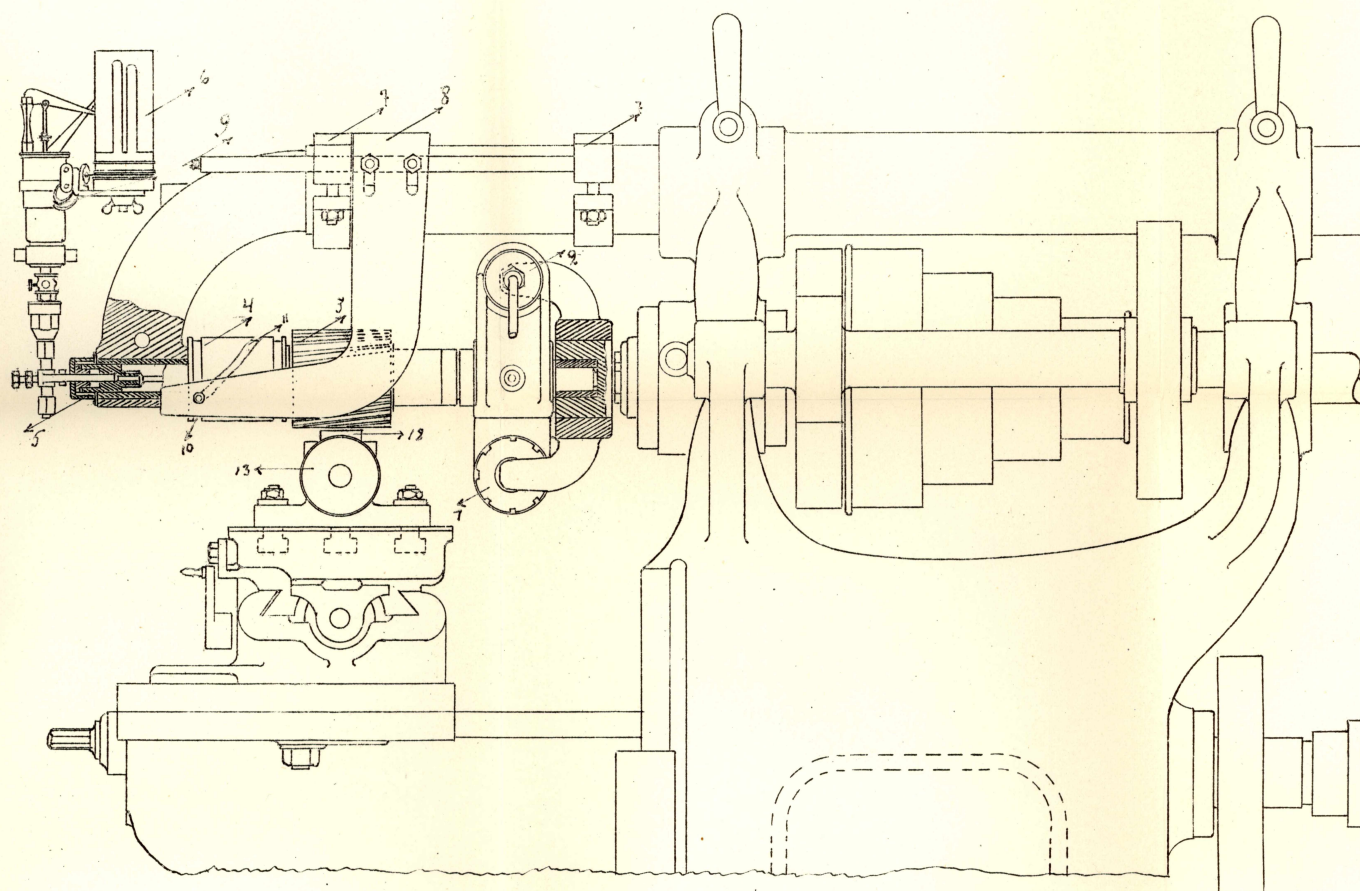


Рис. 1.

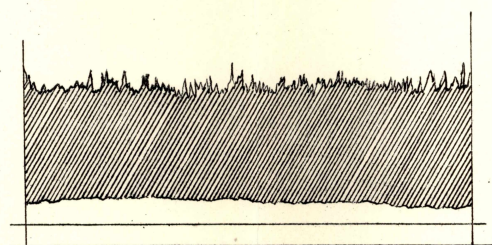


Рис. 5.

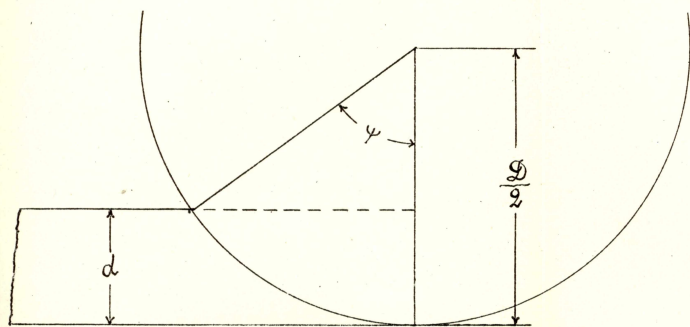


Fig. 6.

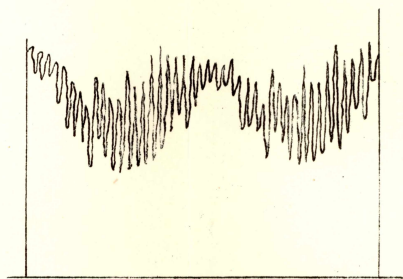


Fig. 5.

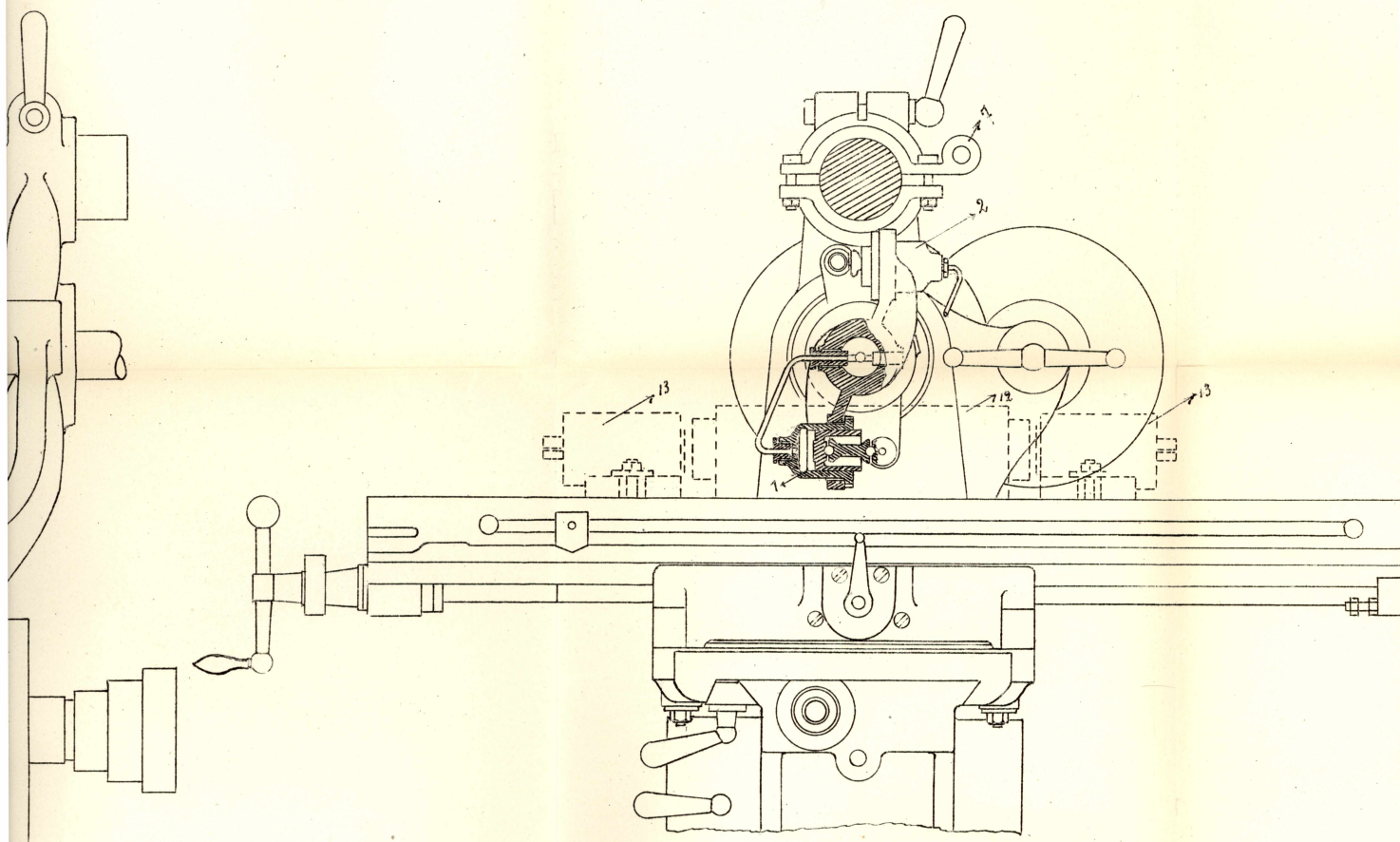


Fig. 2.

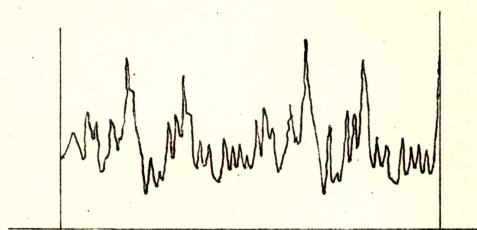
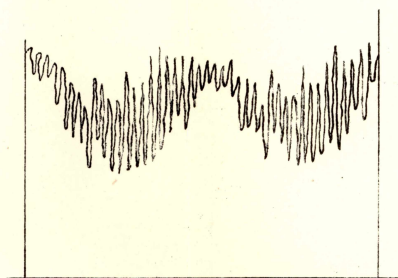
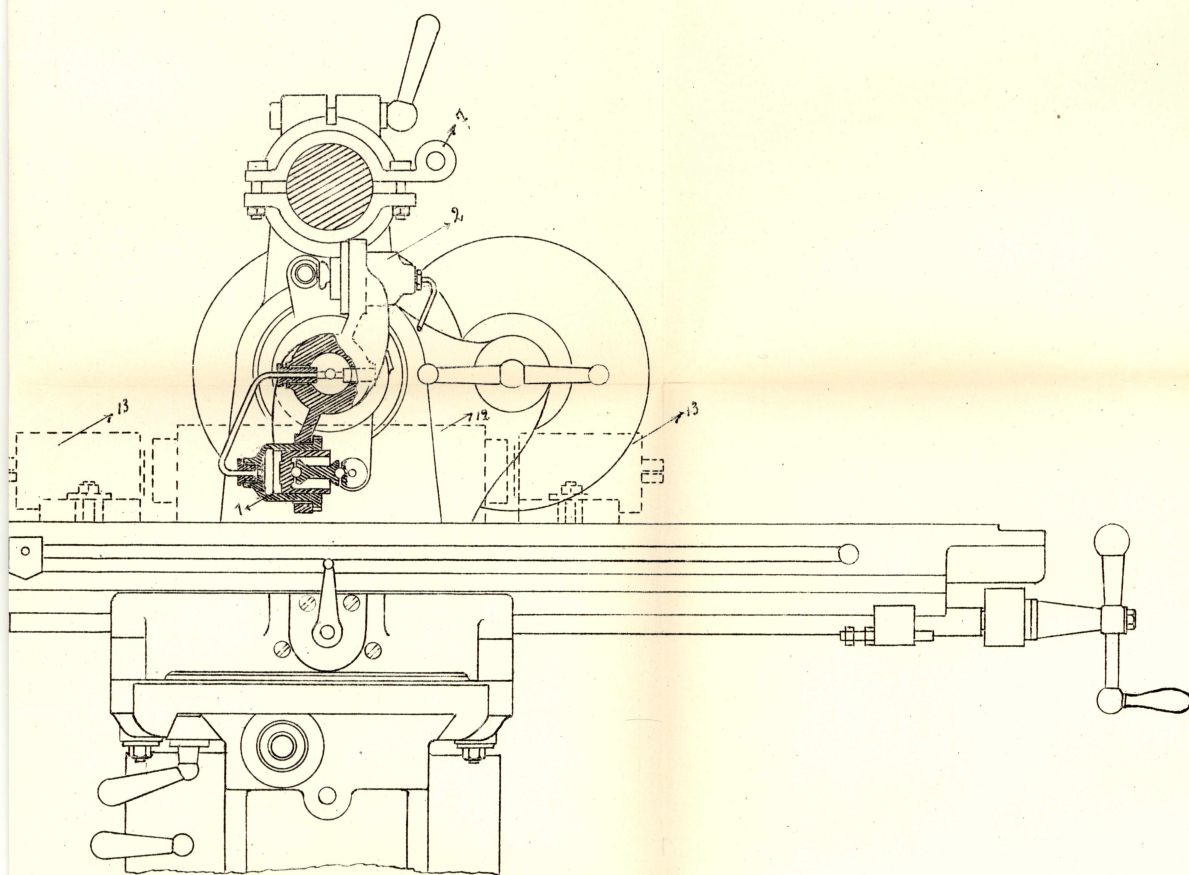


Fig. 4.

Къ статью М. У. Му.
 „Къ вопросу оь уелю
 ния фрезь.“



Фиг. 5.



Фиг. 2.

Къ статью М. У. Пухачова:
 „Къ вопросу оъ углахъ заостре-
 ния фрезы.“