

ДИНАМИКА КУКУРУЗНОЙ ОБДИРОЧНОЙ ФРЕЗЫ

РОЗЕНБЕРГ А. М.

Профессор, доктор технических наук

1. Геометрия стружки

Обдирочная кукурузная фреза, показанная на рис. 1, является фрезой с своеобразной формой стружколомов, которые представляют собой широкую винтовую канавку. Благодаря такой форме стружколомов срезание стружки, кроме основной режущей кромки, расположенной на цилиндре фрезы, выполняется преимущественно одной боковой стороной стружколома, имеющей более благоприятную геометрию с точки зрения процесса резания. Снимаемая стружка в некоторой части своей обладает значительно увеличенной толщиной, что ведет к значительному снижению расхода энергии при работе кукурузной фрезы в сравнении с обычной цилиндрической фрезой. Задние грани стружколомов образуются на токарно-затыловочном станке, благодаря чему обеспечиваются необходимыми задними углами.

На рис. 2 представлена развертка цилиндрической поверхности кукурузной фрезы. Из рис. 2 можно уяснить себе принцип работы кукурузной фрезы и видеть форму режущих кромок ее.

На рис. 3 представлено последовательное расположение режущих кромок для кукурузной фрезы имеющей 6 зубьев по окружности ($z = 6$).

Для понимания последующего изложения необходимо уяснить, что под стружкой одновременно проходят сначала зубцы 4, 4, 4, затем зубцы 3, 3, 3, затем 2, 2, 2, затем 1, 1, 1. В действительности зубцы 1, 1, 1 или 2, 2, 2 и т. д. представляют собой не что иное, как один и тот же зуб цилиндрической фрезы, разделенной на отдельные режущие элементы спиральной канавкой стружколома. Поэтому вместо целой стружки, снимаемой со всей ширины фрезеруемой поверхности непрерывной режущей кромкой обычной цилиндрической фрезы, зуб кукурузной фрезы снимает ряд отдельных стружек, каждая из которых снимается режущим элементом, расположенным между двумя соседними спиральными канавками стружколомов.

На рис. 4 представлено сечение поверхности резания плоскостью, проходящей через ось фрезы (жирный контур), а также заштрихованными

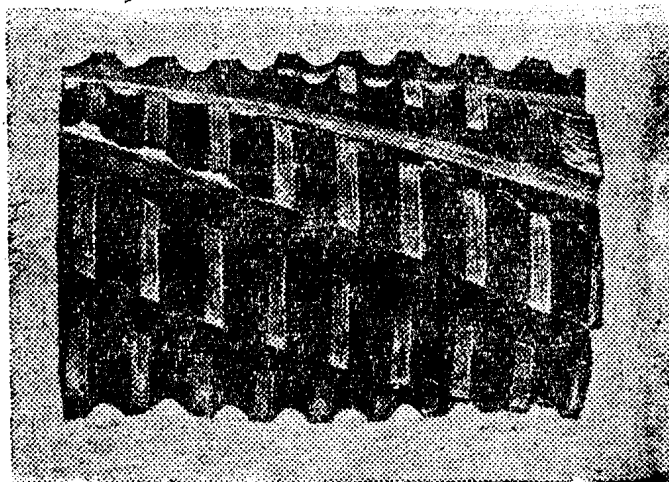


Рис. 1

участками представлены поперечные сечения стружек, одновременно снимаемых отдельными режущими элементами одного и того же зуба кукурузной фрезы. Здесь, как и во всех последующих выводах, мы будем ус-

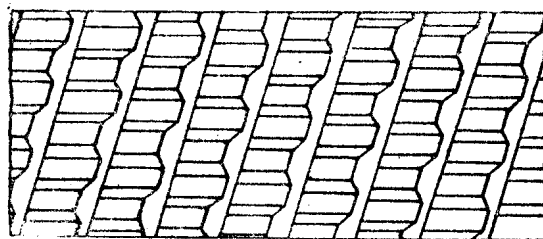


Рис. 2

ловно считать, что режущая кромка зуба кукурузной фрезы расположена не по винтовой спирали, как это имеет место в действительности, а по образующей цилиндра, т.е. будем принимать угол наклона спирали 0° ,

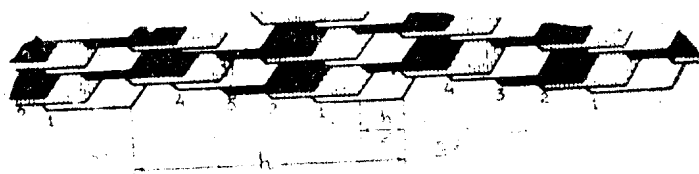


Рис. 3

угол подъема спирали 90° . Нашей целью является вывод уравнения средней мощности, затрачиваемой при работе кукурузной фрезы. Поэтому указанное допущение не внесет никаких искажений в результат вывода

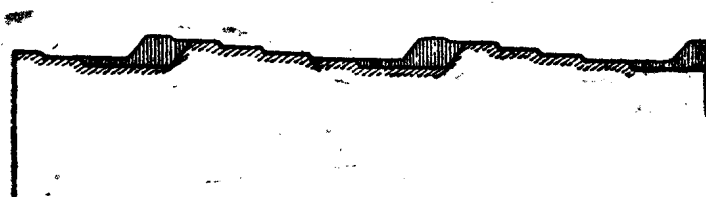


Рис.

так как угол подъема спирали в пределах от 40° до 90° не влияет на величину средней мощности [1], [2].

На рис. 5 представлено очертание режущей кромки кукурузной фрезы с обозначениями отдельных ее элементов. Части режущей кромки fg и

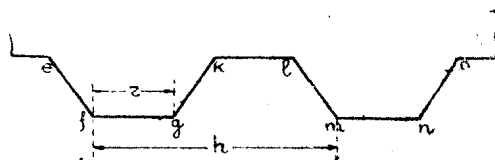


Рис. 5

и расположены на цилиндре фрезы и выполняют основную работу резания, части ef , gk , lm и по работают лишь небольшими участками, прилегающими к уголкам f , g , m , n и играют роль вспомогательных лезвий. Величина h представляет собой шаг винтовой спирали канавки-стружколома.

На рис. 6. показана форма поперечного сечения стружки, снимаемой одним режущим элементом зуба кукурузной фрезы. Стружка срезается

по периметру 1234, причем по сторонам 12 и 34 стружка срезается вспомогательными лезвиями режущего элемента, по стороне 23 главным лезвием. Стружка состоит из двух частей: тонкой q_1 , имеющей толщину S_{e1} и толстой q_2 , имеющей некоторую среднюю толщину S_{e2} . Так как при одинаковых значениях подачи, ширины и глубины фрезерования кукуруз-

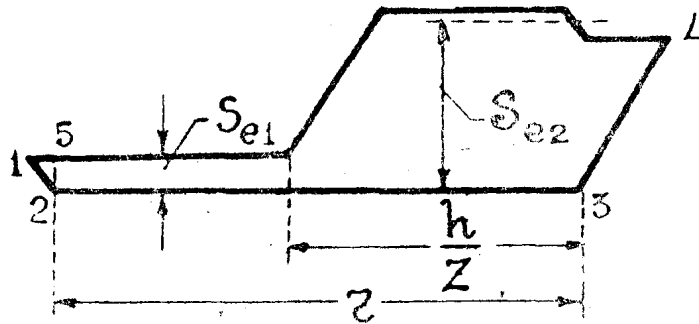


Рис. 6

ная фреза снимает тот же объем стружки, что и обычная цилиндрическая фреза, то площадь поперечного сечения стружки, снимаемая одним режущим элементом кукурузной фрезы, будет

$$q = q_1 + q_2 = S_{e1} \cdot h.$$

Отдельные части q_1 и q_2 определим приближенно так:

$$q_1 = S_{e1} \cdot \left(r - \frac{h}{z} \right), \quad (1)$$

$$q_2 = q - q_1 = S_{e1} \cdot \left(h + \frac{h}{z} - r \right). \quad (2)$$

По уравнениям (1) и (2) q_1 будет иметь величину несколько меньше действительной, так как при определении ее не учтена величина треугольника 125, соответственно q_2 будет иметь величину несколько больше действительной. Относительная ошибка при этом будет очень мала и нет смысла для ее исключения вводить усложнение уравнений. Толщина тонкой части стружки S_{e1} будет та же, что у обычной цилиндрической фрезы [2]

$$S_{e1} = S_z \cdot \sin \psi,$$

где S_z — подача на зуб в мм.

ψ — угол, под которым находится режущая кромка на дуге контакта в данный момент.

Толщина толстой части стружки, как это видно из рис. 6, не постоянна по ширине и средняя величина ее может быть получена следующим образом:

$$S_{e2} = \frac{q_2}{\frac{h}{z}} = S_{e1} \cdot \left(z - \frac{rz}{h} + 1 \right). \quad (3)$$

Рисунок 6 показывает, что основная работа резания выполняется по стороне стружки 23 режущей кромкой, расположенной на цилиндре фрезы и имеющей длину r . Сторона 12 периметра поперечного сечения стружки незначительна по своей величине и срезается одной боковой режущей кромкой режущего элемента фрезы. Сторона 34 относительно бо-

лее значительна и срезается другой боковой режущей кромкой режущего элемента. Таким образом, здесь имеет место процесс несвободного резания, так как кроме главной режущей кромки 23 в работе резания участвуют вспомогательные режущие кромки 12 и 34. Режущая кромка 34,

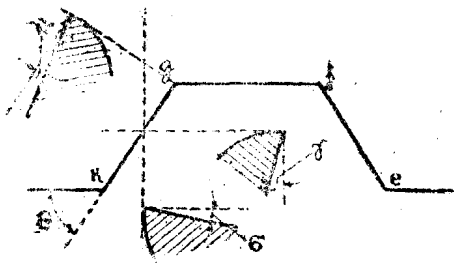


Рис. 7

выполняющая заметную долю работы резания, имеет благоприятную геометрию с точки зрения процесса резания, обладая увеличенным передним углом. Если допустить для упрощения, что передняя грань зуба фрезы в непосредственной близости к режущим кромкам представляет собой элемент плоскости и обозначить передний угол в плоскости перпендикулярной к оси фрезы γ , угол наклона спирали σ , угол в плане боковой режущей кромки θ и угол

наклона ее μ (см. рис. 7), то передний угол в плоскости, перпендикулярной к боковой режущей кромке γ_R , можно определить подобно тому, как он определяется на лезвии токарного резца [3]

$$\operatorname{tg} \gamma_R = (\operatorname{tg} \gamma \cdot \cos \theta + \operatorname{tg} \sigma \cdot \sin \theta) \cdot \cos \mu;$$

$$\cos \mu = \frac{1}{\sqrt{1 + (\operatorname{tg} \sigma \cdot \cos \theta - \operatorname{tg} \gamma \cdot \sin \theta)^2}};$$

$$\operatorname{tg} \gamma_R = \frac{\operatorname{tg} \gamma \cdot \cos \theta + \operatorname{tg} \sigma \cdot \sin \theta}{\sqrt{1 + (\operatorname{tg} \sigma \cdot \cos \theta - \operatorname{tg} \gamma \cdot \sin \theta)^2}}$$

2. Мощность, затрачиваемая при работе кукурузной фрезы

В свое время нами было доказано и теоретически и экспериментально, что средняя мощность при фрезеровании выражается уравнением [4]:

$$N_e = \frac{A_w \cdot t \cdot b \cdot s}{1000 \cdot 4500},$$

где A_w — удельная работа в $\text{кг} \cdot \text{мм} / \text{мм}^3$,

t — глубина фрезерования в мм ,

b — ширина фрезерования в мм ,

s — минутная подача в $\text{мм} / \text{мин}$.

Таким образом, здесь мощность выражена через удельную работу. Воспользуемся этим для вывода уравнения средней мощности при работе кукурузной фрезы.

Так как при работе кукурузной фрезы имеет место процесс несвободного резания, то удельная работа будет зависеть от толщины и ширины стружки и иметь общее выражение

$$A_w = \frac{z^{k+1}}{k+2} \lambda \cdot S_m^k \cdot U^l. \quad (4)$$

Здесь:

λ — постоянная, зависящая в основном от обрабатываемого материала,

S_m — толщина стружки по середине угла контакта (срединная толщина),

U — ширина стружки,

k, l — показатели степени отрицательные и дробные, зависящие от обрабатываемого материала, степени затупления режущей кромки, наличия смазки и охлаждения.

Уравнение (4) пригодно для определения удельной работы в случае фрезерования с такими отношениями $\frac{t}{D}$, когда угол контакта не превосходит 60° ($\frac{t}{D} \leq 0,25$).

В том случае, когда глубина фрезерования велика и угол контакта превышает 60° для удельной работы, будем иметь более точное выражение [5]:

$$A_w = \lambda \cdot S_{\kappa}^{\kappa} \cdot U^l. \quad (5)$$

Можно полагать (это в дальнейшем будет подтверждено экспериментом), что при работе кукурузной фрезы величины λ , k , l должны иметь те же числовые значения, что и при работе торцевых фрез, так как и в том и в другом случае имеет место процесс несвободного резания.

Уравнения (4) и (5) показывают, что подсчитать удельную работу и мощность для всего поперечного сечения стружки на режущем элементе кукурузной фрезы не предоставляется возможным, и их нужно определять отдельно для толстой и тонкой частей стружки. Поэтому мы должны уравнение для мощности представить в следующем виде:

$$N_e = N_{e1} + N_{e2} = \frac{A_{w1} \cdot t \cdot b \cdot S}{1000 \cdot 4500} \cdot \frac{\omega_1}{\omega} + \frac{A_{w2} \cdot t \cdot b \cdot S}{1000 \cdot 4500} \cdot \frac{\omega_2}{\omega} \quad (6)$$

Здесь A_{w1} и N_{e1} — удельная работа и мощность, относящиеся к тонкой части стружки, A_{w2} и N_{e2} — то же к толстой части поперечного сечения стружки.

ω_1 — объем металла, снимаемый тонкими частями стружки.

ω_2 — объем металла, снимаемый толстыми частями стружки.

ω — общий объем стружки, снимаемый фрезой, причем

$$\omega = \omega_1 + \omega_2.$$

Отношение объемов можно выразить отношением площадей поперечного сечения стружки

$$\frac{\omega_1}{\omega} = \frac{q_1}{q} = \frac{r - \frac{h}{z}}{h};$$

$$\frac{\omega_1}{\omega} = \frac{r}{h} - \frac{1}{z}.$$

$$\frac{\omega_2}{\omega} = \frac{q_2}{q} = \frac{h + \frac{h}{z} - r}{h};$$

$$\frac{\omega_2}{\omega} = 1 + \frac{1}{z} - \frac{r}{h}. \quad (7)$$

Пользуясь соотношениями (6) и (7) получим:

$$N_e = \frac{A_{w1} \cdot t \cdot b \cdot S}{1000 \cdot 4500} \cdot \left\{ \left(\frac{r}{h} - \frac{1}{z} \right) + \frac{A_{w2}}{A_{w1}} \left(1 + \frac{1}{z} - \frac{r}{h} \right) \right\}. \quad (8)$$

В уравнении (8)

$$A_{w1} = \frac{2^{\kappa+1}}{k+2} \lambda \cdot S_{\kappa 1}^{\kappa} \cdot U_1^l;$$

$$A_{w2} = \frac{2^{\kappa+1}}{k+2} \lambda \cdot S_{\kappa 2}^{\kappa} \cdot U_2^l.$$

Здесь $S_{м1}$ и $S_{м2}$ —срединные толщины для тонкой и толстой частей стружки, соответственно U_1 и U_2 ширины тонкой и толстой частей стружки, причем

$$U_1 = r - \frac{h}{z}; \quad U_2 = \frac{h}{z}.$$

Поэтому

$$N_e = \frac{2^{k+1}}{k+2} \cdot \lambda \cdot S_{м1}^k \cdot \frac{t \cdot b \cdot S}{1000 \cdot 4500} \cdot \left(r - \frac{h}{z}\right)^l \cdot \left\{\left(\frac{r}{h} - \frac{1}{z}\right) + \left(\frac{S_{м2}}{S_{м1}}\right) \cdot \left(\frac{h}{rz - h}\right)^l \cdot \left(1 + \frac{1}{z} - \frac{r}{h}\right)\right\} \quad (9)$$

Здесь:

$$\frac{S_{м2}}{S_{м1}} = \frac{S_{e2}}{S_{e1}} = z - \frac{rz}{h} + 1;$$

$$S_{м1} = S_z \cdot \sqrt{\frac{t}{D}};$$

D —диаметр фрезы в мм.

После подстановок и преобразований получим:

$$N_e = \frac{2^{k+1}}{k+2} \cdot \lambda \cdot S_z^{k+1} \cdot \frac{z \cdot n \cdot b}{1000 \cdot 4500} \cdot t^{\frac{k+2}{2}} \cdot D^{-\frac{k}{2}} \cdot \left[\frac{h^l}{z^{l+1}} \left\{ \left(\frac{r}{h} \cdot z - 1\right)^{l+1} + \left(z - \frac{r}{h} \cdot z + 1\right)^{k+1} \right\} \right] \quad (10)$$

Уравнение (10) представляет собой зависимость средней мощности от режима фрезерования и конструктивных размеров и элементов кукурузной фрезы. Часть уравнения (10), стоящая вне квадратных скобок, полностью совпадает по начертанию с уравнением мощности для нормальной цилиндрической фрезы с той особенностью, что в уравнение (10) следует подставлять значения λ и k , полученные для торцевых фрез, так как при работе кукурузной фрезы имеет место процесс несвободного резания.

Уравнение (10) выведено для того случая, когда кукурузная фреза работает как цилиндрическая, при углах контакта не больше 60° , т. е. при отношении глубины фрезерования к диаметру $\frac{t}{D} \leq 0,25$.

В том случае, когда кукурузная фреза работает с $\frac{t}{D} = 1$, для вывода следовало бы воспользоваться методикой, примененной нами при выводе уравнения мощности для торцевых фрез [5] и в этом случае мы получили бы

$$N_e = \frac{2^{-\frac{k}{2}} \cdot \lambda \cdot S_z^{k+1} \cdot b \cdot z \cdot n \cdot D}{1000 \cdot 4500} \cdot \left[\frac{h^l}{z^{l+1}} \left\{ \left(\frac{r}{h} \cdot z - 1\right)^{l+1} + \left(z - \frac{r}{h} \cdot z + 1\right)^{k+1} \right\} \right] \quad (11)$$

В том случае, когда кукурузная фреза работает с $1 > \frac{t}{D} > 0,5$, будет получено следующее уравнение:

$$N_e = \frac{2^{-\frac{k}{2}} \cdot \lambda \cdot S_z^{k+1} \cdot b \cdot z \cdot n \cdot D}{1000 \cdot 4500} \left\{ 1 - 2^{\frac{k}{2}} \cdot \left(1 - \frac{t}{D}\right)^{\frac{k+2}{2}} \right\} \times$$

$$\times \left[\frac{h^l}{z^{l+1}} \cdot \left\{ \left(\frac{r}{h} \cdot z - 1 \right)^{l+1} + \left(z - \frac{r}{h} \cdot z + 1 \right)^{k+1} \right\} \right]. \quad (12)$$

Наконец, в том случае, когда $0,5 \geq \frac{t}{D} > 0,25$,

$$N_e = \frac{\lambda \cdot S_z^{k+1} \cdot b \cdot z \cdot n \cdot t^{\frac{k+2}{2}} \cdot D^{-\frac{k}{2}}}{1000 \cdot 4500} \cdot \left[\frac{h^l}{z^{l+1}} \cdot \left\{ \left(\frac{r}{h} \cdot z - 1 \right)^{l+1} + \left(z - \frac{r}{h} \cdot z + 1 \right)^{k+1} \right\} \right] \quad (13)$$

В уравнениях (11), (12) и (13) через „b“ обозначена ширина фрезеруемой поверхности, измеряемая параллельно оси фрезы. Величины h и r также должны измеряться параллельно оси фрезы.

3. Экспериментальная проверка выводов

С целью проверки правильности полученных уравнений, были проведены эксперименты, которые выполнялись на фрезерном станке с встроенным в коробку скоростей динамометром для измерения и записи крутящих моментов на фрезе. Конструкция динамометра и его тарировка нами были подробно описаны [4], поэтому здесь мы не даем этого описания.

Для опытов были взяты для сравнения как кукурузные фрезы, так и нормальные цилиндрические фрезы. Размеры и конструктивные элементы тех и других фрез представлены в таблице 1.

Таблица 1

Наименование фрезы	Диаметр D	Число зубцов z	Перед- ний угол γ	Задний угол α	Угол подъема спирали	Размеры режущего элемен- та кукурузной фрезы		
						h	r	$\frac{h}{z}$
Кукурузная Цилиндриче- ская	75	8	12°	10°	65°	12	4	1,5
	75	8	12°	10°	60°	—	—	—

Как показывает таблица 1, те и другие фрезы различаются несколько по углу подъема спирали. Различие это никакого значения иметь не может, т. к. нами было установлено, что угол подъема спирали в пределах 40°—90° никакого влияния на среднюю мощность не оказывает. Передний угол $\gamma = 12^\circ$ дан в плоскости, перпендикулярной к оси фрезы. Цилиндрические фрезы имели остроконечный зуб, кукурузные—затылованный, причем, как это следует из таблицы, те и другие имели один и тот же задний угол.

Опыты были проведены по двум материалам—по стали 35 и мягкому чугуну. Характеристики прочности их даны в таблице 2. Такой выбор материалов для опытов объясняется нашим стремлением проверить приложимость наших выводов как к случаю обработки пластичных, так и к случаю обработки хрупких металлов.

Таблица 2

Наименование металла	Твердость по Бринелю	Тверд. по Роквеллу, шкала B	Временн. сопротивлен. разрыву $\sigma_{BK2}/\text{мм}^2$	Удлинение при разрыве %	Поперечное сжатие %
Сталь 35 нормализован- ная	163—170	84—88	64,6	21,6	51,0
Чугун	120	66—73	—	—	—

По чугуноу опыты были проведены как кукурузными, так и цилиндрическими фрезами. По стали же для цилиндрических фрез мы воспользовались данными одной из наших прошлых работ [6], которая была проведена не только по той же марке стали, но даже на той же самой болванке, по которой проводилось и испытание кукурузной фрезы в настоящем исследовании.

Порядок опытов был следующий. При постоянном числе оборотов ($n = 32$) и при постоянной ширине фрезерования проводились опыты с различными глубинами фрезерования, с широким рядом

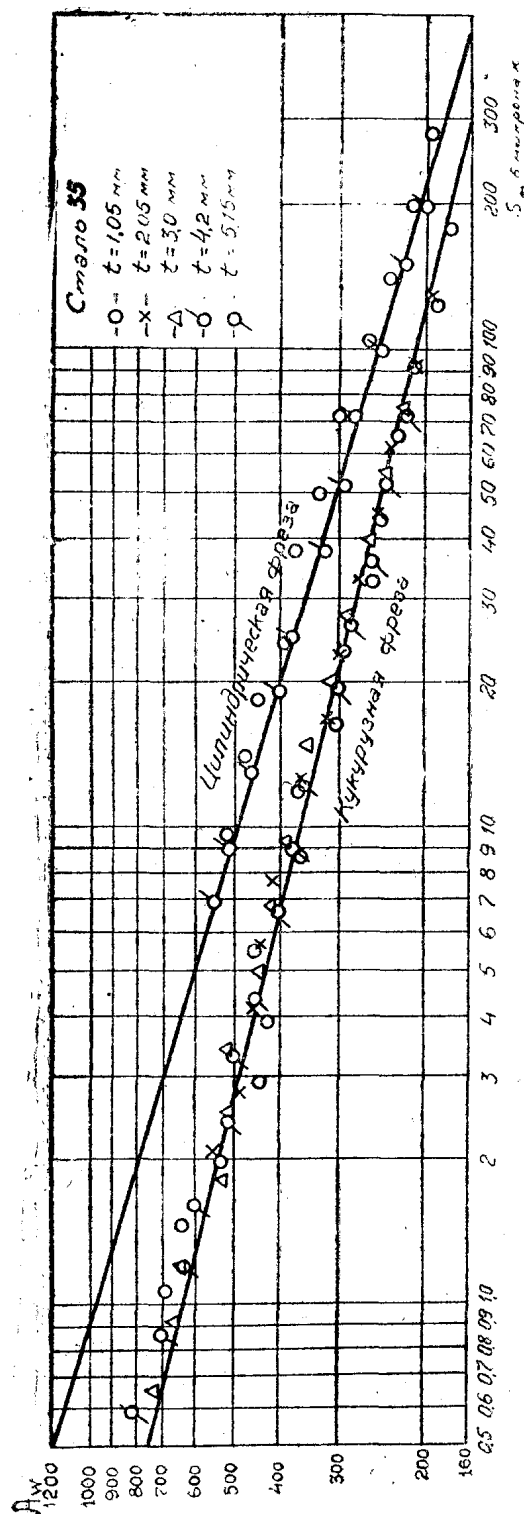


Рис. 8

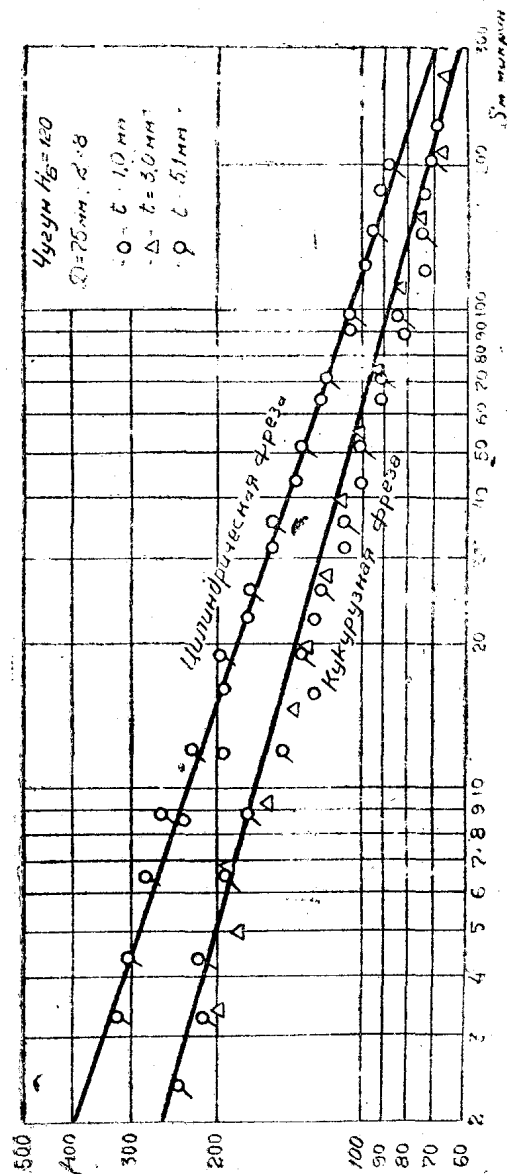


Рис. 9

подач при каждой глубине фрезерования. При каждом опыте динамометром фиксировался крутящий момент на фрезе (M), по величине которого затем подсчитывалась удельная работа A_w по выражению:

$$A_w = \frac{6,28 \cdot M}{b \cdot t \cdot S_z \cdot z}$$

Удельная работа ставилась в зависимость от срединной толщины стружки (S_m), благодаря чему получался график, на котором одной линией можно было выразить результаты опытов, проведенных при различных l и S_z .

На рис. 8 и 9 представлены в логарифмических координатах ($S_m - A_w$) результаты опытов по стали и чугуно кукурузными и цилиндрическими фрезами.

Прежде всего обращает на себя внимание, что удельная работа при фрезеровании кукурузными фрезами значительно ниже, чем при фрезеровании цилиндрическими. Это является результатом того обстоятельства, что частью режущего элемента кукурузная фреза снимает значительно более толстую стружку, чем цилиндрическая (см. рис. 6). Отношение толщин стружки для тех кукурузных фрез, которые были использованы в наших опытах, составляет (ур-ие 3).

$$\frac{S_{e2}}{S_{e1}} = z - \frac{r \cdot z}{h} + 1 = 8 - \frac{4.8}{12} + 1 = 6.34.$$

Кроме того, из рисунков видно, что, по мере увеличения срединной толщины S_m , снижение удельной работы для кукурузной фрезы в сравнении с цилиндрической становится все менее значительным. Если при $S_m < 0,01$ мм оно исчисляется десятками процентов, что практически является чрезвычайно существенным, то при очень толстых стружках (до которых в опытах мы не доходили) совершенно исчезает. Это объясняется тем, что кукурузная фреза работает принципом несвободного резания и по мере увеличения толщины стружки возрастает работа вспомогательных лезвий.

Для оценки правильности полученных результатов с количественной стороны рассчитаем соотношение удельных работ для кукурузной и цилиндрической фрез.

Мы уже отмечали, что при работе кукурузной фрезы мы имеем дело с двумя значениями удельной работы — одним для тонкой части стружки S_{e1} и другой для толстой S_{e2} . Рассчитанная по опытам и отраженная на рис. 8 и 9 в виде опытных точек удельная работа является некоторой средней удельной работой A_{wcp} , которая может быть получена из уравнений (10), (11), (12) и (13). Так как наши опыты были проведены при $\frac{t}{D} < 0,25$, то для получения A_{wcp} мы воспользуемся уравнением (10). Среднюю удельную работу при фрезеровании кукурузной фрезой получим

$$A_{wcp} = \frac{1000 \cdot 4500 \cdot N_e}{t \cdot b \cdot s}.$$

Подставив в это уравнение вместо N_e его выражение из уравнения (10), получим:

$$A_{wcp} = \frac{2^{k+1}}{k+2} \lambda \cdot S_m^k \cdot \left[\frac{h^l}{z^{l+1}} \cdot \left\{ \left(\frac{r}{h} \cdot z - 1 \right)^{l+1} + \left(z - \frac{r}{h} z + 1 \right)^{k+1} \right\} \right]. \quad (14)$$

Для цилиндрической фрезы уравнение для удельной работы будет:

$$A_w = \frac{2^{k+1}}{k+2} \lambda \cdot S_m^k. \quad (15)$$

В уравнении (14) величины λ , k , l должны иметь те же значения, что и при работе торцевых фрез, то-есть иные, чем в уравнении (15). Найдем

отношение удельных работ для кукурузной и цилиндрической фрез, для чего разделим уравнение (14) на уравнение (15).

$$\frac{A_{wep}}{A_w} = C \cdot S_m^m \cdot \left[\frac{h^l}{z^{l+1}} \cdot \left\{ \left(\frac{r}{h} \cdot z - 1 \right)^{l+1} + \left(z - \frac{r}{h} \cdot z + 1 \right)^{k+1} \right\} \right]. \quad (16)$$

В уравнении (16) мы обозначили через C отношение величин $\frac{2^{k+1}}{k+2} \lambda$, через m равенство величин k для кукурузной и цилиндрической фрез.

В уравнении (16) выражение, стоящее в квадратных скобках, является для данной кукурузной фрезы величиной постоянной. Поэтому уравнение (16) показывает, что с увеличением S_m отношение $\frac{A_{wep}}{A_w}$ возрастает, что под-

тверждается и результатами опытов, представленными на рис. 8 и 9.

Воспользовавшись уравнением (16), мы можем проверить правильность полученных нами соотношений удельных работ для кукурузной и цилиндрической фрез. Для этого возьмем значения величины λ , k , l для стали 35 (нормализованной) и чугуна $H_B = 120$ из нашей прошлой работы [6] (см. табл. 3).

Таблица 3

Фреза	Сталь 35 (нормализованная)			Чугун № 1; $H_B = 120$		
	λ	k	l	λ	k	l
Цилиндрическая	136	-0,29	—	46,5	-0,38	—
Торцевая	190	-0,23	-0,09	72	-0,32	-0,07

После подстановки в уравнение (16) значений λ , k , l из таблицы 3 и значений r , h , z из таблицы 1 получим:

сталь 35:

$$\frac{A_{wep}}{A_w} = 0,98 \cdot S_m^{0,06}, \quad (17)$$

чугун:

$$\frac{A_{wep}}{A_w} = 0,97 \cdot S_m^{0,06}. \quad (18)$$

На рис. 8 и 9 прямые для цилиндрической фрезы проведены так, чтобы они наиболее близко удовлетворяли расположению экспериментальных точек, прямые же для кукурузной фрезы проведены относительно прямых для цилиндрической фрезы так, чтобы между теми и другими было соблюдено соотношение удельных работ по уравнению (17) для стали и по уравнению (18) для чугуна. Таким образом, на рис. 8 и 9 для кукурузной фрезы точки получены экспериментальным путем, прямые же проведены по уравнениям (10) и (16), которые выведены нами теоретически с учетом формы режущей кромки и геометрии процесса резания кукурузной фрезы. Поэтому соответствие на рис. 8 и 9 прямых опытным точкам для кукурузной фрезы является критерием правильности всех наших теоретических выводов как с качественной, так и с количественной стороны. Рис. 8 и 9 показывают удовлетворительное расположение прямых относительно экспериментальных точек. Некоторое отклонение для чугуна, не превышающее 5%, может быть объяснено замеченной нами неоднород-

родностью болванки, по которой проводились опыты, и не является существенным. Рис. 8 и 9 позволяют сделать следующие заключения.

1. Опыты с кукурузными фрезами проведены в широких пределах изменения толщин стружки от 0,0006 мм до 0,175 мм для стали и от 0,0024 мм до 0,3 мм для чугуна, чем полностью охвачены пределы применяющихся в практике режимов резания.

2. Все экспериментальные точки, полученные при четырех глубинах резания по стали и трех глубинах резания по чугуну, расположились без значительных отклонений прямолинейно в логарифмических координатах $S_k - A^m$, что подтверждает правильность структуры уравнений (4), (10) и (14) и показывает что для кукурузной фрезы постоянной геометрии удельная работа зависит от срединной толщины стружки.

3. Удовлетворительное соответствие экспериментальных точек и прямых, проведенных по теоретически рассчитанным уравнениям (17) и (18), подтверждает правильность сделанных нами выводов и указывает на то, что для кукурузных фрез, работающих методом несвободного резания, должны применяться в уравнениях те же значения постоянных λ , k , l , что и для торцевых фрез.

В таблице 4 приводим значения λ , k , l для различных материалов, полученные нами при работе с торцевыми фрезами (для переднего угла $\gamma = 10^\circ$).

Таблица 4

Обрабатываемый материал	σ_B	H_B	λ	k	l
Сталь мягкая	34	90	185	-0,29	0,00
Сталь 10 прокат	40,1	110	200	-0,27	-0,02
" 20 прокат	44,6	120	185	-0,24	-0,04
" 20 нормализованная	46,3	122	195	-0,26	-0,02
" 35 прокат	62,1	155	187	-0,21	-0,05
" 35 нормализованная	64,6	167	190	-0,23	-0,09
" 40 прокат	64,4	172	203	-0,2	-0,09
" 40 отжиг	62,8	162	198	-0,21	-0,05
" 40 нормализованная	65,8	178	197	-0,2	-0,05
" 40 улучшенная закалкой в масле	69	206	213	-0,2	-0,09
" 40 улучшенная закалкой в воде	84	215	215	-0,2	-0,1
" 45 улучшенная закалкой в воде	94,5	260	220	-0,22	-0,06
" 50 отжиг	78	217	190	-0,19	-0,04
" 20 X прокат	50,3	140	188	-0,23	-0,09
" 20 X нормализованная	50,3	139	193	-0,25	-0,1
" 40 X прокат	71,5	201	190	-0,16	-0,03
" 40 X отжиг	71,3	200	196	-0,2	-0,06
" 40 X нормализованная	81,1	215	200	-0,175	-0,04
" 40 X прокат	74	210	193	-0,2	-0,04
" 20 ХН нормализованная	54,4	143	203	-0,245	-0,1
" 40 ХН прокат	80,3	225	187	-0,2	-0,1
" Х4Н отжиг	91	265	210	-0,2	-0,06
" Х4Н улучшенная	106	311	225	-0,19	-0,03
Чугун серый	—	95	70	-0,27	-0,05
Чугун	—	118	72	-0,32	-0,07
Чугун	—	150	93	-0,31	-0,09
Чугун	—	195	110	-0,25	-0,08
Чугун перлитный	25	217	142	-0,26	-0,11
Чугун хромоникелевый	7,65	145	90	-0,31	-0,11
Чугун	18,5	198	110	-0,28	-0,1
Чугун ковкий	40	145	123	-0,26	-0,12
Бронза	—	81	67	-0,34	-0,21

4. Заключение

Проведенные теоретические выводы и экспериментальное исследование позволяют сделать следующее заключение.

1. Кукурузная фреза работает методом несвободного резания, и для расчетов мощности должны применяться те значения величин λ , k , l , которые получены для работы торцевых фрез (табл. 4).

2. Ввиду того, что частью режущих кромок кукурузной фрезы снимается утолщенная стружка, здесь имеет место снижение работы резания и мощности в сравнении с цилиндрической фрезой тем более значительное, чем меньше подача на зуб и тоньше стружка. С этой точки зрения, в том случае, когда повышение производительности лимитируется мощностью станка, кукурузная фреза даст более высокую производительность, чем обычная цилиндрическая фреза.

3. Для расчета средней мощности при фрезеровании кукурузной фрезой следует пользоваться уравнениями (10), (11), (12) и (13).

В выполнении работы принимал участие студент механического факультета Томского политехнического института тов. Шоку н.

СПИСОК ЦИТИРОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Розенберг А. М.—Элементарная механика процесса свободного резания металлов. Лонитомаш. Материалы к конференции по резанию металлов. Ленинград, 1940.

Проф. Розенберг А. М.—Динамика фрезерования. Изд. советская наука, 1945 г.

Доц. Розенберг А. М.—Элементарная механика процесса свободного резания металлов. Известия Томского индустриального института, том 59, вып. 1.

2. Доц. Розенберг А. М. и Суднишников Б. В.—Теория работы цилиндрической фрезы со спиральным зубом. Вестник металлопромышленности. 1933 № 4.

3. Проф. Семенченко.—Режущий инструмент, часть 1. стр. 77.

4. Розенберг А. М.—Работа цилиндрического фрезера. Организация, 1935. № 11.

5. Розенберг А. М.—Динамика лобового фрезерования. Известия Томского индустриального института, 1937, том 56, вып. 1.

Розенберг А. М.—Работа лобового фрезера. Организация 1936. № 7.

6. Розенберг А. М.—Динамические испытания цилиндрических и торцевых фрезеров. Известия Томского индустриального института, том 59, вып. 1.

Замеченные опечатки

Страница	Строка	Напечатано	Следует
71	Формула 8	$m = \frac{\lg \left\{ \frac{\tau_n - 1}{\tau_n - \Theta} + \frac{1}{e} \right\}}{\lg C}$	$m = \frac{\lg \left\{ \frac{\tau_n - 1}{\tau_n - \Theta} + \frac{1}{e} \right\}}{\lg C}$
82	Формулы 17 и 18	<i>A w ep</i>	<i>A w cp</i>
83	2 снизу	Проведенные	Приведенные
93	14 сверху	годы лет	годы
99	5 "	c st	const
99	6 "	величин <i>H</i> могут	величину <i>H</i> и могут
102	2 снизу	2,7(91	2,7(91 <i>S</i>) 0,535—0,006V
104	7 "	свойством	смыслом
107	19 "	действие	влияние на
114	10 "	физических свойствах	физическом смысле
119	9 сверху	кривых поверхностей.	кривых.