

СТОЙКОСТЬ КУКУРУЗНЫХ ФРЕЗ

РОЗЕНБЕРГ А. М.

Профессор, доктор технических наук

Кукурузная обдирочная фреза работает принципом несвободного резания и, как нами было выяснено в специальном исследовании [1], частью режущей кромки снимает значительно более толстую стружку, чем обычная цилиндрическая фреза при том же режиме резания. Это обстоятельство приводит к снижению удельной работы резания и расходуемой мощности. При работе на малых подачах, когда доля работы вспомогательных режущих кромок незначительна, кукурузная фреза снижает расходуемую мощность в сравнении с цилиндрической фрезой на 30—40%, что является существенным в том случае, когда производительность фрезерования ограничивается мощностью станка. В этом случае кукурузная фреза даст возможность повысить производительность фрезерного станка. При переходе к более значительным подачам (более толстым стружкам) при работе кукурузной фрезы начинает сказываться влияние процесса несвободного резания, доля участия в процессе резания вспомогательных режущих кромок растет, это повышает удельную работу, и кукурузная фреза характеризуется уже менее значительной экономией расходуемой мощности. Но все же в области практически применяемых при фрезеровании подач кукурузная фреза является более экономичным с точки зрения расхода мощности инструментом, чем цилиндрическая. Кроме этого, кукурузная фреза, снимая стружку, разделенную по ширине на отдельные узкие кусочки, в противоположность цилиндрической, снимающей при обработке вязких металлов целую стружку со всей ширины фрезерования, работает более спокойно и менее склонна к вибрациям и дроблению, особенно при больших глубинах фрезерования. Все это в совокупности создает на производстве представление, что кукурузная фреза работает более легко, спокойно и производительно, чем цилиндрическая. Это представление соответствует действительности, когда производительность ограничивается мощностью станка или его стабильностью.

В том случае, когда работа производится на стабильном станке высокой мощности, производительность будет определяться стойкостью инструмента. В этом случае кукурузная фреза будет давать меньшую производительность, чем цилиндрическая, так как стойкость ее будет ниже. Меньшая стойкость кукурузной фрезы обуславливается тем, что часть режущих кромок ее снимает более толстую стружку и поэтому подвержена более интенсивному износу, чем режущие кромки цилиндрической фрезы. Кроме того, наличие процесса несвободного резания неизбежно связано с затрудненным образованием и отводом стружки в местах сопряжения главных и вспомогательных режущих кромок, где и имеет место повышенный износ.

Настоящее исследование было предпринято с целью экспериментальной проверки высказанного предположения о более низкой стойкости кукурузных фрез в сравнении с цилиндрическими.

Для выполнения опытов по сравнению стойкости кукурузных и цилиндрических фрез Томским инструментальным заводом были изготовлены из одного прута стали ЭИ-262 по три штуки тех и других фрез с одной и той же термической обработкой их и одинаковыми размерами. Размеры фрез даны в табл. 1.

Таблица 1

№	Наименование	Диаметр	Число зубцов	Передний угол	Задний угол	Угол наклона спирали	Размеры режущего элемента кукурузной фрезы		
							h	z	$\frac{h}{z}$
1	Кукурузная	74	8	12°	10°	25°	12	4	1,5
2	Цилиндрическая	74	8	12°	10°	30°	—	—	—

Профиль режущей кромки зуба кукурузной фрезы с соответствующими обозначениями представлен на рис. 1.

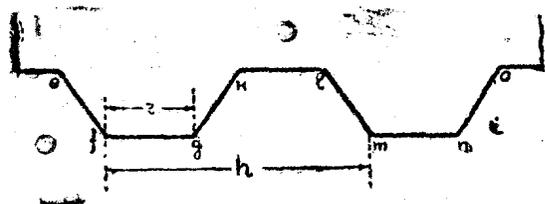


Рис. 1

Химический состав материала фрез и его структура нами не приводятся, так как и цилиндрические и кукурузные фрезы были изготовлены из одного прута, прошли одинаковую термическую обработку и, как показывает таблица 2, имели достаточно близко совпадающую твердость. Твердость

нами определялась на торце зубцов фрез 8—10 замерами на каждой фрезе и в таблице 2 даны для каждой фрезы пределы колебания твердости.

Таблица 2

№ фрезы	Тип фрезы	Твердость по Роквеллу (шкала С)
1	Цилиндрическая	61—63
2	·	61
3	·	62—64
1	Кукурузная	63—64
2	·	62—64
3	·	62—63

Фрезы цилиндрические имели остроконечный зуб и затачивались с задней грани. Фрезы кукурузные имели зуб затылованный и затачивались с передней грани. Задние углы как у тех, так и у других фрез, как показывает таблица 1, были одни и те же, что важно ввиду известного влияния величины заднего угла на износ и стойкость. Кукурузные затылованные фрезы имели нешлифованный затылок у зубьев. Можно было опасаться, что во время термической обработки здесь возможно некоторое обезуглероживание поверхности, что было бы связано с понижением поверхностной твердости и в результате этого стойкости фрезы. Для контроля у кукурузных фрез была измерена твердость не только на торце зубьев, но и на затылках. Измерение показало, что твердость на затылках на 1—2 единицы ниже, чем твердость на торцах. Мы считали это допустимым, так как таблица 2 показывает, что твердость на торцах у кукурузных фрез несколько выше, чем у цилиндрических.

Испытание фрез на стойкость проводилось в лаборатории резания металлов Томского политехнического института на универсально-фрезерном станке Тульского завода. Станок был снабжен мотором постоянного тока, что позволяло иметь бесступенчатое регулирование скоростей путем введения реостата в цепь обмотки возбуждения мотора.

Фрезы перед испытанием тщательно затачивались, так чтобы величина эксцентрисичности отдельных зубьев не превышала 0,02 мм. Эксцентрисичность проверялась на станке после установки заточенной фрезы на оправку шпинделя.

Стойкостные испытания проводились на болванках стали ЗХВ-8, которые предварительно прошли отжиг и имели твердость $H_b = 240$. Для того, чтобы исключить влияние возможного некоторого, хотя бы и незначительного, изменения твердости болванок (чего при измерении твердости болванок обнаружено не было), каждая болванка разрезалась вдоль на две половины, причем по одной из половин проводился опыт испытания цилиндрической фрезы, по другой—кукурузной. Измерение твердости проводилось как на поверхности болванок, так и внутри, после ряда снятых стружек. Везде твердость оказалась одной и той же.

Режим фрезерования при испытании был следующим:

глубина резания $t = 2$ мм;
 подача на зуб $S_z = 0,19$ мм;
 подача на 1 оборот фрезы $S_n = 1,52$ мм/об;
 ширина фрезерования $b = 30$ мм.

Работа велась без охлаждения.

Сравнительно небольшая глубина фрезерования была взята ввиду недостаточной мощности станка. За счет этого была взята сравнительно большая величина подачи.

Испытания каждого типа фрез были проведены при трех скоростях. Скорости резания для кукурузной фрезы были взяты 48,75 м/мин;

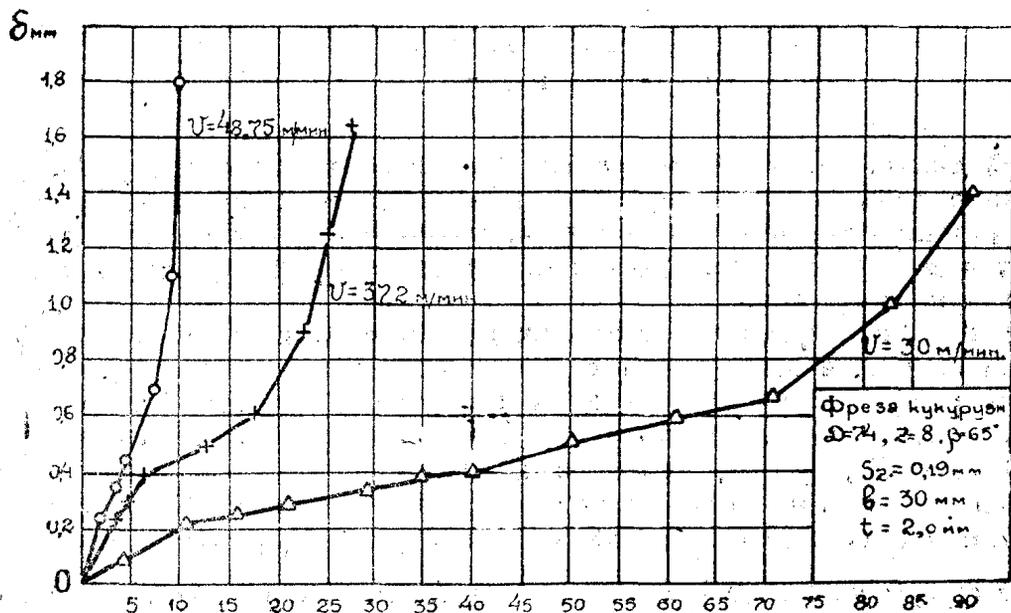


Рис. 2

37,2 м/мин; 30 м/мин. Скорости резания для цилиндрической фрезы 46,5 м/мин; 43 м/мин; 37,2 м/мин.

В течение каждого опыта вплоть до окончательного затупления фрезы скорость резания поддерживалась строго постоянной.

Во время каждого опыта через короткие промежутки времени измерялся износ по задней грани зубцов фрезы при помощи 20-кратной лупы. На рис. 2 для кукурузной фрезы и на рис. 3 для цилиндрической представлено изменение ширины фаски износа по задней грани δ в зависимости от времени работы фрезы. Сравнение этих двух рисунков показывает, что при одних и тех же скоростях резания износ на зубах кукурузной фрезы протекает значительно интенсивнее, чем на зубах цилиндрической фрезы.

Характер износа задних граней зубцов цилиндрических и кукурузных фрез различен. У цилиндрических фрез наблюдается на задних гранях зубцов появление по всей длине режущей кромки, находящейся под стружкой, равномерной фаски износа, которая постепенно с течением времени работы фрезы уширяется, оставаясь примерно одинаковой ширины

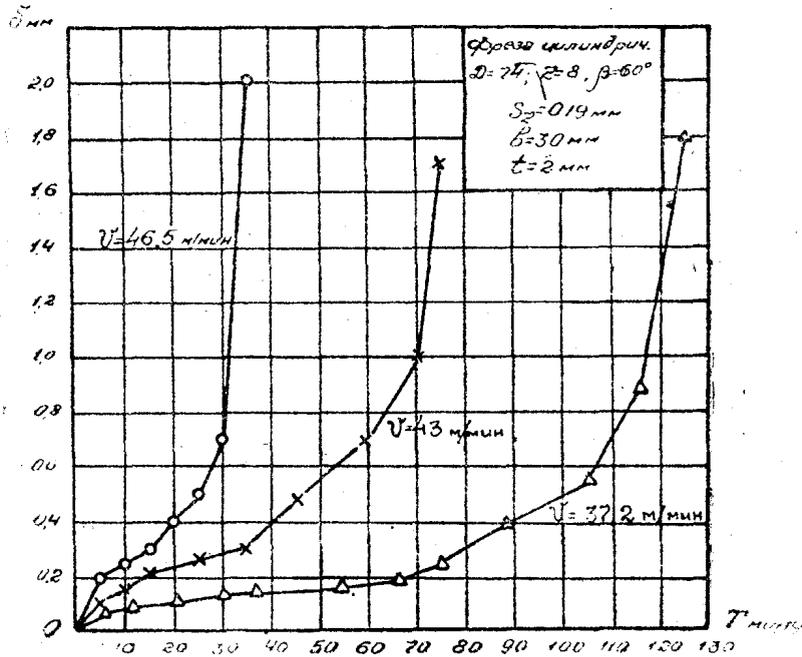


Рис. 3

по всей длине. Лишь в самые последние моменты работы фрезы, предшествующие окончательному разрушению режущей кромки, появляются местные резкие уширения фаски износа, которые, появившись, быстро увеличиваются и наконец приводят к окончательному разрушению в этих местах режущей кромки.

У кукурузных фрез износ задних граней протекает по-иному. Для пояснения на рис. 4 изображена форма поперечного сечения стружки, снимаемой режущим элементом зуба кукурузной фрезы. Как показывает рис. 4, стружка снимается по периметру 1234, причем часть стружки имеет толщину S_{e1} , ту же, что и на зубе цилиндрической фрезы, часть же стружки имеет в несколько раз увеличенную толщину S_{e2} . Эта увеличенная толщина снимается частью режущей кромки, расположенной на цилиндре фрезы на длине $\frac{h}{z}$ (обозначение h см. на рис. 1) и частью бо-

ковой режущей кромки 34. Длина $\frac{h}{z}$ является главным режущим лезвием, 34—вспомогательным. Таким образом на режущих кромках кукурузной фрезы имеются участки длиной $\frac{h}{z}$, нагруженные более толстой струж-

кой, чем остальные участки режущих кромок. Отношение $\frac{S_{e2}}{S_{e1}}$ очень значительно, в общем виде выражается уравнением (1)

$$\frac{S_{e2}}{S_{e1}} = z - \frac{rz}{h} + 1,$$

что для размеров испытуемых кукурузных фрез дает

$$\frac{S_{e2}}{S_{e1}} = 6,34.$$

Уголок зуба 3 является вершиной лезвия, в которой сопрягается участок главного лезвия, нагруженный толстой стружкой (S_{e2}), и вспомога-

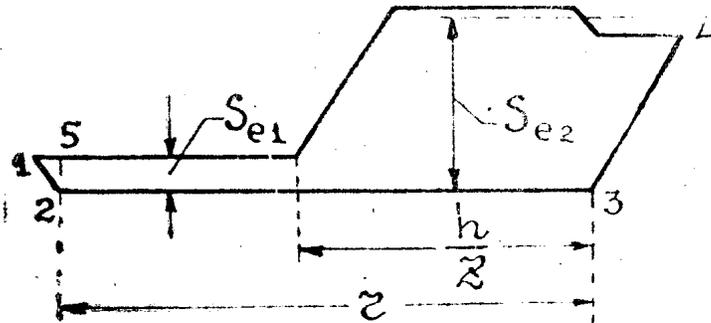


Рис. 4

ного лезвия 34. Естественно ожидать, что износ режущей кромки кукурузной фрезы должен начаться с уголка 3 и в основном локализоваться на длине кромки $\frac{h}{z}$. Наблюдения за износом подтверждают это предположение и показывают, что наибольшая величина износа по задней грани всегда имеет место у уголка 3, где и происходит окончательное разруше-

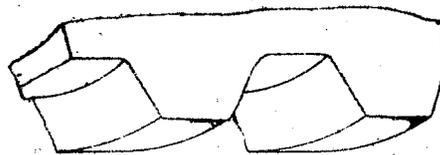


Рис. 5

ние лезвия. На рис. 5 изображен зуб кукурузной фрезы с фаской износа задней грани, значительно уширяющейся у уголка. Это уширение и приходится считать за износ, лимитирующий стойкость фрезы.

На основании рисунков 2 и 3 построен рисунок 6, на котором в логарифмических координатах V (скорость резания в метрах в минуту) и T (стойкость в минутах) нанесены линии $T=f(V)$ для цилиндрической и кукурузной фрез. Для построения этих линий нами взята величина предельного износа по задней грани $\delta = 1$ мм. Расположение прямых на рис. 6

показывает, что кукурузная фреза имеет стойкость в 4—5 раз меньшую, чем цилиндрическая в пределах тех скоростей и стойкостей, при которых проведены испытания. Следует отметить, что те стойкости, которые нами получены при испытании (для кукурузной фрезы от 8,5 до 82 минут, для цилиндрической от 34 до 115 минут)

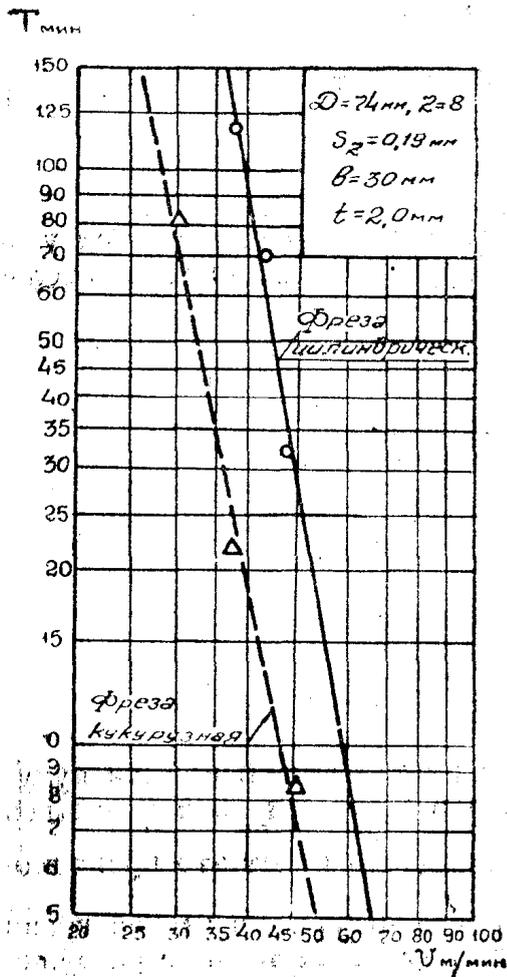


Рис. 6

не являются для фрез экономическими. Но это несколько не изменяет принципиально результатов сравнения стойкости кукурузных и цилиндрических фрез. При более длительных стойкостях отношение их будет еще менее в пользу кукурузных фрез, ввиду несколько более крутого расположения прямой для цилиндрической фрезы. Построение прямых на рис. 6 только по трем точкам мы тоже считаем вполне допустимым, так как эти точки являются результатом надежных опытов, в течение которых износ изменялся совершенно закономерно, как это видно из рис. 2 и 3, тем более, что опыты имели целью провести лишь качественное сравнение стойкостей кукурузных и цилиндрических фрез и не должны были дать какие-либо точные количественные характеристики, для получения которых, само собой разумеется, следовало бы ставить значительно более широкое исследование.

Несмотря на небольшое количество проведенных опытов, мы все же на основании их результатов можем сделать и некоторые количественные заключения, которые будут иметь цену ввиду того, что до сего времени никаких зависимостей для кукурузных фрез не получено.

Для цилиндрических фрез по послед-

ним нормативным материалам для случая обработки твердых легированных сталей имеются следующие зависимости.

По данным Оргавиапрома для хромоникелевых сталей [2]

$$V = \frac{C_v \cdot D^{0,25}}{T^{0,22} \cdot S_z^{0,39} \cdot t^{0,27} \cdot b^{0,09} \cdot z^{0,1} \cdot \sigma^{0,27}}$$

По данным Бюро технических нормативов Наркомтанкопрома для стали Х4Н [3]

$$V = \frac{C_v \cdot D^{0,5}}{T^{0,22} \cdot S_z^{0,4} \cdot t^{0,27} \cdot b^{0,09} \cdot z^{0,1} \cdot \sigma^{0,18}}$$

В этих уравнениях:

D — диаметр фрезы;

T — стойкость;

S_z — подача на зуб;

t — глубина фрезерования;

z — число зубцов;

b — ширина фрезерования;

σ — угол наклона спирали.

Можно полагать, что этими зависимостями допустимо пользоваться и для кукурузных фрез, если только учесть следующие обстоятельства.

Затупление режущих кромок кукурузной фрезы происходит на тех участках, которые снимают утолщенную стружку. Эти участки имеют длину $\frac{h}{z}$ в направлении ширины фрезерования. Величину $\frac{h}{z}$ и следует ставить в уравнения вместо ширины фрезерования b .

Стружка на этих участках режущих кромок в $\left(z - \frac{rz}{h} + 1\right)$ раз толще, чем на режущих кромках цилиндрической фрезы. Поэтому вместо подачи на зуб S_z в приведенные выше уравнения нужно ставить величину в $\left(z - \frac{rz}{h} + 1\right)$ раз увеличенную.

Тогда уравнение для кукурузной фрезы будет иметь вид

$$V_k = \frac{C_v \cdot D^x}{T^m \cdot \left(z - \frac{rz}{h} + 1\right)^y \cdot S_z^y \cdot t^n \cdot \left(\frac{h}{z}\right)^p \cdot z^g \cdot \sigma^u}$$

Отношение скоростей для одной и той же стойкости для тех цилиндрических и кукурузных фрез, которые были нами испытаны при одинаковых значениях S_z и t и имели одинаковые D и z , но различные σ , будет

$$\frac{V_k}{V_u} = \frac{b^p \cdot \sigma_u^u}{\left(z - \frac{rz}{h} + 1\right)^y \cdot \left(\frac{h}{z}\right)^p \cdot \sigma_k^u}$$

где буквы с индексом „к“ относятся к кукурузной фрезе, с индексом „ц“ — к цилиндрической.

Для нашего случая:

$$\begin{aligned} z - \frac{rz}{h} + 1 &= 6,34; & \frac{h}{z} &= 1,5; \\ \sigma_k &= 25^\circ; & \sigma_u &= 30^\circ; \\ b &= 30 \text{ мм.} \end{aligned}$$

По данным Оргавиапрома

$$y = 0,39; \quad p = 0,09; \quad u = 0,27.$$

По данным Наркомтанкопрома

$$y = 0,4; \quad p = 0,09; \quad u = 0,18.$$

Подставляя эти значения, получим

а) по данным Оргавиапрома

$$\frac{V_k}{V_u} = 0,67$$

б) по данным Наркомтанкопрома

$$\frac{V_k}{V_u} = 0,646.$$

Таково должно быть соотношение скоростей резания для кукурузной и цилиндрической фрез, если наши предположения верны. Рисунок 6 показывает, что для стойкостей выше 100 минут (такие стойкости и интере-

суют производство при работе фрез), вычисленные по уравнениям соотношения скоростей резания, достаточно точно подтверждаются нашими опытами, что показывает на возможность использования нормативных материалов при расчете режимов резания (скоростей) для кукурузных фрез, с учетом сделанных выше замечаний.

Заключение

1. Проведенное исследование показало, что стойкость кукурузных фрез ниже стойкости цилиндрических, ввиду повышенного износа тех участков режущих кромок, которые снимают утолщенную стружку.

2. Показана возможность применения для расчета скоростей резания при работе кукурузных фрез тех зависимостей, которые получены для цилиндрических фрез, с учетом особенностей геометрии стружки, снимаемой режущими элементами кукурузной фрезы.

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. Розенберг А. М.—Динамика кукурузной обдирочной фрезы.
2. Органиапром.—Руководящие материалы по режимам резания. Фрезерование. Оборониз. 1942.
3. Наркомтакопром. Бюро технических нормативов.—Справочник по режимам резания на фрезерных станках. Машгиз, 1942.