Сахаров Д. В., аспирант,
Дуюн Т. А., д-р техн. наук, доц.
Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова

МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЖЕСТКОСТИ ФРЕЗЫ, УСТАНОВЛЕННОЙ В ЦАНГОВЫЙ ПАТРОН ПРИ ОБРАБОТКЕ НЕРЖАВЕЮЩИХ СТАЛЕЙ

denis.sakharov.v@gmail.com

Представлена методика экспериментального определения жесткости концевой фрезы, установленной в цанговый патрон при механической обработке нержавеющих сталей. Использование данной методики наиболее актуально для труднообрабатываемых материалов деталей авиастроения, обработка которых характеризуется большими объемами снимаемого припуска в сочетании с низкой скоростью резания, что приводит к значительным материальным и энергетическим затратам. Учет жесткости фрезы позволяет применять высокопроизводительные режимы резания, обеспечивая при этом требуемую точность обработки и допустимые параметры вибраций.

Ключевые слова: *нержавеющие стали, фрезерование, режимы резания, производительность, мощность, шпиндель, фреза, жесткость.*

Развитие техники связано с созданием и освоением технологии обработки заготовок из сталей и сплавов с особыми физико-механическими свойствами, важнейшими из которых являются коррозионная стойкость в различных средах и высокая прочность. В ряде случаев от материалов требуется сочетание различных свойств. Повышение указанных свойств конструкционных материалов дает возможность создавать машины с более высокими характеристиками.

По комплексу физико-механических свойств нержавеющие стали являются относительно универсальным конструкционным материалом, сочетая высокую коррозионную стойкость лучших медноникелиевых сплавов, прочность и удельную прочность более высокие, чем у большинства конструкционных материалов. Поэтому нержавеющие стали эффективны как авиационные и космические материалы, материалы для химической промышленности, судостроения и др. вплоть до материалов тары для хранения ядохимикатов и удобрений в сельском хозяйстве.

Оборотной стороной хороших физико-механических свойств является низкая обрабатываемость резанием данных материалов. Основной причиной плохой обрабатываемости нержавеющих сталей является возникновение больших сил и высоких температур в зоне резания, это происходит вследствие того, что нержавеющие стали обладают высокой пластичностью и низкой теплопроводностью.

При высокопроизводительной обработке с большими силами резания необходимо учитывать жесткость фрезы во избежание снижения точности обработки, с этой целью предложена следующая методика.

Рассмотрим фрезу как балку, абсолютно заделанную с одной стороны. Жесткость патрона (оправки), который используется для крепления концевых фрез в шпинделе станка, в данном случае принимается бесконечной большой величиной и не используется в расчете.

В реальных условиях жесткость заделки зависит от площади контакта хвостовика фрезы и цанги, от твердости контактируемых поверхностей, от усилия зажима. Вследствие этого отжим фрезы в реальных условиях может превышать значения, полученные в ходе теоретического расчета.

Жесткость фрезы в данном случае можно описать следующим выражением:

$$C = \frac{F}{\delta}, \qquad (1)$$

где C – коэффициент жесткости Н/мм; F – сила, приложенная к фрезе, Н; δ – отжим фрезы в месте приложения силы, мм.

Для определения фактического коэффициента жесткости фрезы был проведен натурный эксперимент, схема которого приведена на рис. 1. Концевая фреза закреплялась в цанговом патроне, который устанавливался в делительную головку в горизонтальном положении. Далее проводилось нагружение фрезы путем крепления груза известной массы (m =10 кг) в области режущей части.

Прогиб фиксировался индикатором часового типа, установленным на штативе. При этом соединение «патрон - делительная головка» принимается абсолютно жестким по сравнения с соединением «фреза-патрон». Усилие зажима для цангового патрона определяется затягиванием зажимной гайки. Обеспечение постоянства данного усилия поддерживалось путем совмещения предварительно нанесенных отметок на корпусе патрона и гайке. Длина участка хвостовика, подвергающегося зажиму, для всех фрез была одинакова.

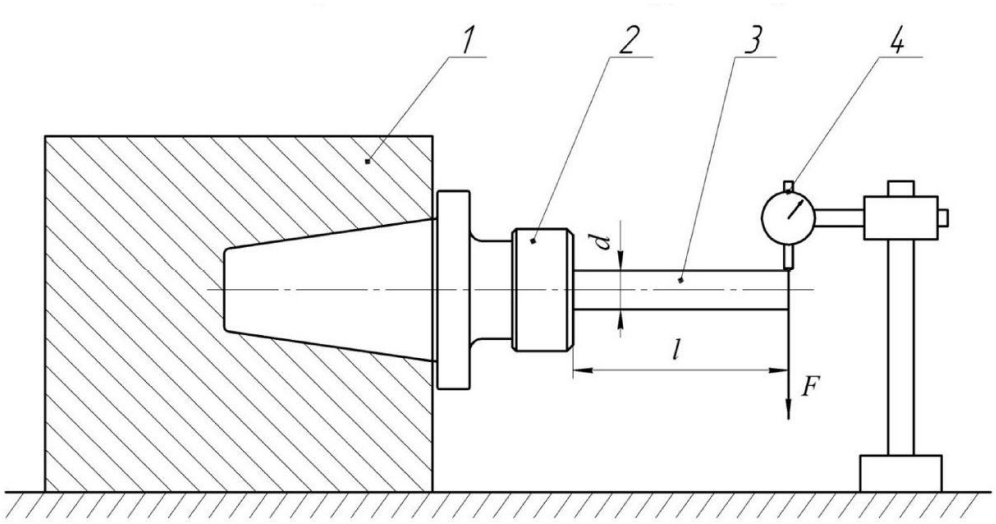


Рис. 1. Схема нагружения фрезы и определения ее максимального отжима:
1 – делительная головка; *2* – цанговый патрон; *3* – фреза; *4* – индикатор часового типа

Для проведения эксперимента были выбраны девять концевых фрез диаметром 16, 20, 25 мм различного исполнения (короткое, нормальное и удлиненное).

Коэффициент жесткости фрезы выглядит следующим образом:

$$C = \frac{3EI}{l^3}. \qquad (2)$$

У выбранных образцов диаметр хвостовика равен номинальному диаметру режущей части. Момент инерции поперечного сечения фрезы определяется следующим выражением:

$$I = \frac{\pi d^4}{64}, \qquad (3)$$

где d – диаметр хвостовика фрезы, мм.

Таким образом, получаем следующее выражение коэффициента жесткости:

$$C = \frac{3\pi E d^4}{64 l^3}. \qquad (4)$$

Для стали, используемой при изготовлении данных фрез, модуль упругости равен $E = 2{,}1 \cdot 10^5$ МПа.

В табл. 1 представлены результаты расчета и экспериментальные данные.

Анализ полученных результатов показывает, что фактический коэффициент жесткости фрезы, закрепленной в цанговом патроне, отличается от теоретического значения более, чем в 2 раза. Следовательно, принятое допущение об абсолютной жесткости заделки не подтверждается в реальных условиях эксплуатации инструмента.

При «форсировании» режимов резания на мощном оборудовании с целью достижения максимальной производительности при обработке нержавеющих сталей, обязательно следует учитывать жесткость системы СПИД, слабым звеном которой, как правило, является инструмент. Низкая жесткость фрезы вызывает ее отжим, вследствие этого увеличивается риск возникновения вибраций и снижается точность обработки.

Таблица 1

Результаты эксперимента и теоретического расчета коэффициента жесткости

№	Диаметр хвостовика d, мм	Вылет l, мм	, Н/мм	, Н/мм
1	16	57	10938	2500
2	16	80	3956	909
3	16	100	2026	714
4	20	60	22896	3333
5	20	75	11723	2500
6	20	110	3716	1111
7	25	60	55898	4000
8	25	80	23582	2500
9	25	115	7939	1667

В ходе проведения эксперимента было установлено, что фактическая жесткость фрезы значительно ниже теоретического значения и зависит от ее диаметра и вылета. Для учета этого явления введем поправочный коэффициент K_j:

$$C_0 = K_j \cdot C, \qquad (5)$$

где C_0 – фактический коэффициент жесткости фрезы, Н/мм.

Максимальную отжимающую силу можно определить по следующему выражению:

$$F_y = C_0 \cdot \delta_{max}, \qquad (6)$$

При этом формула 5 приобретает следующий вид:

$$C_0 = K_j \cdot \frac{3EI}{l^3}, \qquad (7)$$

Введем параметр $q = \frac{l}{D}$, характеризующий подсистему инструмента. Рассчитаем данный параметр для сочетаний фрез и вылетов, используемых при проведении экспериментальных исследований (табл. 2).

По данным таблицы 2 построим график зависимости $K_j = f(q)$ (рис. 2).

блица 2

Расчет поправочного коэффициента K_j

D , мм	l , мм	K_j	q
16	57	0,228557	3,56
16	80	0,229777	5,00
16	100	0,352616	6,25
20	60	0,145587	3,00
20	75	0,213262	3,75
20	110	0,299037	5,50
25	60	0,071559	2,40
25	80	0,106013	3,20
25	115	0,209938	4,60

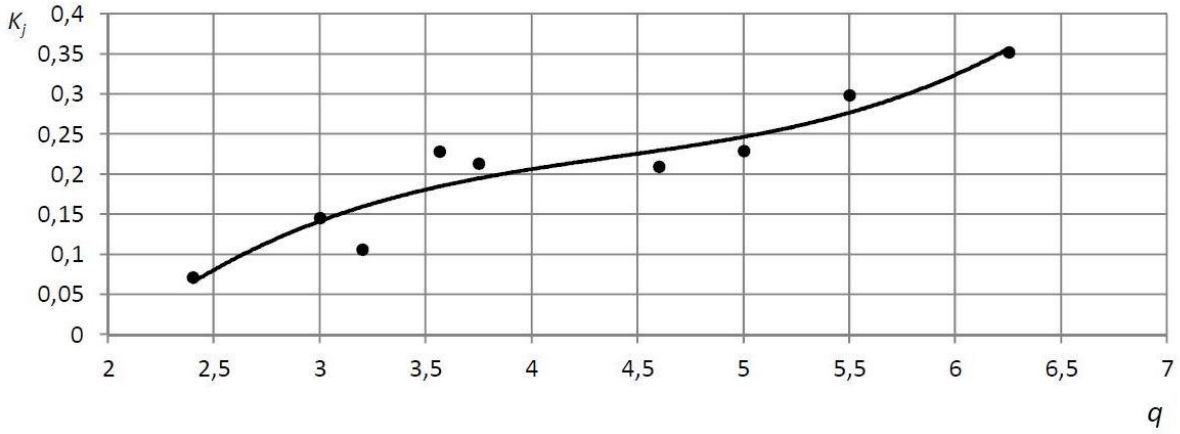


Рис. 2. График зависимости коэффициента K_j, учитывающего влияние особенностей закрепления фрезы на ее коэффициент жесткости, от параметра $q = \frac{l}{D}$

Полученный график позволяет определить значение поправочного коэффициента для концевых фрез любых диаметров и вылетов, если величина их параметра q не превосходит 6,25. Таким образом, используя полученные данные, можно определить максимально допустимую нагрузку для любой концевой фрезы, закрепленной с помощью цангового патрона.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Погонин, А. А.* Снятие характеристик процесса механической обработки крупногабаритных деталей / А.А. Погонин, М.С. Чепчуров, С.В. Старостин // Тяжелое машиностроение. – 2005. – № 3. – С. 15 – 16.

2. *Дуюн, Т.А.* Технологическое обеспечение точности формы контактной поверхности коллектора электродвигателя / Т.А. Дуюн // Научно-технические ведомости СПбГПУ. Наука и образование. – 2010. – №1. – С. 181–187.

3. *Дуюн, Т.А.* Обеспечение виброустойчивости при точении контактной поверхности коллектора электродвигателя / Т.А. Дуюн // Известия ТулГУ. Серия Технические науки. – 2009. – Вып.4. Ч1. – С. 43–48.

4. *Шпур, Г.* Справочник по технологии резания материалов / Г. Шпур, Т. Штеферле. – М.: Машиностроение, 1985. – 616 с.

5. *Остафьев, В.А.* Диагностика процесса металообработки / В.А. Остафьев, В.С. Антонюк, Г. С. Тысячник. – Киев: Техника, 1991. – 151 с.