

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 нержавеющей стали. 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 нержавеющей стали являются относительно универсальным конструкционным материалом, сочетая высокую коррозионную стойкость лучших медноникелевых 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 нержавеющей 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:

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

где  $C$  – коэффициент жесткости Н/мм;  $F$  – сила, приложенная к фрезе, Н;  $\delta$  – 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 сравнению 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.

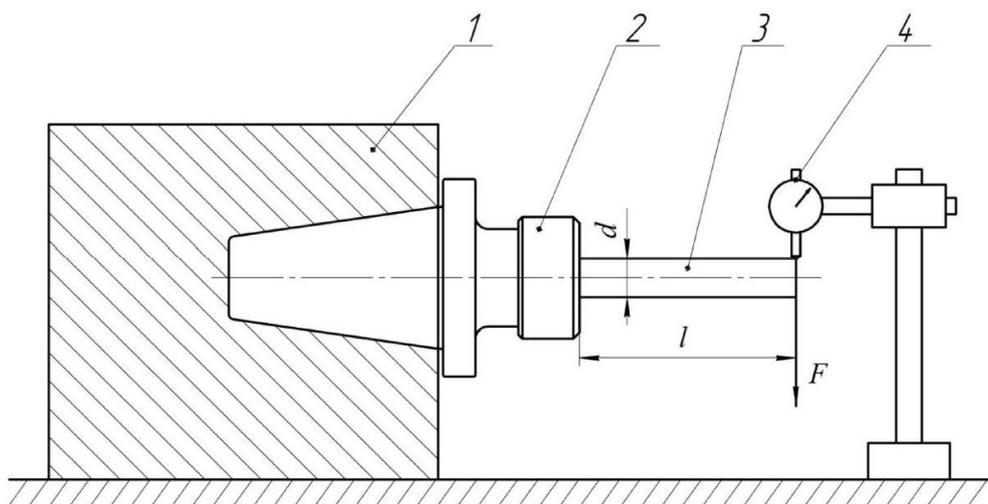


Рис. 1. Схема нагружения фрезы и определения ее максимального отжима:  
1 – делительная головка; 2 – цанговый патрон; 3 – фреза; 4 – индикатор часового типа

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:

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

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

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

где  $d$  – диаметр хвостовика фрезы, мм.

Таким образом, получаем следующее выражение коэффициента жесткости:

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

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 обра-

ботке нержавеющей стали, 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	$C$ , Н/мм	$C_0$ , 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  $K_j$ :

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

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

Максимальную отжимающую силу можно определить по следующему выражению:

$$F_y = C_0 \cdot \delta_{max}. \quad (6)$$

При этом формула 5 приобретает следующий вид:

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

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).

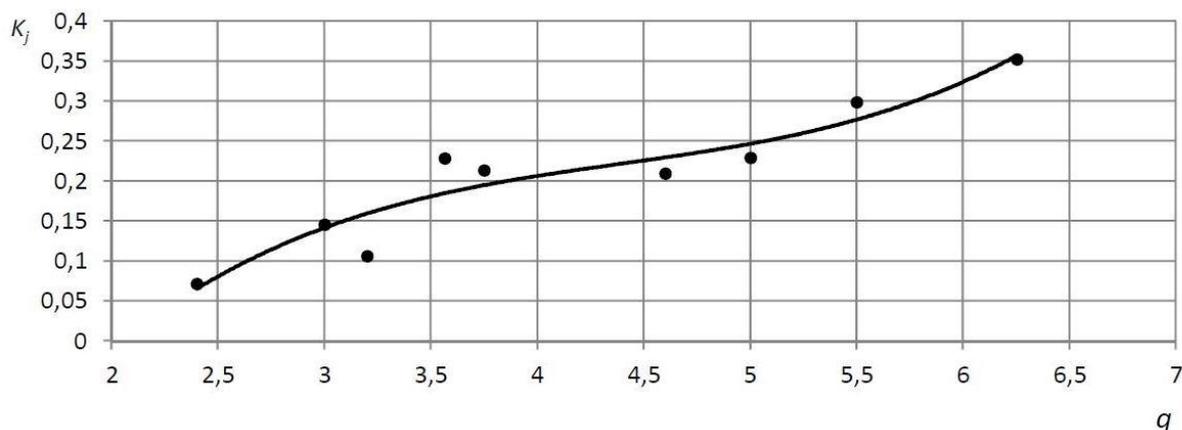


Рис. 2. График зависимости коэффициента  $K_j$ , учитывающего влияние особенностей закрепления фрезы на ее коэффициент жесткости, от параметра  $q = \frac{l}{D}$

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 металлообработки / В.А. Остафьев, В.С. Антонок, Г. С. Тысячник. – Киев: Техника, 1991. – 151 с.