

МОДЕЛИРОВАНИЕ ИЗМЕНЕНИЯ РЕЖУЩЕЙ СПОСОБНОСТИ ИНСТРУМЕНТА ПРИ КРУГЛОМ ВРЕЗНОМ ШЛИФОВАНИИ С ПОСТОЯННЫМ РЕЖИМОМ

Витебский государственный технологический университет

Минск, Беларусь

Анализ результатов экспериментов [1–3] позволяет высказать следующие гипотезы о характере изменения режущей способности шлифовального круга при круглом врезном шлифовании с постоянной радиальной силой за время его эксплуатации между правками.

1. После определенного периода шлифования наступает стабилизация коэффициента режущей способности (режим полного самозатачивания).

2. Стабильное значение коэффициента режущей способности K_{pc} увеличивается при увеличении радиальной силы.

3. Коэффициент режущей способности сразу после правки не зависит от радиальной силы.

4. Коэффициент режущей способности сразу после правки увеличивается при увеличении продольной подачи правящего инструмента.

5. При увеличении радиальной силы шлифовальный круг переходит из режима затупления в режим самозатачивания и даже в режим восстановления.

6. На основании основного принципа теории надежности [4] скорость изменения коэффициента режущей способности шлифовального круга, который работает с постоянной радиальной силой P_y , не зависит от того, как и за какое время он изменился от некоторого начального значения $K_{pн}$ (сразу после правки) до текущего K_p в рассматриваемый момент времени, а зависит только от K_p , силы P_y и свойств шлифовального круга. Запись этого принципа в дифференциальной форме с учетом высказанных выше гипотез имеет вид

$$\frac{dK_p}{dt} = -M(K_p - K_{pc}),$$

где M — параметр, который отражает темп изменения; K_{pc} — стабильное значение коэффициента режущей способности, зависящее от радиальной силы.

Решение этого дифференциального уравнения дает следующую математическую модель изменения K_p во времени t .

$$K_p = (K_{pn} - K_{pc}) \cdot \exp(-M \cdot t) + K_{pc};$$

где — $M = (\ln 2)/t_{0,5} = 0,6931 / t_{0,5}$; $t_{0,5}$ — время работы шлифовального круга, в течение которого текущее значение коэффициента режущей способности станет равным $K_p = (K_{pn} + K_{pc})/2$.

7. Анализ результатов экспериментов [1,2] позволяет утверждать, что $t_{0,5}$ не зависит P_y .

8. Зависимость K_{pc} от P_y можно отразить следующей моделью

$$K_{pc} = K_{pcm} \cdot [1 - \exp(-0,6391 \cdot P_y^2 / P_{y1}^2)],$$

где K_{pcm} — максимальное для данных характеристик шлифовального круга и шлифуемого материала значения K_{pc} ; P_{y1} — значение радиальной силы, при котором $K_{pc} = K_{pcm} / 2$.

Модель 1 (с учетом моделей 2 и 3) удобнее для использования и анализа представлять в безразмерной форме

$$\kappa_p = \exp(G \cdot \tau) + \kappa_{pcm} \cdot [1 - \exp(G \cdot \tau)] \cdot [1 - \exp(G \cdot p^2)],$$

где $\kappa_p = K_p / K_{pn}$; $\kappa_{pcm} = K_{pcm} / K_{pn}$; $\tau = t / t_{0,5}$; $p = P_y / P_{y1}$; $G = -\ln 2$, что позволит заменить семейство моделей с разными значениями $t_{0,5}$ (рис. 1).

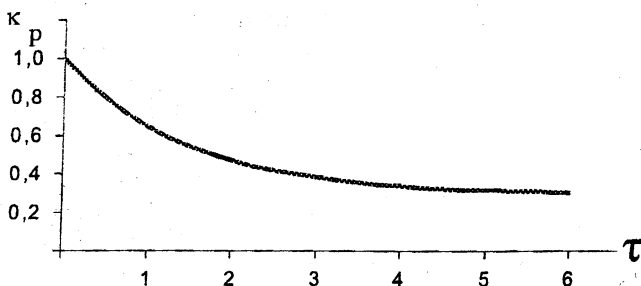


Рис. 1. Зависимость κ_p от относительного времени τ при значениях $\kappa_{pcm} = 1$ и $p = 0,5$.

Скорость уменьшения относительного коэффициента режущей способности зависит от τ , κ_{pcm} и p . Согласно модели 4

$$\frac{d\kappa_p}{d\tau} = G \cdot \exp(G \cdot \tau) \cdot \{1 - \kappa_{pcm} \cdot [1 - \exp(G \cdot p^2)]\},$$

Шлифовальный круг будет работать в режиме самозатачивания, если скорость затупления будет равной 0 при любом τ . Т. е. для режима самозатачивания

$$k_{рсм(см)} = 1/[1 - \exp(G \cdot p^2)] = C_{см} \cdot$$

D-разбиение поля режимов работы шлифовальный круга согласно модели 6 показана на рис. 2. Если сочетание значений $k_{рсм}$ и p характеризуется точкой, которая лежит ниже кривой D-разбиения, то шлифовальный круг работает в режиме затупления, а если выше — то в режиме восстановления режущей способности.

При шлифовании с постоянной радиальной силой изменение режущей способности ведет к изменению производительности. Согласно определению

$$\pi \cdot d \cdot B \cdot V_r = K_p \cdot P_y,$$

где d и B — диаметр и ширина шлифуемой поверхности соответственно; V_r — скорость уменьшения радиуса заготовки (линейная производительность).

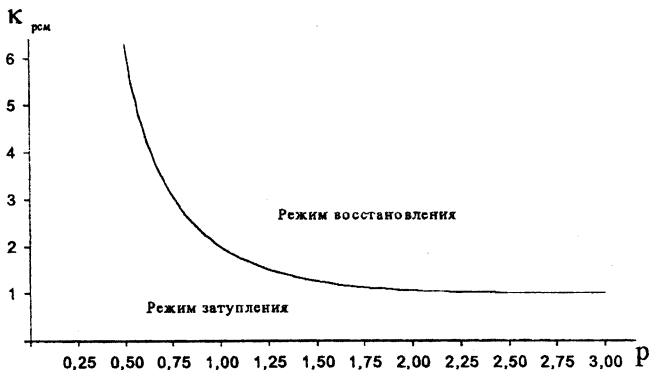


Рис. 2. D-разбиение поля режимов работы шлифовальный круга

Записав модель 7 для начала процесса (сразу после правки) и для произвольного момента времени и поделив эти модели друг на друга, получим

$$V_r = V_{rn} \cdot K_p,$$

где V_{rn} — начальная линейная производительность сразу после правки.

При шлифовании с постоянной радиальной подачей S изменение режущей способности (затупление или восстановление) ведет к соответствующему

му изменению радиальной силы P_y . При таком стабильном шлифовании $V_r = S$. Аналогично, записав модель 7 для двух моментов времени, получим

$$p = p_n / \kappa_p,$$

где p_n — начальное значение (сразу после правки) относительной радиальной силы.

Подставив модель 9 в 4, получим для случая шлифовании с постоянной производительностью ($S = const$)

$$\kappa_p = \exp(G \cdot \tau) + \kappa_{p_{см}} \cdot [1 - \exp(G \cdot \tau)] \cdot [1 - \exp(G \cdot p_n^2 / \kappa_p^2)].$$

Так как κ_p входит в правую и левую части модели 10, его значение можно определить только численно, например, методом итераций или методом прямого поиска с переменным шагом.

На рис. 3 показан характер изменения κ_p от относительного времени шлифования с постоянной радиальной силой и с постоянной радиальной подачей (модели 4 и 10). Анализ графиков на этом рисунке ясно показывает, что изменение κ_p при шлифовании с постоянной подачей происходит в меньшей степени, чем при шлифовании с постоянной радиальной силой, как в режиме затупления (кривые 1.2 и 1.1, 2.2 и 2.1), так и в режиме восстановления (кривые 3.2 и 3.1).

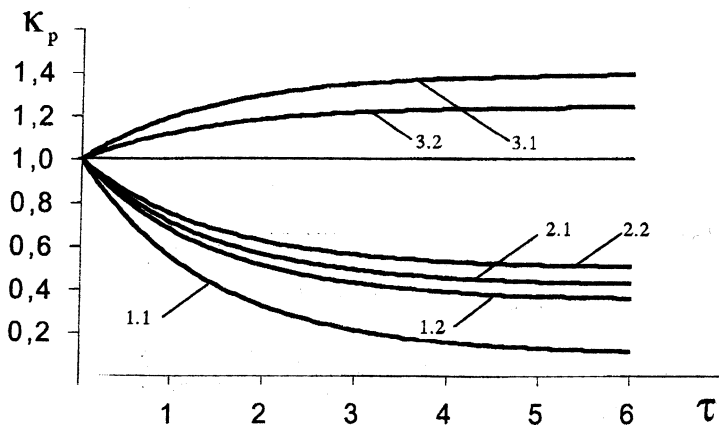


Рис. 3. Изменение относительного коэффициента режущей способности при шлифовании с постоянной радиальной силой (1.1; 2.1; 3.1) и с постоянной подачей (1.2; 2.2; 3.2)

Согласно [6] возможен другой подход к синтезу математической модели, которая будет отражать характер изменения состояния рабочей поверхности шлифовального круга. Рассматривая накопление «повреждений» на рабочей поверхности шлифовального круга как процесс Пуассона, можно записать

$$\frac{K_{pn} - K_p}{K_{pn} - K_{pc}} = 1 - \exp(-M \cdot t^c), \quad (11)$$

где выражение слева представляет собой вероятность того, что K_p примет значение K_{pc} ; а параметр c — характеризует степень нестационарности (т.е. зависимости вероятности изменения K_p не только от рассматриваемого интервала, но и от времени t , прошедшего от начала процесса шлифования). Процесс считается стационарным, если $c = 1$.

Из модели 11 легко получаем

$$K_p = (K_{pn} - K_{pc}) \cdot \exp(-M \cdot t^c) + K_{pc}.$$

При $c = 1$ эта модель полностью совпадает с моделью 1, полученной на основании основного принципа надежности [4]. Аппроксимация результатов экспериментов [1] моделью 12 показала, что параметр c может принимать значения от 0,6 до 1,2. Физической причиной нестационарности процесса изменения коэффициента режущей способности является недостаточное качество шлифовального круга (неравномерность твердости на его рабочей поверхности) и низкая жесткость технологической системы. Как известно, при этом изнашивание круга приводит к развитию волнистости на его рабочей поверхности. Когда амплитуда волнистости достигает некоторого предела, происходит разрыв контакта заготовки и круга и их соударения. При этом полученная ранее волнистость сглаживается. Этот процесс повторяется периодически в течение периода стойкости шлифовального круга, замедляя процесс его затупления.

При достаточной жесткости технологической системы круглошлифовального станка и хорошем качестве шлифовального круга можно с высокой степенью достоверности считать процесс изменения состояния его рабочей поверхности стационарным и пользоваться для его отражения моделями 1...6 и 10. Эти модели изменения режущей способности шлифовального круга можно использовать для разработки алгоритма управления рабочим циклом круглошлифования с учетом затупления.

ЛИТЕРАТУРА

1. Кенджаев Х. Х. Исследование затупления шлифовального круга. — В. сб. Передовой научно-технический и производственный опыт.

— М.: Изд. Всесоюзного института научной и технической информации, 1957. — С. 12–23. 2. Корчак С. Н. Производительность процесса шлифования стальных деталей. — М.: Машиностроение, 1974. — 200 с. 3. Лурье Г. Б. Рациональное использование шлифовальных станков. Обзор. — М.: «НИИМАШ». 1974. — 79 с. 4. Седакин Н. М. Об одном физическом принципе теории надежности. // Известия А. Н. СССР, Техническая кибернетика. — 1966. — № 3. — С. 80–87. 5. Махаринский Е. И. Технологические основы управления процессом шлифования. — М.: СНИО СССР, 1990. — 52 с. 6. Богданов Дж., Козин Ф. Вероятностные модели накопления повреждений. — М.: Мир, 1989. — 364 с.

УДК 621.94

**В.И. Туромша, В.И. Клевзович,
А.И. Бачанцев, А.А. Сединин**

ОЦЕНКА ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ЗАТРАТ ПРИ ФРЕЗЕРОВАНИИ

*Белорусский национальный технический университет
Минск, Беларусь*

В современных условиях можно выделить критерии, которые являются движущей силой развития машиностроения: повышение качества производимой продукции, увеличение производительности, надежности, долговечности, эргономичности, снижение себестоимости и др. В современной экономике особое внимание уделяется снижению себестоимости продукции. Одной из составляющих себестоимости единицы продукции является стоимость энергоносителей.

В процессе изготовления детали совершается целый ряд технологических переходов и операций, среди которых лезвийная механическая обработка является преобладающей. При этом одним из наиболее распространенных ее видов, использующихся преимущественно для обработки плоскостей в корпусных деталях, является фрезерование. В связи с этим очень важным является определение изменения уровня потребления энергии технологическими машинами в процессе резания в зависимости от режимов работы и методик их назначения.

В качестве объекта исследований выбран процесс плоского фрезерования торцевой фрезой. Расчеты режимов резания выполнялись согласно традиционной методике [1] и методике, разработанной на кафедре «Металлорежущие станки и инструменты» БНТУ [2].