

ПРОЕКТИРОВАНИЕ ОПЕРАЦИИ ТОРЦОВОГО ФРЕЗЕРОВАНИЯ С ОБЕСПЕЧЕНИЕМ ЗАДАННОЙ КРИВОЙ ОТНОСИТЕЛЬНОЙ ОПОРНОЙ ДЛИНЫ ПРОФИЛЯ

В.А. Хоменко, С.Л. Леонов, А.О. Черданцев, В.В. Веснин, П.О. Черданцев

Описан алгоритм проектирования операции торцового фрезерования исходя из диапазона допустимых значений среднего арифметического отклонения профиля и кривой относительной опорной длины профиля.

Ключевые слова: торцовое фрезерование, имитационное моделирование, качество поверхности, шероховатость, топография, проектирование операции.

Развитие машиностроительной отрасли приводит к возрастанию требований к эксплуатационным свойствам деталей. Значительное влияние на эксплуатационные свойства деталей оказывают геометрические параметры качества поверхностного слоя, одним из которых является шероховатость. Качество поверхностного слоя детали обуславливается параметрами по ГОСТ 25142-82 и ГОСТ 2789-73 в частности такими, как среднее арифметическое отклонение профиля и кривая относительной опорной длины профиля. Эти параметры шероховатости присутствуют практически во всех формулах для расчета значений эксплуатационных свойств деталей.

Например, для расчета коэффициента трения шероховатой поверхности применяется следующая формула [1]:

$$f = k_1 * \left(\frac{1}{\Delta}\right)^{\frac{v}{2v+1}} \frac{\tau_0}{P_0^{2v+1}} \left(\frac{1-\mu^2}{E}\right)^{\frac{2v}{2v+1}} + \beta + k_2 \alpha \Delta^{\frac{1}{2v+1}} \left(\frac{P_r}{E}\right)^{\frac{1}{2v+1}},$$

где k_1 и k_2 – коэффициенты, зависящие от закона распределения ординат профиля; P_0 и P_r – контурное и фактическое давление на контакте; $\Delta = \frac{H_{\max}}{rb^v}$ – комплексная характеристика шероховатости; H_{\max} – максимальная высота неровности; r – радиус кривизны вершины неровности; b , v – параметры опорной кривой профиля; α , β , τ_0 – физические характеристики материала.

Начальное время приработки поверхности при нагрузке N рассчитывается по формуле [2]:

$$t = \frac{Rz}{\varphi H} (1 - \sqrt[3]{2 - \varphi}),$$

где Rz – среднее значение шероховатости для детали имеющей наинизший класс шероховатости; устанавливаемая экспериментальным путем для заданных характеристик

материала и промежуточной абразивной среды; φ – принятый коэффициент увеличения нагрузки ($\varphi = 1,1 \div 1,3$).

При нормальном нагружении контактирующих поверхностей выступы шероховатости, первыми вступившие в контакт, пластически деформируются на величину, которая может быть рассчитана по формуле [3]:

$$U_{\text{пл.в.ш}} = R_{p_{\text{исх}}} \left(\frac{100N}{A_c t_{m_{\text{исх}}} 3U_{\text{исх}} \sigma_T} \right)^{1/v_{\text{исх}}},$$

где $R_{p_{\text{исх}}}$ – высота сглаживания исходной шероховатости, вступившей в контакт; N – нагрузка на контактирующие поверхности; A_c – контурная площадь контактирующих деталей; $t_{m_{\text{исх}}}$ – относительная длина опорной поверхности на уровне средней линии для исходной шероховатости; $U_{\text{исх}}$ – исходная степень наклепа контактирующей поверхности; σ_T – предел текучести контактирующей детали; $v_{\text{исх}}$ – параметр исходной шероховатости.

Зависимость сопротивления усталости σ_{-1} (МПа) жаропрочных сплавов от параметров поверхностного слоя выражается уравнением множественной регрессии следующего вида [4]:

$$\sigma_{-1} = A_0 + A_1 Ra + A_2 h_H + A_3 U_H,$$

где Ra , h_H , U_H – параметры поверхностного слоя (Ra , h_H , мкм; U_H , %); A_0 , A_1 , A_2 , A_3 – коэффициенты при переменных в корреляционном уравнении. Значения коэффициентов A_0 , A_1 , A_2 и A_3 в уравнении для сплавов ХН70ВМТЮ, ХН70ВМТЮФ и ХН55ВМТКЮ (на базе 100 млн. циклов) берутся из таблицы полученной по экспериментальным исследованиям.

Анализируя приведенные зависимости можно сделать вывод, что значительная часть данных, требуемых для расчета по данным формулам, является параметрами шероховатости и может быть получена из топографии рассматриваемой поверхности.

Нами разработана имитационная мо-

дель для расчета топографии поверхности при торцовом фрезеровании [5]. Эта модель позволяет получать значения любых параметров шероховатости. Исходными данными являются параметры обрабатываемой поверхности, режимы резания, конструктивные и геометрические параметры фрезы, а так же траектория перемещения инструмента.

Укрупненно последовательность работы с моделью можно представить в виде схемы приведенной на рисунке 1.

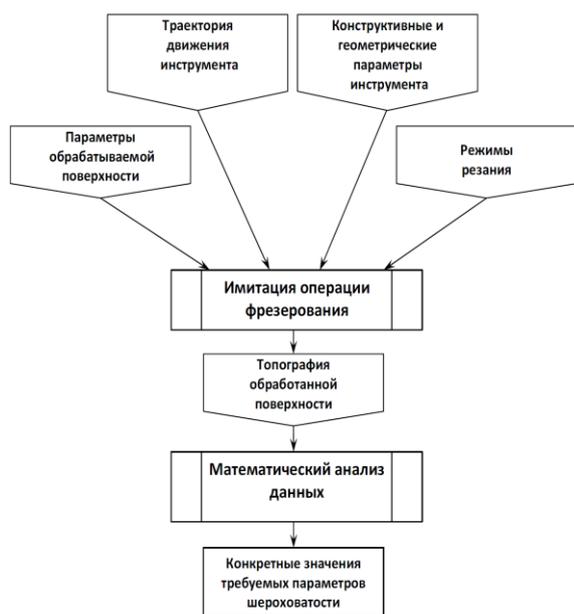


Рисунок 1 – Обработка данных в имитационной модели

Относительная опорная длина профиля оказывает значительное влияние на эксплуатационные свойства, задаваемые конструктором на этапе проектирования изделий.

В связи с этим для решения задач технологического обеспечения заданных эксплуатационных свойств деталей на основе описанной имитационной модели нами был разработан алгоритм проектирования операции торцового фрезерования (рисунок 3), позволяющий обеспечить выбор инструмента и назначение режимов резания необходимых для обеспечения заданной формы кривой относительной опорной длины профиля и значения среднего арифметического отклонения профиля в требуемом диапазоне.

На начальном этапе задается диапазон допустимых значений среднего арифметического отклонения профиля, который представляется в виде двойного неравенства:

$$Ra_{\min} \leq Ra \leq Ra_{\max}$$

Требуемая форма кривой относительной опорной длины профиля задается в виде таблицы, содержащей пары значений t_p и p (рисунок 2).

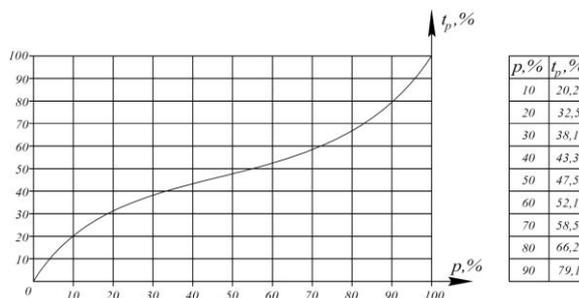


Рисунок 2 – Описание формы кривой относительной опорной длины профиля

Работа алгоритма построена на использовании базы данных инструментов. В неё могут быть внесены как фрезы собственной конструкции, используемые машиностроительным предприятием, так и фрезы, которые возможно приобрести у поставщиков (в этом случае база данных инструмента составляется на основе каталогов производителей). По каждой фрезе содержится информация о возможных режимах резания, которые могут быть использованы при обработке данным инструментом.

Работа алгоритма заключается в переборе всех возможных вариантов фрез из базы данных и переборе допустимых для них режимов резания с определенным шагом. Для полученного варианта осуществляется имитация процесса фрезерования с помощью разработанной модели, и рассчитывается топография обработанной поверхности. На топографии обработанной поверхности производится поиск профиля, для которого значение среднего арифметического отклонения профиля оказывается максимальным. По полученному профилю рассчитывается кривая относительной опорной длины.

Далее осуществляется оценка выбранного сочетания фрезы и режима резания на предмет соответствия формы кривой относительной опорной длины профиля и среднего арифметического отклонения профиля заданным значениям.

В качестве примера на рисунке 4 показано, как меняется форма кривых относительных опорных длин профиля для разных значений подач на зуб.

ПРОЕКТИРОВАНИЕ ОПЕРАЦИИ ТОРЦОВОГО ФРЕЗЕРОВАНИЯ С ОБЕСПЕЧЕНИЕМ
ЗАДАННОЙ КРИВОЙ ОТНОСИТЕЛЬНОЙ ОПОРНОЙ ДЛИНЫ ПРОФИЛЯ

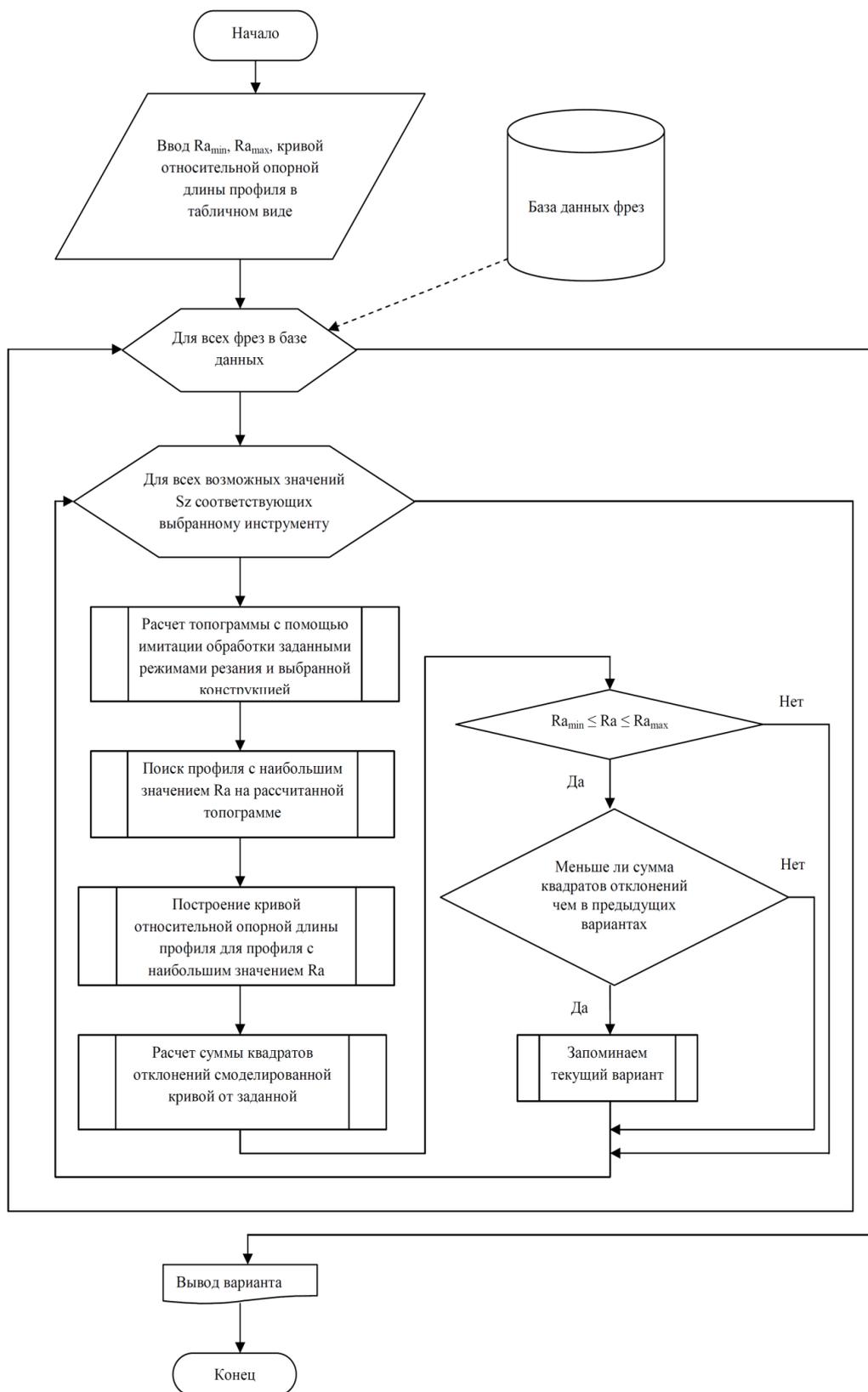


Рисунок 3 – Алгоритм проектирования операций торцового фрезерования

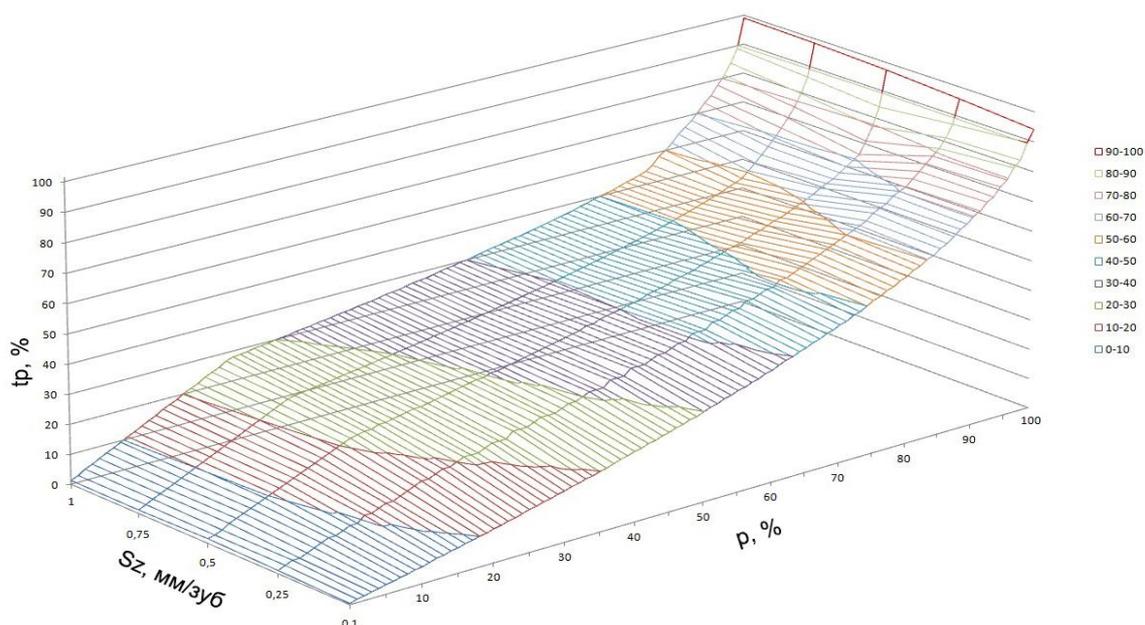


Рисунок 4 – Кривые относительных опорных длин профиля в зависимости от подачи на зуб.

В итоге выбирается сочетание фрезы и режима резания, которое обеспечивает наименьшую сумму квадратов отклонений прогнозируемой кривой относительной опорной длины профиля от заданной, при этом среднее арифметическое отклонение профиля оказывается в требуемом диапазоне.

Предложенный алгоритм реализуется в виде программного обеспечения и позволяет расширить возможности технолога при проектировании операции торцового фрезерования для ответственных поверхностей с высокими требованиями к геометрическим параметрам качества.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Приходько, В. М. Формирование эксплуатационных свойств деталей машин ультразвуковыми методами : монография / В. М. Приходько, И. А. Медеяев, Д. С. Фатюхин. – М. : МАДИ, 2015. – 19 с.
2. Крагельский, И. В. Основы расчетов на трение и износ / И. В. Крагельский, М. Н. Добычин, В. С. Комбалов. – М. : Машиностроение, 1977. – 351 с.
3. Суслов, А. Г. Инженерия поверхности деталей / А. Г. Суслов, В. Ф. Безъязычный, Ю. В. Панфилов и др. – М. : Машиностроение, 2008. – 256 с.
4. Поверхностный слой и эксплуатационные свойства деталей машин / А. М. Сулима, В. А. Шулов, Ю. Д. Ягодкин. – М. : Машиностроение, 1988. – с. 145–146.

5. Хоменко, В. А. Оптимизация операции торцового фрезерования по критерию максимальной производительности на основе имитационного моделирования / В. А. Хоменко, А. О. Черданцев, П. О. Черданцев // Ползуновский вестник. – 2015. – № 2. – С. 65–69.

Хоменко Валерий Андреевич, д.т.н., профессор кафедры «Технология машиностроения» ФГБОУ ВО «Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова», e-mail: tar_otm@mail.ru.

Леонов Сергей Леонидович, д.т.н., профессор кафедры «Технология машиностроения» ФГБОУ ВО «Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова», e-mail: sergey_and_nady@mail.ru.

Черданцев Алексей Олегович, инженер кафедры «Технология машиностроения» ФГБОУ ВО «Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова», e-mail: hypertigr@mail.ru, тел.: 8-913-211-3957.

Веснин Владимир Владимирович, магистрант ФГБОУ ВО «Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова», e-mail: wolverene12@gmail.com.

Черданцев Павел Олегович, к.т.н., доцент кафедры «Теоретическая механика и механика машин» ФГБОУ ВО «Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова», e-mail: p004092@yandex.ru.