

СЕКЦИЯ 9

**Машиностроение,
станки и инструменты**

Моделирование процесса образования микропрофиля поверхности

Возможность получения аналитической зависимости параметра технологического процесса обработки всегда предпочтительнее по сравнению с найденной эмпирической зависимостью, но не всегда существуют аналитические пути поиска искомой зависимости. Моделирование процесса получения микрогеометрии профиля обрабатываемой поверхности позволяет получить модель, отражающую деформирование гребешка микронеровности под действием сил резания при фрезеровании, что является важным преимуществом, по сравнению с проведением эксперимента.

Шаг микронеровности определяется величиной подачи на зуб, диаметром (или радиусом) сферической фрезы. Соответственно этим характеристикам находится высота микропрофиля, по которому определяют искомый параметр шероховатости Ra .

Использование пакета, основой которого является алгоритм конечно-элементного анализа позволяет проанализировать деформации гребешка микропрофиля поверхности. В качестве подобного пакета выбран пакет *ELCUT*, его студенческая версия, распространяемая бесплатно. Все расчёты с использованием этого пакета производятся только в статике, так как он не позволяет произвести моделирование нагружений и деформаций в динамике. Результаты моделирования деформаций гребешка микропрофиля поверхности позволяют определить направление экспериментального поиска зависимостей, а также оценить форму деформаций и их вид. В то же время, создаваемая модель не учитывает всех факторов, возникающих при фрезеровании, например, отжим инструмента, влияние температуры в зоне резания, влияние СОЖ, свойств материала инструмента и тому подобное.

Поскольку экспериментальная обработка никелевого сплава выполнялась в соответствии с рекомендациями производителя инструмента и матрицей планирования дробно-факторного эксперимента, то и при моделировании деформаций воспользуемся этими данными, которые приведены в табл. 1.

Таблица 1

№ опыта	V , м/мин	t , мм	S_z , мм	№ опыта	V , м/мин	t , мм	S_z , мм
1	35	0,55	0,06	9	15	0,34	0,03
2	35	0,19	0,06	10	25	0,34	0,06
3	15	0,55	0,06	11	25	0,55	0,09
4	15	0,19	0,06	12	25	0,55	0,03
5	25	0,34	0,06	13	25	0,19	0,09
6	35	0,34	0,09	14	25	0,19	0,03
7	35	0,34	0,03	15	25	0,34	0,06
8	15	0,34	0,09				

Выполним моделирование образования деформаций гребешка фрезеруемой поверхности с использованием *ELCUT 5.5* описанием всех этапов.

Первым этапом является геометрическое построение образуемого микропрофиля поверхности, при этом учитываются следующие параметры; диаметр фрезы, в нашем случае – 12 мм, величина подачи на зуб, в соответствии с табл. 1. Геометрическое моделирование можно выполнить в любом графическом редакторе, или в графическом редакторе *ELCUT*, согласно рисунку геометрическая создаётся с помощью графических примитивов, для решения задачи используется 2D-модель. В качестве единиц линейных величин приняты микрометры.

На втором этапе назначаются свойства материала.

Третий этап заключается в назначении ограничений по перемещению и нагрузок. Если в качестве ограничений по перемещению назначаются внешние рёбра модели, то нагрузки следует рассчитать для каждого опыта индивидуально. Силу, вызывающую деформацию получаемого профиля микронеровностей можно определить по формуле

$$P_y = (0,35 \dots 0,4) \cdot (35 \cdot t^{(1+0,85)}) \cdot S_z^{(1+0,72)} \cdot 2\pi R \cdot z / \left(2 \cdot (R^2 - (R-t)^2) \right)^{0,14} \text{ КН} \quad (1)$$

Выполним расчёты для определения силы, деформирующей гребешок, в каждом опыте, все данные сведём в таблицу.

На четвертом этапе произведём разбиение модели на конечные элементы. Студенческая версия *ELCUT* позволяет разбить модель не более чем на 255 элементов, в случае появления сообщения о превышении количества элементов, следует изменить модель. Как было произведено в нашем случае. Геометрическая модель подвергается разбиению на сетку конечных элементов с учетом свойств материала и конфигурации самой модели. Поскольку в геометрической модели присутствует только один блок, то модель разбивается вся полностью, при необходимости возможно разбиение каждого блока в отдельности с назначением им различных свойств, это требуется в том случае, если модель состоит из материалов с различными свойствами. В нашем случае следует воспользоваться одной моделью, имеющей один блок с однородными свойствами. При необходимости можно выполнить статистический анализ полученной модели.

Пятый этап заключается в решении задачи конечно-элементного анализа модели. После получения сообщения о завершении решения на экране появляется заданная модель с результатами решения. Вызвав из соответствующего меню требуемую картину поля, можно увидеть требуемые результаты. При решении нашей задачи интерес представляют конечные деформации и перемещения. Для правильного анализа результатов виде цветовой картины поля необходимо воспользоваться легендой цветовой шкалы. Как следует из результатов, максимальное перемещение материала составляет не более 0,336 мкм, что в пределах нормы, но при получении особо чистых поверхностей деталей ($Ra = 0,8$ мкм) эта величина является критической.

Для каждого опыта требуется произвести построение модели и произвести расчёты для каждой модели, результаты моделирования смещений сведём табл. 2. В этой таблице отражены параметры обработки в виде глубины фрезерования и величина подачи на зуб. Для оценки величины деформаций гребешка в одной из колонок приведено расчётное значение высоты гребешка, в последней колонке результаты расчёта высоты гребешка по результатам моделирования деформаций в *ELCUT*.

Теоретическую высоту гребешка микропрофиля поверхности произведём по формуле

$$h = R - \sqrt{R^2 - \left(\frac{S_z}{2}\right)^2}, \quad (2)$$

Таблица 2

Высота гребешка микронеровностей

№ опыта	S_z , мм/зуб	Расчётное значение h , мкм	Высота гребешка по результатам моделирования h' , мкм	Коэффициент отклонения микропрофиля
7	0,03	0,01875	0,101	5,38665825
9	0,03	0,01875	0,101	5,38665825
12	0,03	0,01875	0,101	5,38665825
14	0,03	0,01875	0,101	5,38665825
1	0,06	0,0750005	0,436	5,813297
2	0,06	0,0750005	0,436	5,813297
3	0,06	0,0750005	0,436	5,813297
4	0,06	0,0750005	0,436	5,813297
5	0,06	0,0750005	0,436	5,813297
10	0,06	0,0750005	0,436	5,813297
15	0,06	0,0750005	0,436	5,813297
6	0,09	0,1687524	0,156	0,924431444
8	0,09	0,1687524	0,156	0,924431444
11	0,09	0,1687524	0,156	0,924431444
13	0,09	0,1687524	0,156	0,924431444

Использование моделирования процесса образования микрорельефа поверхности позволяет получить методику моделирования для различных видов поверхностей. Однако все же требуется анализ результатов обработки поверхности с использованием специальных приборов.

Литература

1. Чепчуров, М.С. Бесконтактный способ контроля шероховатости поверхности деталей пресс-форм и его реализация / М.С. Чепчуров, Ю.А. Афанасова // Технология машиностроения.– № 11.– 2009.– С. 15-17.
2. Афанасова, Ю.А. Получение информации об объекте при моделировании механической обработки детали / Ю.А. Афанасова, М.С. Чепчуров // Материалы 4-й междунар. науч.-практ. конф. «Прогрессивные технологии развития», Тамбов, 29–30 июля 2008 г.– С. 40-43.
3. Потапов, А.А. Исследование микрорельефа обработанных поверхностей с помощью методов фрактальных сигнатур / А.А. Потапов, В.В. Булавкин, В.А. Герман и др. // Журнал технической физики.– 2005.– Т. 75.– Вып. 5.– С. 28-45.