

РАСЧЕТНО-ГРАФИЧЕСКОЕ 3D МОДЕЛИРОВАНИЕ ПЛОЩАДЕЙ СРЕЗА И СИЛОВЫХ ЗАВИСИМОСТЕЙ ПРИ ОБРАБОТКЕ КОНЦЕВЫМИ ФРЕЗАМИ

Одним из основных средств достижения заданной точности путем лезвийной обработки является стабилизация сил резания. Особую важность этот фактор приобретает при обработке сложно-профильных поверхностей фрезерованием, когда их переменная кривизна является возмущающим воздействием процесса резания. В этом случае нивелирование возникающих погрешностей от упругих деформаций системы достигается путем коррекции режимов резания или стратегии формообразования. Появившиеся возможности непрерывной коррекции условий обработки на современных станках с УЧПУ делают актуальными дальнейшие исследования, задачей которых является прогнозирование изменения сил резания на различных участках, что особенно важно при обработке поверхностей двойной кривизны.

Расчет силовых параметров фрезерования на протяжении длительного периода являлся предметом многочисленных исследований. Наиболее часто силы резания при фрезеровании рассчитывается по известной формуле, недостатком которой является то, что она отражает и обобщает результаты экспериментальных данных, соответствующих конкретным условиям механической обработки. Изменение этих условий принято учитывать поправочными коэффициентами и показателями степени. В математическом смысле это означает пропорциональное масштабирование нелинейных уравнений, что может привести к значительным погрешностям аппроксимации. Кроме этого данная формула выведена из выражения, которое фактически описывает скорость удаления объема материала с заготовки, и никак не учитывает форму и размеры сечения срезаемого слоя.

Предложенная М. Weck и К Teipel (1977 г.) модель расчета сил резания, в которой силовая зависимость определяется выражением $F = K \cdot a_p \cdot h$, где a_p – осевая глубина, h – толщина срезаемого слоя, при этом константа K – зависит от обрабатываемого материала, скорости резания и определяется экспериментально. Y. Altintas использовал и расширил этот подход, предложив выражение для расчета силы резания: $F = K \cdot a_p \cdot h + K_c \cdot a_p$, в котором второе слагаемое учитывает влияние формы режущей кромки инструмента.

S.A. Tobias. G. Stepan предложили нелинейную степенную функцию силы от толщины срезаемого слоя $F = K \cdot a_p \cdot h^x$, где x – экспериментальный параметр.

R.P.H. Faassen использовал комбинацию ряда моделей для тангенциальной F_t и радиальной F_r , составляющих силы в виде:

$$F_t = K_t \cdot a_p \cdot h^x + K_{ta} \cdot a_p; \quad F_r = K_r \cdot a_p \cdot h^x + K_{ra} \cdot a_p.$$

В настоящее время наиболее перспективным развитием изложенных подходов является предложенная рядом Европейских фирм методика расчета сил резания через удельную силу, значение которой для различных условий и материалов приведено в справочнике GARANT. Удельным давлением резания называется сила резания, которая приходится на единицу площади поперечного сечения срезаемого слоя и выражается в кГ/мм^2 . Согласно этой методике для любого вида лезвийной обработки тангенциальная составляющая силы резания может быть определена как:

$$F_t = b \cdot h \cdot K_c \cdot K_f = b \cdot h^{(1-m)} \cdot K_c \cdot K_f$$

где b , h – ширина и толщина срезаемого слоя соответственно, K_f – поправочный коэффициент, K_c – удельная сила, приходящаяся на единицу площади среза, m – показатель степени. Значения удельной силы и показателя степени приведены для групп обрабатываемых материалов в справочной литературе.

Для расчета сил резания при продольном сечении среза ограниченном кривыми была предложена методика, в основу которой положены различные способы разбиения сечения срезаемого слоя на участки. Такой способ подходит для фрез с винтовым зубом, однако, при его анализе выясняется необходимость целого ряда допущений, влияние которых на конечный результат даст погрешность.

Одной из задач чистового фрезерования является обеспечение способности инструмента генерировать поверхности сложного профиля максимально близкие к теоретически заданным. В этом случае концевые фрезы с радиусной частью являются инструментом первого выбора. При фрезеровании возникает сила трение задней поверхности зуба фрезы об обработанную поверхность. Поэтому данный фактор нуждается в уточнении, однако форма и размеры поверхности трения для фрез данного типа трудно воспроизвести путем абстрактного мышления.

Средств современной 3D графики позволяют создавать («клеить») оттиски форм одного объекта на другом, при условии контакта (или пересечении) этих объектов. В результате на 3D гранях образуются дополнительные области, к характеристикам которых (площади, граничные кривые и точки) и их редактированию (выдавить, придать толщину) можно получить доступ. После «клеяния» цвет оттиска принимает установленный цвет контактируемого 3D тела, на которое он наносится, что облегчает построение программного «фильтра» доступа к элементу с необходимыми характеристиками.

С помощью 3D графики (рис. 1, а) программно смоделировано в координатной системе детали $X_d Y_d Z_d$ последовательное перемещение твердотельной модели фрезы и связанной с ней ее координатной системой

$X_i Y_i Z_i$ по траектории R_1, L, R_2 , с учетом ее углового положения при обработке заготовки с заданной подачей. Тогда на передней поверхности винтового зуба фрезы можно получить «оттиск» (например, инструмент AutoCAD, Imprint «Клеймить») в виде области S (рис. 1, б). Данная область представляет не что иное, как проекцию сечения среза $a \times b$ в текущий момент времени и при текущем угле поворота фрезы Ψ . Разработанное программное приложение «отдает» через дискретно изменяющийся угол поворота фрезы «оттиск» на переднюю поверхность зуба фрезы поперечного сечения среза – его имя в виде шестнадцатеричного кода при текущем угле контакта Ψ_i . Можно сказать, что программное приложение формирует массив проекций площадей среза S и соответствующие им углы контакта.

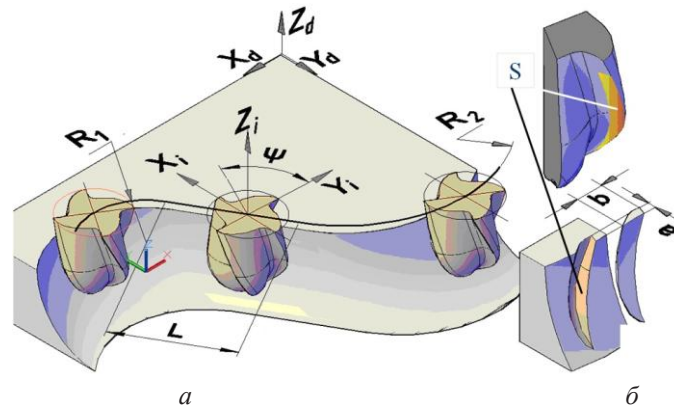


Рис. 1. 3D макет процесса фрезерования концевой радиусной фрезой

ВЫВОДЫ. Именно сила резания с ее классической зависимостью от параметров среза являются основной причиной возникающих погрешностей в процессе лезвийной обработки, т.к. оказывают доминирующее влияние на величины упругих деформаций на различных участках траектории перемещения. Поэтому необходим инструментарий, позволяющий оценить это влияние уже на этапе проектирования технологической операции. Если площадь поперечного сечения среза, снимаемого одним зубом цилиндрической фрезы при обработке плоскости, определяется с достаточной точностью треугольником, то для обработки поверхностей переменной кривизны радиусными фрезами, этот известный метод не подходит. В этом случае применение аппарата аналитической геометрии для определения параметров среза крайне трудоемкая задача. Поэтому именно инструментарий 3D графики может дать не только численные значения параметров среза, но и при известном удельном давлении силы резания, визуально показать геометрию срезаемого слоя, его ширину и толщину, отличие формы среза в процессе обработки для поверхностей выпуклых, вогнутых или поверхностей с прямолинейной образующей.