

Т а б л и ц а 1 — Данные для определения прогиба, используя правило Верещагина

Показатель	Прямоугольник	Треугольник	Сегмент	Прямоугольник	Треугольник
ω_i	$20 \times 1 = 20$	$10 \times 1 \times 1 / 2 = 5$	$5 \times 2 \times 2 / 3 = 20 / 3$	$20 \times 2 = 40$	$20 \times 2 \times 1 / 2 = 20$
Сечение C					
η_{iC}	$-8 / 30$	$-0,4$	$-0,6$	$-0,6$	$-8 / 30$
$\omega_i \eta_{iC}$	$-16 / 3$	-2	-4	-24	$-16 / 3$
Сечение D					
η_{iD}	$-4 / 30$	$-0,2$	$-0,8$	$-0,8$	$-0,8$
$\omega_i \eta_{iD}$	$-8 / 3$	-1	$-16/3$	-32	-16

Знак «минус» показывает, что перемещение сечения C будет в обратную сторону, чем направление единичной силы, т. е. вниз.

Аналогичные действия выполним для точки D.

Прогиб в сечении D:

$$V_D = \frac{1}{EI} (\omega_1 \eta_{1C} + \omega_2 \eta_{2C} + \omega_3 \eta_{3C} + \omega_4 \eta_{4C} + \omega_5 \eta_{5C}) =$$

$$= \frac{1}{2 \cdot 10^{11} \cdot 1840} \left(-\frac{8}{3} - 1 - \frac{16}{3} - 32 - 16 \right) = \frac{-57 \cdot 10^{12}}{2 \cdot 10^5 \cdot 1840 \cdot 10^4} = -15,49 \text{ мм.}$$

Заключение. Расхождение в величине прогиба связаны с тем, что перемножаются безразмерные величины.

Выбор способа определения прогиба в двухопорных балках является собственным выбором каждого студента.

Список цитируемых источников

1. *Летковский, Л. И.* Механика материалов : метод указания и контрол. задания к расчетно-граф. работам для студентов техн. специальностей / Л. И. Летковский. — Барановичи : РИО БарГУ, 2010. — 52 с.
2. *Летковский, Л. И.* Сопротивление материалов : курс лекций / Л. И. Летковский. — Барановичи : РИО БарГУ, 2007. — 217 с.

УДК 621.9

А. Н. Жигалов, А. Д. Филипович

Учреждение образования «Барановичский государственный университет», Барановичи

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ФРЕЗЕРОВАНИЯ В ПРОГРАММНОМ ПРОДУКТЕ DEFORM

Введение. Фрезерование представляет собой сложный процесс металлообработки, тесно связанный с рядом таких явлений, как пластическая деформация металла при снятии стружки, явление нароста, появление сил сопротивления резанию и трения вследствие соприкосновения поверхностей обрабатываемой детали, инструмента и стружки, динамическая неустойчивость, химические и другие явления, протекающие на контактирующих поверхностях заготовки и фрезы, возникновение которых оказывает отрицательное влияние на стойкость и прочность режущего инструмента, качество обработанной поверхности и изменение ее размерных величин. Фрезерование может осуществляться двумя способами: встречное фрезерование или фрезерование против подачи, когда вращение фрезы и движение подачи направлены в противоположные стороны, и попутное — по подаче, когда направление движения заготовки и вектор вращения фрезы совпадают. В каждом из вышеуказанных способов обработки возникает ряд силовых факторов, оказывающих существенное влияние как на обрабатываемую заготовку, так и инструмент. Радиальная сила, направленная к центру фрезы и в процессе работы стремящаяся оттолкнуть фрезу от обрабатываемой детали, изгибает фрезерную оправку и оказывает давление на опоры шпинделя. Окружная сила, действующая тангенциально (по касательной) к зубьям фрезы и направленная перпендикулярно окружной силе, препятствует вращению фрезы, по ее величине определяется мощность электродвигателя и другие звенья привода станка.

Основная часть. Процесс фрезерования является процессом прерывистого резания, когда режущее лезвие взаимодействует с заготовкой с образованием новой поверхности за счет отделения от заго-

товки срезаемого слоя. Расчетная схема модели свободного резания (рисунок 1, а) представляет собой лезвие с передним и задним углами, которое, перемещаясь с постоянной скоростью резания v , срезает из заготовки слой постоянной толщины t . Принято допущение: технологическая система — абсолютно жесткая; лезвие — абсолютно жесткое, идеальной формы; заготовка представлена прямоугольным параллелепипедом из пластичного материала с толщиной под поверхностью резания, которое равняется одной толщине среза. Предельные условия при определении напряженно-деформированного состояния реализованы жестким закреплением инструмента и ограничением перемещения заготовки в направлении оси y . Перемещение предоставлялось заготовке в направлении оси Ox с принятой скоростью резания. В результате взаимодействия по такой схеме на контактных поверхностях лезвия возникают силы сопротивления скольжению, что принято характеризовать касательными напряжениями τ_k . Большое количество выполненных экспериментальных работ [1; 2] позволяют сложить представления о процессах, которые происходят на контактных поверхностях. Однако учитывая сложность этих процессов, не существует универсальной математической модели, их описывающей.

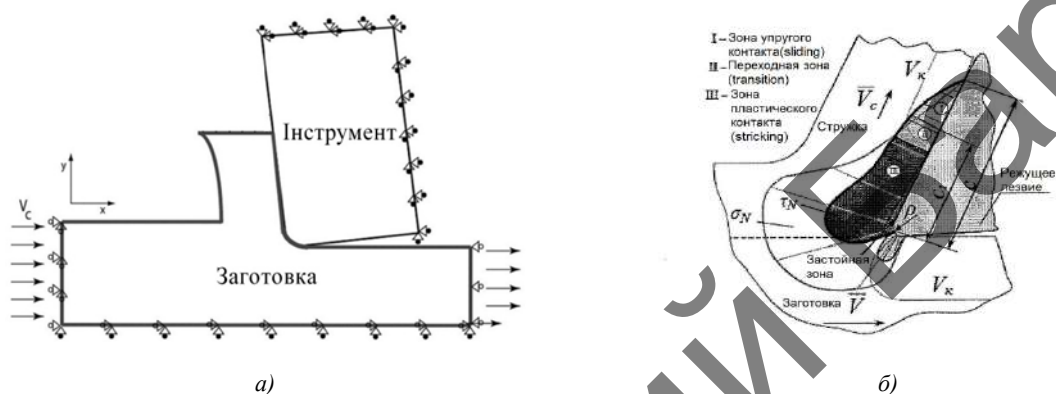


Рисунок 1 — Расчетная схема модели свободного резания (а) и характерное распределение контактных напряжений σ_n , τ_n и относительной скорости скольжения v_k на контактных поверхностях лезвия (б)

В соответствии с современными представлениями площадку контакта стружки с передней поверхностью режущего лезвия разделяют на пластичную (sticking) I, переходную (transition) II и упругую (sliding) III зоны (см. рисунок 1, б) [1; 2]. Время, на протяжении которого части обрабатываемого материала находятся в контакте с инструментом, при традиционных скоростях резания не превышает 10^{-3} с, что гораздо меньше времени, необходимого на образование пленок окислов на поверхности стружки. С другой стороны, механическое действие стружки приводит к разрушению значительной части тонких пленок окислов на поверхности инструмента. Поэтому трение в условиях резания можно характеризовать трением ювенильных поверхностей, особенно в области около резательной кромки.

Нормальные напряжения σ_n , обусловленные сопротивлением текучести σ_t в зоне первичных деформаций, могут образовываться в области резательной кромки при разных условиях. Это свидетельствует о том, что стружка в этой области находится в состоянии общего пластичного движения. При этом деформация ее поверхностных слоев значительно больше глубинных. Касательные напряжения τ_k , которые увеличиваются по мере приближения к резательной кромке, всегда меньше величины σ_t . В общем случае касательные напряжения пропорциональны нормальным в области наибольшего отдаления от резательной кромки, где нормальные напряжения незначительные. В то же время касательные напряжения не зависят от нормальных в области резательной кромки, где нормальные напряжения достигают своей максимальной величины [1]. В процессе обработки инструмент деформирует заготовку, материал исходит в виде стружки. Процесс деформации требует существенных усилий, в связи с чем инструмент подвергается мощным механическим, температурным, химическим и трибологическим нагрузкам. За определенный период эти нагрузки приводят к износу лезвия и, следовательно, к замене инструмента. Точное прогнозирование срока службы инструмента позволяет планировать технологические процессы металлообработки в зависимости от износа инструмента, контролировать расходы и избегать незапланированных простоев через непредсказуемое поведение инструмента или неприемлемого качества обработки. Известные математические уравнения, предназначенные для расчета стойкости инструмента, для их оперативного решения в производственных условиях требуют компьютерного анализа, особенно это относится к обработке новых материалов современными инструментами и при использовании максимальных параметров обработки.

Стремительное развитие компьютерных и информационных технологий и необходимость эффективного проектирования технологических процессов производства привели к появлению пакетов программных систем для инженерных расчетов (CAD/CAM/CAE-систем), являющихся продуктивными инструментами для моделирования процессов обработки, позволяющими подбирать оптимальные ре-

жимы резания, геометрию инструмента и способ обработки поверхностей. Современные системы инженерного анализа реализуют метод конечных элементов (Finite Element Method (FEM)), позволяют производить интегрированный расчет напряженного состояния инструмента и заготовки в процессе резания, определять поля напряжений и деформаций в упругой и пластической областях, а также исследовать контактное взаимодействие двух и более тел. На сегодня в машиностроении применяют много различных CAE-систем, как универсальных (ANSYS, CosmosWorks, MSC.Nastran и т. д.), так и специализированных (DEFORM, AdvantEdge, QForm, LS-Dyna и др.). Одной из наиболее эффективных систем имитационного моделирования процессов формообразования является система DEFORM.

DEFORM — разработанный американской компанией Scientific Forming Technologies Corporation (SFTC) специализированный инженерный программный комплекс, предназначенный для анализа двухмерного (2D) или трехмерного (3D) потока сложных процессов течения металлов при обработке их давлением, термической и механической работой и позволяющий произвести проверку, отработку и оптимизацию технологических процессов, анализ деформационных и температурных нагрузок инструмента на заготовку непосредственно за компьютером, что дает возможность избежать экспериментальных методов проб и ошибок на производстве, уменьшить процент брака при изготовлении деталей. DEFORM — это «открытая система», которая обеспечивает невероятную гибкость для дизайнеров и аналитиков, работающих над целым рядом приложений, разработок и исследований. DEFORM поддерживает пользовательские процедуры и пользовательские переменные. Сложные возможности многократного деформирования тела с произвольным контактом позволяют пользователям моделировать механическое соединение и анализ связанных напряжений матрицы. Основанный на методе конечных элементов DEFORM доказал свою точность и надежность в промышленном применении в течение более двух десятилетий. Механизм моделирования способен прогнозировать большие деформации материала и тепловые характеристики с высокой точностью. DEFORM — это наиболее широко используемая в мире программа моделирования от ведущих исследовательских институтов и производителей.

Предложено использовать программный продукт DEFORM для исследования процесса фрезерования твердосплавным инструментом, упрочненным аэродинамическим звуковым методом (АДУ) [3], на основе анализа силовых, деформационных и энергетических критериев износа и разрушения путем имитационного моделирования.

Заключение. Результаты имитационных исследований процесса износа в системе DEFORM показали, что при фрезеровании твердыми сплавами, упрочненными методом АДУ, деталей из стали 45 ($v = 158,3$ м / мин; $s_z = 0,12$ мм / зуб; $t = 1,0$ мм) способствует за счет снижения износа увеличению стойкости инструмента приблизительно на 60 %. Кроме того, моделирование в программном продукте DEFORM процесса фрезерного резания твердосплавным инструментом, упрочненным методом АДУ, позволило выявить влияние параметров обработки в любой момент резания на такие факторы процесса, как силы резания, температура, давление и др.

Список цитируемых источников

1. Криворучко, Д. В. Моделирование процессов резания методов конечных элементов: методологические основы : монография / Д. В. Криворучко, В. А. Залого ; под общ. ред. В. А. Залого. — Сумы : Университет. кн., 2012. — 496 с.
2. Bowden, F. P. The Friction and Lubrication of Solids / F. P. Bowden, D. Tabor. — Oxford : Clarendon Press, 1964. — P. 362—369.
3. Способ аэродинамического упрочнения изделий : пат. ВУ 21049 / А. Н. Жигалов, Г. Ф. Шатуров, В. М. Головкин ; дата публ.: 30.06.2017.

УДК 631.91

А. В. Исаев, В. А. Бурдейко

Учреждение образования «Барановичский государственный университет», Барановичи

БИОЛОГИЧЕСКОЕ ВОЗДЕЙСТВИЕ УЛЬТРАЗВУКА

Введение. Ультразвук воздействует на растительный и животный мир по-разному. При воздействии ультразвука на семена сельскохозяйственных культур повышается их урожайность. Ультразвук снижает жизнедеятельность и приводит к гибели многих насекомых и сорных растений. Загрязненную воду можно очищать ультразвуком. Его биологическое воздействие имеет огромный потенциал в развитии сельского хозяйства.

Основная часть. С каждым годом все большее количество субъектов сельского хозяйства в своих производственных процессах применяют ультразвуковые технологии. Потенциал ультразвука имеет огромный спектр действий, но большая часть не имеет развития. Ультразвук не только эффективен,