

$$\begin{cases}
 J_{em} \cdot \ddot{\phi}_{em} = M_{em} - c_{em} \cdot (\phi_{em} - \phi_{ice}) + K_{em} \cdot (\dot{\phi}_{em} - \dot{\phi}_{ice}); \\
 (J_{ice} + J_{bd}) \cdot \ddot{\phi}_{ice} = c_{em} \cdot (\phi_{em} - \phi_{ice}) + K_{em} \cdot (\dot{\phi}_{em} - \dot{\phi}_{ice}) - M_c; \\
 J_1 \cdot \ddot{\phi}_1 = M_c - c_1^* \cdot (\phi_1 - \phi_2) - K_1 \cdot (\dot{\phi}_1 - \dot{\phi}_2); \\
 J_2 \cdot \ddot{\phi}_2 = c_1^* \cdot (\phi_1 - \phi_2) + K_1 \cdot (\dot{\phi}_1 - \dot{\phi}_2) - c_2 \cdot (\phi_2 - \phi_3) - K_2 \cdot (\dot{\phi}_2 - \dot{\phi}_3); \\
 J_3 \cdot \ddot{\phi}_3 = c_2 \cdot (\phi_2 - \phi_3) + K_2 \cdot (\dot{\phi}_2 - \dot{\phi}_3) - c_3 \cdot (\phi_3 - \phi_4) - K_3 \cdot (\dot{\phi}_3 - \dot{\phi}_4); \\
 J_4 \cdot \ddot{\phi}_4 = c_3 \cdot (\phi_3 - \phi_4) + K_3 \cdot (\dot{\phi}_3 - \dot{\phi}_4) - c_4 \cdot (\phi_4 - \phi_5 - \phi_6) - K_4 \cdot (\dot{\phi}_4 - \dot{\phi}_5 - \dot{\phi}_6); \\
 J_5 \cdot \ddot{\phi}_5 = c_4 \cdot (\phi_4 - \phi_5 - \phi_6) + K_4 \cdot (\dot{\phi}_4 - \dot{\phi}_5 - \dot{\phi}_6) - c_5 \cdot (\phi_5 - \phi_7) - K_5 \cdot (\dot{\phi}_5 - \dot{\phi}_7); \\
 J_7 \cdot \ddot{\phi}_7 = c_5 \cdot (\phi_5 - \phi_7) + K_5 \cdot (\dot{\phi}_5 - \dot{\phi}_7) - M_\psi; \\
 J_6 \cdot \ddot{\phi}_6 = c_4 \cdot (\phi_4 - \phi_5 - \phi_6) + K_4 \cdot (\dot{\phi}_4 - \dot{\phi}_5 - \dot{\phi}_6) - c_6 \cdot \phi_6 - K_6 \cdot \dot{\phi}_6,
 \end{cases} \quad (7)$$

$$\text{где } c_1^* = \frac{c_d \cdot c_1}{c_d + c_1}.$$

Математические модели машин разрабатываются с целью проведения исследований и поиска наиболее рациональных (оптимальных) технических решений при проектировании новых или модернизации серийных моделей машин. При этом экспериментальные методы исследований применяются для определения исходных конструктивных параметров и характеристик исследуемой машины, а также при доказательстве адекватности математических моделей работе проектируемой машины.

Библиографические ссылки

1. Стефанович Ю. Г., Лунев И. С. Исследование процессов динамики нагружения трансмиссии автомобиля // Труды Третьего совещания по основным проблемам теории машин и

механизмов. Динамика машин : сб. ст. / Гос. ком. Совета Министров СССР по автоматизации и машиностроению. Ин-т машиноведения ; [ред. коллегия: акад. И. И. Артоболевский (пред.) и др.]. – М. : Машгиз, 1963. – С. 248–249.

2. Вахламов В. К. Конструкция, расчет и эксплуатационные свойства автомобилей : учеб. пособие для студентов высш. учеб. заведений. – М. : Академия, 2007. – 560 с.

3. Имангулов А. Р., Филькин Н. М. Математическое моделирование динамики легкового автомобиля с упруго-демпфирующими механическими звеньями // Современная техника и технологии: проблемы, состояние и перспективы : материалы I Всерос. науч.-техн. конф. / Рубц. индустр. ин-т (фил.) ФГБОУ ВПО «Алт. гос. техн. ун-т им. И. И. Ползунова». – Рубцовск, 2011. – С. 410.

4. Автомобили: Конструкция, конструирование и расчет. Трансмиссия : учеб. пособие / А. И. Гришкевич, В. А. Вавуло, А. В. Карпов и др. ; под. ред. А. И. Гришкевича. – Минск : Вышэйш. шк., 1985. – 240 с.

A. R. Imangulov, Master's degree student, Kalashnikov Izhevsk State Technical University
N. M. Filkin, DSc in Engineering, Professor, Kalashnikov Izhevsk State Technical University

Mathematical modeling of the dynamics of parallel hybrid car transmission

At the present time one of the main methods of solving the environmental issues caused by modern automotive industry is the development of vehicles with hybrid energy-power plants. The mathematical model of operation of parallel hybrid car with mechanical transmission with elastic-damping links is examined in the article.

Keywords: hybrid car, transmission, elastic-damping link, mathematical model

Получено: 03.04.2013

УДК 621.9.014

С. Д. Кугультинов, доктор технических наук, профессор;
А. С. Жиляев, студент
Ижевский государственный технический университет
имени М. Т. Калашникова

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ПРОЦЕССА ФРЕЗЕРОВАНИЯ ДЕТАЛЕЙ СЛОЖНОЙ ФОРМЫ ИЗ АЛЮМИНИЕВЫХ СПЛАВОВ БЛАГОДАРИ УПРАВЛЕНИЮ ВЕЛИЧИНОЙ СИЛЫ РЕЗАНИЯ

Приведены результаты экспериментальных исследований сил резания при фрезеровании крупногабаритных тонкостенных деталей сложной формы из алюминиевых сплавов.

Ключевые слова: алюминиевые сплавы, режимы резания, силы резания, экспериментальные исследования, фрезерование

Одной из тенденций в современной авиации и космонавтике является экономия топлива при эксплуатации изделия. Для достижения этой цели в конструкции летательных аппаратов широко применяются материалы с малым удельным весом. Благодаря этому, а также высокой коррозионной стойкости и хорошей свариваемости в настоящее время в авиа- и ракетостроении нашли широкое применение алюминиевые сплавы, в частности деформируемый сплав АМгЗ. Помимо этого, следует отметить, что стремление к максимальному снижению веса зачастую приводит к существенному усложнению конструкции деталей.

Крупногабаритные тонкостенные детали сложной формы из алюминиевых сплавов, такие как корпуса, волноводы, радиаторы, антенны, несущие элементы конструкции летательных аппаратов, являются ответственными деталями спецтехники, к которым предъявляются повышенные требования по точности и качеству изготовления. Элементы конструкции детали антенна приведены на рис. 1.

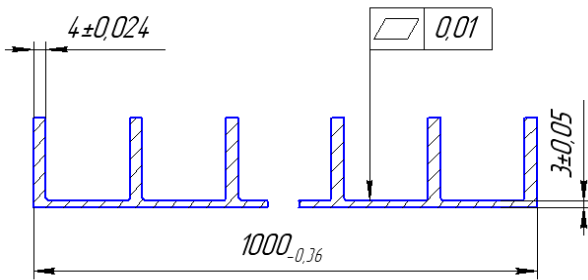


Рис. 1. Элементы конструкции детали антенна

Крупногабаритные тонкостенные детали – это отдельный класс деталей, при механической обработке резанием которых возникает ряд проблем, связанных с деформациями обрабатываемых поверхностей. Основными дефектами является превышение допусков на плоскостность основания и на линейные размеры. В качестве причин, вызывающих появление данных дефектов, можно отметить следующее:

- 1) остаточные напряжения, возникающие в результате пластической деформации поверхностного слоя из-за действия сил резания;
- 2) величина и неравномерность усилия закрепления заготовки в приспособлении;
- 3) тепловые деформации, возникающие в процессе обработки;
- 4) упругие деформации технологической системы;
- 5) износ инструмента и технологической оснастки [1].

Для минимизации коробления данного типа деталей в процессе механической обработки резанием особое внимание следует уделить управлению величиной силы резания.

В связи со сказанным выше в данной работе были проведены экспериментальные исследования влияния режимов резания и переднего угла γ на силу резания при фрезеровании крупногабаритных тонко-

стенных деталей сложной формы из алюминиевых сплавов.

В первую очередь необходимо было определить оптимальное значение переднего угла, исследовав его влияние на силу резания и на стойкость режущего инструмента.

Экспериментальные исследования по изучению влияния угла γ и режимов резания на силу резания проводились по методу однофакторного эксперимента с коэффициентом надежности $\alpha = 0,9$ (каждый эксперимент повторялся трижды) при фрезеровании плиты размером $1\,800 \times 1\,000 \times 50$ мм из сплава АМгЗ ГОСТ 4784–97. Исследования проводились на обрабатывающем центре портального типа Kitamura BridgeCenter-10. Измерение сил резания проводилось с помощью датчика эффективной мощности резания, интегрированного в шпиндель. Результаты измерений с помощью выражения (1) преобразовывались в тангенциальную составляющую силы резания:

$$P_z = \frac{N_e}{v \cdot \eta}, \quad (1)$$

где N_e – эффективная мощность резания, кВт; v – скорость резания, м/мин; η – КПД электродвигателя.

При определении влияния переднего угла на силу резания использовались концевые фрезы $\varnothing 16$ мм ECA-B-3 производства компании ISCAR (рис. 2) со специально заточенными передними углами: $\gamma = 3^\circ$, $\gamma = 10^\circ$, $\gamma = 20^\circ$ и $\gamma = 30^\circ$, рекомендуемые производителем для обработки пазов в деталях из алюминиевых сплавов.

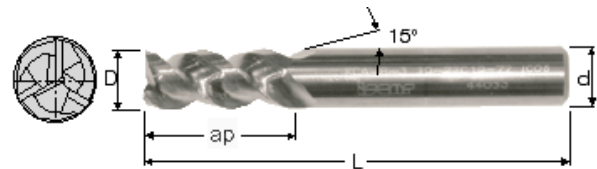


Рис. 2. Концевая фреза ECA-B-3 компании ISCAR $\varnothing 16$ мм

Результаты экспериментальных исследований приведены в табл. 1 и на рис. 3.

Таблица 1. Результаты экспериментальных исследований влияния переднего угла инструмента на силу

№ п/п	Режимы обработки	Передний угол γ , °	Тангенциальная сила P_z , Н			
			P_1	P_2	P_3	P_{cp}
1	$v = 300$ м/мин	3	792	756	756	768
2	$S = 3\,000$	10	756	720	720	732
3	мм/мин	20	678	642	678	668
4	$t = 3,0$ мм	30	606	642	642	630

Экспериментальные данные обрабатывались с помощью метода наименьших квадратов. Результаты обработки показаны на рис. 3 тонкой линией.

Анализ полученных результатов показывает, что с увеличением переднего угла сила резания снижается. Так, при увеличении угла γ с 10° до 20° сила резания уменьшилась на 9%.

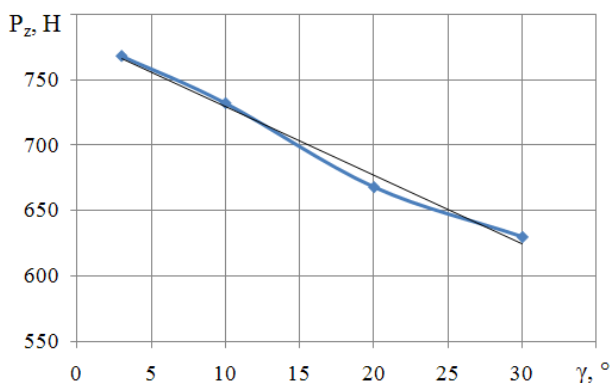


Рис. 3. Зависимость силы резания от переднего угла инструмента

В то же время увеличение переднего угла ухудшает условия теплоотвода в инструмент, что может негативно сказаться на стойкости фрезы. В связи с этим были проведены экспериментальные исследования влияния величины угла γ на стойкость режущего инструмента. Так же, как и ранее, использовались фрезы $\varnothing 16$ мм ECA-B-3 производства компании ISCAR со специально заточенными передними углами: $\gamma=3^\circ$, $\gamma=10^\circ$, $\gamma=20^\circ$, $\gamma=30^\circ$ и плита из сплава АМгЗ.

Результаты экспериментальных исследований приведены в табл. 2 и на рис. 4.

Таблица 2. Результаты экспериментальных исследований влияния переднего угла на стойкость фрез

№ п/п	Режимы обработки	Передний угол $\gamma, ^\circ$	Стойкость фрезы $T_{ст}$, мин
1	$v = 300$ м/мин $S = 3000$ мм/мин $t = 3,0$ мм	3	180
2		10	205
3		20	230
4		30	140

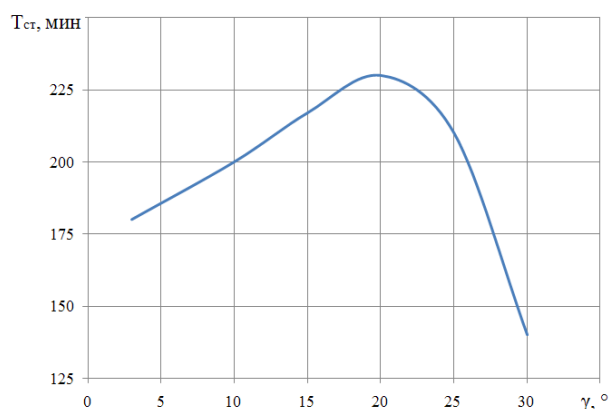


Рис. 4. Зависимость стойкости фрезы от переднего угла

Анализ полученных результатов показал, что с точки зрения достижения максимальной стойкости наиболее рациональным является значение переднего угла $\gamma=20^\circ$.

Поэтому при проведении экспериментальных исследований для определения влияния режимов резания на силу резания использовались твердосплавные

концевые фрезы $\varnothing 16$ мм ECA-B-3 фирмы ISCAR с углом $\gamma=20^\circ$.

Результаты экспериментальных исследований после математической обработки представлены в табл. 3 и на рис. 5–7.

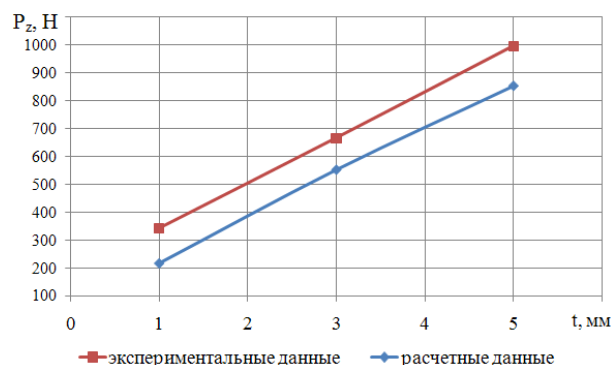


Рис. 5. Зависимость силы резания от глубины резания ($S = 3000$ мм/мин, $v = 300$ м/мин, $\gamma = 20^\circ$)

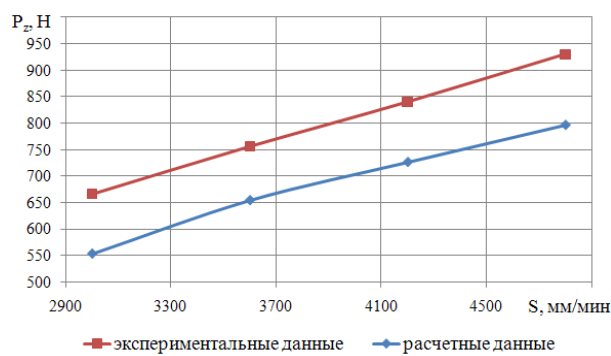


Рис. 6. Зависимость силы резания от подачи ($t = 3,0$ мм, $v = 300$ м/мин, $\gamma = 20^\circ$)

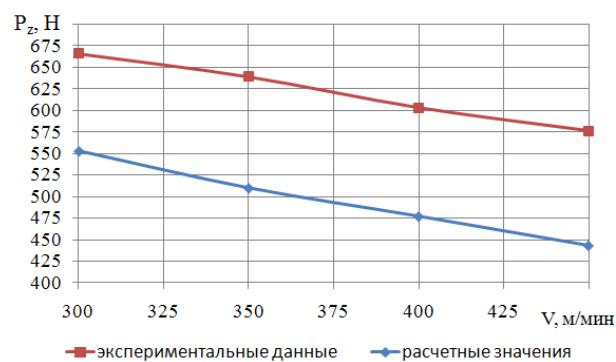


Рис. 7. Зависимость силы резания от скорости резания ($t = 3,0$ мм, $S = 3000$ мм/мин, $\gamma = 20^\circ$)

Обработка полученных результатов по общеизвестной методике [2] позволила получить вначале частные зависимости:

– силы резания от глубины резания:

$$P_z = 342 \cdot t^{0,71};$$

– силы резания от подачи:

$$P_z = 2,25 \cdot S^{0,99};$$

– силы резания от скорости резания:

$$P_z = 5334 \cdot v^{-0,36}$$

А затем и общую эмпирическую зависимость силы резания от режимов резания:

$$P_z = 8,54 \cdot t^{0,71} \cdot S^{0,66} \cdot v^{-0,36} \quad (2)$$

Поправочные коэффициенты в выражении (2) не приведены, поскольку оно было получено в условиях конкретного предприятия для внутреннего использования.

Анализ полученных результатов показал, что несмотря на то, что наибольшее влияние на силу резания оказывает глубина резания и подача режущего инструмента, ее лучше снижать за счет увеличения

скорости резания. Это связано с тем, что при уменьшении глубины резания и подачи происходит снижение производительности обработки.

На основании проведенных экспериментальных исследований было предложено увеличить скорость резания до 330 м/мин, а заточку переднего угла фрез производить равным 20°.

Библиографические ссылки

1. Кувшинский В. В. Фрезерование. – М. : Машиностроение, 1977. – 240 с.
2. Кугультинов С. Д., Ковальчук А. К., Портнов И. И. Технология обработки конструкционных материалов : учеб. пособие для вузов. – 3-е изд., перераб. и доп. – М. : Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2010. – 678 с.

S. D. Kugultinov, DSc in Engineering, Professor, Kalashnikov Izhevsk State Technical University

A. S. Zhilyaev, Student, Kalashnikov Izhevsk State Technical University

Improving the milling process of aluminum alloy complex parts by controlling the cutting force value

The paper presents the results of experimental research of cutting forces in milling of large-sized thin-walled complex parts made of aluminum alloys.

Keywords: aluminum alloys, cutting modes, cutting forces, experimental research, milling

Получено: 13.05.13

УДК 004.925.84

Ю. О. Михайлов, доктор технических наук, профессор;

Д. Г. Дресвянников, кандидат технических наук, директор технопарка «ИжРобо»;

С. Н. Князев, аспирант

Ижевский государственный технический университет
имени М. Т. Калашникова

МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРОЦЕССА ПОЛУЧЕНИЯ ТРУБЧАТЫХ ЗАГОТОВОК С ВНУТРЕННИМИ РИФЛЯМИ В ПРОГРАММНОЙ СРЕДЕ DEFORM

Рассмотрено моделирование процесса получения трубчатых заготовок с внутренними рифлями с помощью программной среды DEFORM. Результаты моделирования позволили убедиться в правильности выбора параметров технологического процесса на каждом из переходов.

Ключевые слова: нарезки, редуцирование, трубчатые заготовки, пластическая деформация, штамповка, DEFORM

Для разработки технологии изготовления трубчатых заготовок с внутренними рифлями необходимо было провести математическое моделирование, позволяющее определить величину контактных давлений, обеспечивающих заполнение профиля инструмента, и величину усилий по переходам редуцирования. Для проведения математического моделирования была использована программная среда DEFORM-3D. Напряженно-деформированное состояние заготовки исследовалось на каждом технологическом переходе. В ходе моделирования также рассматривались такие параметры, как контактные напряжения, максимальные главные напряжения, эффективные деформации, направление скоростей деформаций.

Способ получения трубчатых заготовок с внутренними рифлями включает редуцирование трубчатой заготовки за две последовательные операции, каждую из которых осуществляют путем совместного продавливания через калибровочную матрицу трубчатой заготовки и пуансона со спиральными выступами на боковой поверхности, прикладывая при этом усилие на торец заготовки (рис. 1). В этом случае на указанных операциях редуцирования используют пуансоны со спиральными выступами противоположного направления и калибровочные матрицы разного диаметра (пат. РФ № 113189 МПК В21J5/12. Устройство изготовления деталей с внутренними спиральными рифлями / Михайлов Ю. О., Дресвянников Д. Г., Князев С. Н. Оpubл. 10.02.2012. Бюл. № 4).