

Основные направления исследования резьбофрезерования и проектирования резьбовых фрез

© О.В. Мальков

МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, 105005, Россия

Резьбофрезерование, которое активно развивается в последнее время в России, за рубежом занимает устойчивый сегмент среди процессов нарезания резьбы, о чем свидетельствует большое количество инструментальных компаний, производящих резьбовые фрезы. Выполнен анализ опыта производителей в области проблем, возникающих при резьбофрезеровании, и путей их решения, который позволил провести ранжирование этих проблем, сформулировать основные направления исследования процесса и инструмента, а также выработать рекомендации по проектированию операции различными типами фрез. Результаты работы могут быть полезны для технологов машиностроительных предприятий и специалистов в области резьбообработки.

Ключевые слова: *резьбофрезерование, резьбовая фреза, сверло-резьбофреза, резьба, резьбовое отверстие.*

Резьба — распространенный элемент конструкций деталей машиностроительного производства. Одним из способов обработки резьбы в деталях является резьбофрезерование, которое активно развивается в последнее время в России. За рубежом резьбофрезерование занимает устойчивый сегмент среди процессов нарезания резьбы, свидетельством чему является большое количество инструментальных компаний по производству резьбовых фрез. Проведенный патентный обзор показал, что пик количества патентов на конструкции резьбовых фрез, представленных в настоящее время в каталогах, приходится на 1990–2010 гг., что говорит об активных исследованиях и внедрении в производство этих инструментов. Первая волна патентов на резьбовые фрезы в России пришлась на 40-е, а за рубежом — на 20-е годы прошлого столетия, что свидетельствовало о необходимости исследований нового тогда процесса. В середине прошлого столетия резьбофрезерование в России широко не использовалось, несмотря на существование стандарта на конструкции инструментов и ряд конструкций токарно-резьбофрезерных станков. Поскольку в настоящее время основным способом получения внутренней резьбы (особенно небольших и средних диаметров) является нарезание метчиками, этот процесс хорошо изучен и широко распространен на предприятиях.

Появление станков с ЧПУ, реализующих винтовую интерполяцию, позволило использовать резьбофрезерование в условиях серий-

ного и мелкосерийного производства. Проведенный обзор производственных программ инструментальных заводов России показал, что ограниченно изготавливают резьбовые фрезы (ГОСТ 1336–77) из быстрорежущей стали и нет современных конструкций резьбовых фрез из твердого сплава. Это связано с отсутствием современной технологии изготовления резьбовых фрез на заточных станках с ЧПУ и системы автоматизированного проектирования этих инструментов. Кроме того, в России не разработаны стандарты, регламентирующие геометрические и конструктивные параметры современных конструкций резьбовых фрез с винтовыми стружечными канавками, сборных конструкций со сменными пластинами и пр. Все перечисленное указывает на необходимость развития всех направлений этой области: от исследования процесса резьбофрезерования и создания конкурентоспособных конструкций инструментов до разработки нормативных материалов и стандартов и внедрения их на инструментальных заводах и машиностроительных предприятиях, что позволит выполнить импортозамещение.

Резьбофрезерование является разновидностью фрезерования (ГОСТ 25761–83). Стандартом регламентированы конструкции концевых и насадных гребенчатых резьбовых фрез (ГОСТ 1336–77), изготовленных из быстрорежущей стали.

Гребенчатая фреза устанавливается параллельно оси заготовки на всю длину нарезаемой резьбы (рис. 1) [1]. При вращении (движение D_{Γ}) фреза врезается в заготовку на глубину профиля резьбы и фрезерование производится при одновременном движении окружной подачи D_S и дополнительном движении вдоль оси $D_{\text{и}}$. Движения D_S и $D_{\text{и}}$ кинематически связаны между собой. Одному обороту относительного движения инструмента по среднему диаметру нарезаемой резьбы, совершаемому в результате движения D_S , должно соответствовать относительное перемещение фрезы вдоль оси на один шаг P в результате движения $D_{\text{и}}$. Обработка резьбы совершается за $1 \dots 1,25$ оборота заготовки (или оси вращающейся фрезы вокруг оси заготовки — планетарное движение) при относительном перемещении заготовки и фрезы на $1 \dots 1,25$ шага. Дополнительное перемещение на

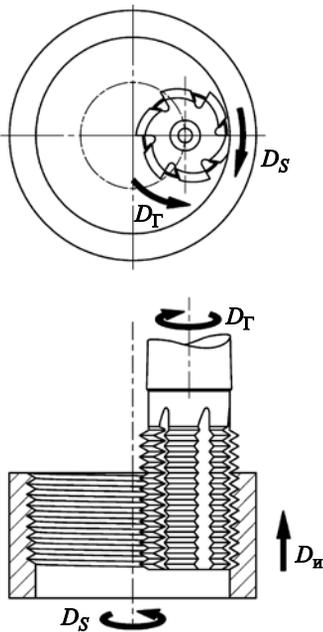


Рис. 1. Фрезерование внутренней резьбы гребенчатой концевой фрезой

0,25 оборота требуется для перекрытия захода фрезы при врезании на высоту профиля резьбы. Направление движения $D_{и}$ при фрезеровании определяет направление нарезаемой резьбы — правое или левое (на рис. 1 представлена обработка правой резьбы). Движения D_S и $D_{и}$ в зависимости от технологического оборудования могут выполняться заготовкой или фрезой. Движение окружной подачи D_S фрезы (планетарное движение) используется при нарезании резьбы в корпусных деталях на станках с ЧПУ.

На рис. 2 представлены основные типы резбовых фрез на примере инструментов Emuge [2].

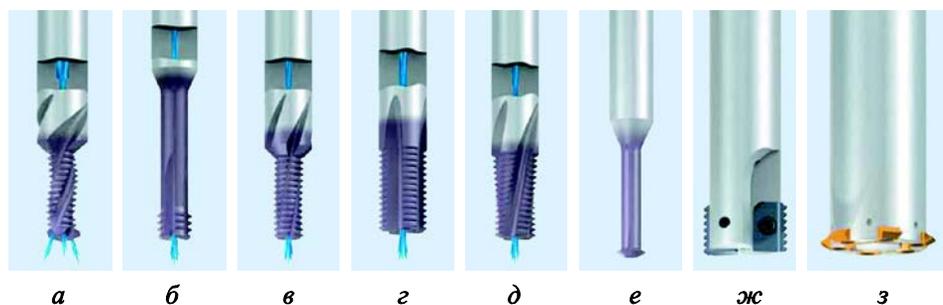


Рис. 2. Основные типы резбовых фрез

На рис. 2, а показана конструкция комбинированной сверло-резьбофрезы для изготовления глухого или сквозного отверстия с резьбой и фаской на торце за один технологический переход. В начале обработки сверлят гладкое отверстие с одновременной обработкой фаски на торце отверстия в конце сверления, далее происходит процесс фрезерования внутренней резьбы. Сверло-резьбофреза предназначена для фрезерования резьбы только одного определенного размера, с скорректированным профилем резьбы в деталях из материалов групп обрабатываемости N (сплавы магния, алюминия и меди) и K (чугуны). Областью применения сверло-резьбофрез является обработка резбовых отверстий в деталях двигателей и гидросистем, в корпусах гондол ветряных генераторов энергии и ряде других изделий. В большинстве случаев используются сверло-резьбофрезы с двумя зубьями (также изготавливаются с числом зубьев 3 и 4). Согласно рекомендациям производителя Johs. Boss GmbH & Co. KG Precision Tool Manufacturer сверло-резьбофрезы рассчитаны на три-четыре переточки. Особенностью работы сверло-резьбофрезами является наличие в резбовом отверстии проточки, которую оставляет сверлильная часть инструмента. Поэтому невозможно выполнить резьбу близко к дну отверстия.

На рис. 2, б представлена конструкция цельной твердосплавной резьбовой фрезы с возможностью подготовки необходимого отверстия непосредственно в процессе фрезерования резьбы. Фреза предназначена для изготовления внутренней резьбы различного диаметра с одинаковым шагом либо в предварительно подготовленном отвер-

сти, либо в сплошном материале всех групп обрабатываемости, включая закаленные. Конструкция предусматривает разбиение припуска между зубьями рабочей части, поэтому количество планетарных оборотов, совершаемое фрезой, равно числу витков нарезаемой резьбы, что увеличивает основное время обработки.

На рис. 2, в показана конструкция цельной твердосплавной резьбовой фрезы с фаскообразующей ступенью для изготовления отверстий с резьбой и фаски на торце отверстия перед фрезерованием резьбы в деталях из материалов всех групп обрабатываемости. При использовании таких фрез требуется предварительная подготовка отверстия под нарезание резьбы, а размер фаски и длина резьбовой части отверстия накладывают ограничение на соответствующие параметры инструмента — конструкция предназначена для фрезерования резьбы только одного определенного размера, с скорректированным профилем зубьев.

На рис. 2, г представлена конструкция цельной твердосплавной гребенчатой фрезы для фрезерования резьбы в предварительно подготовленном отверстии в деталях из материалов всех групп обрабатываемости, включая закаленные материалы. Такие фрезы имеют наибольшее применение в резьбообработке, предназначены для обработки внутренней и наружной резьбы различного диаметра с одинаковым шагом в предварительно подготовленном отверстии под резьбу с фаской на его торце при необходимости. Для того чтобы избежать недопустимых отклонений в профиле внутренней резьбы, диаметр резьбовой фрезы не должен превышать $2/3$ диаметра фрезеруемой резьбы с основным шагом и $3/4$ диаметра резьбы с мелким шагом, а при фрезеровании наружной резьбы диаметр фрезы не должен превышать диаметра резьбы [2].

На рис. 2, д показана конструкция цельной твердосплавной гребенчатой фрезы для обработки конической резьбы одного определенного размера и шага с скорректированным профилем в резьбовых отверстиях в деталях из материалов всех групп обрабатываемости. При использовании таких фрез необходимо предварительно подготовленное цилиндрическое или, предпочтительнее, коническое отверстие.

На рис. 2, е представлена конструкция цельной твердосплавной дисковой резьбовой фрезы для изготовления внутренней резьбы различного диаметра (от М1) и шага (в пределах расчетных значений для данного инструмента) в предварительно подготовленном отверстии в деталях из всех групп обрабатываемых материалов. В отличие от гребенчатых резьбовых фрез использование дисковой фрезы позволяет повысить точность резьбы за счет постоянного радиального отжима инструмента при прохождении всех витков резьбы.

На рис. 2, ж показана конструкция сборной гребенчатой резьбовой фрезы со сменными твердосплавными пластинами для обработки наружной и внутренней резьбы различного диаметра с одинаковым

шагом в деталях из всех групп обрабатываемых материалов. При использовании сборной фрезы необходимо предварительно подготовленное отверстие. Для того чтобы избежать недопустимых отклонений в профиле внутренней резьбы, диаметр выбираемой резбовой фрезы не должен превышать $2/3$ диаметра фрезеруемой резьбы с основным шагом и $3/4$ диаметра резьбы с мелким шагом [2].

На рис. 2, 3 представлена конструкция сборной однодисковой резбовой фрезы с механическим креплением сменных твердосплавных пластин для изготовления наружной и внутренней резьбы различного диаметра и шага в предварительно подготовленном отверстии под резьбу в деталях из материалов всех групп обрабатываемости, исключая закаленные материалы.

Анализ конструкций резбовых фрез показывает, что в настоящее время резбифрезерованием возможно изготовление наружной и внутренней цилиндрической и конической резьбы диаметром от 1 мм с шагом резьбы от 0,25 мм в заготовках из широкой гаммы обрабатываемых материалов, включая термообработанные. При этом однодисковые инструменты обладают универсальностью, выполняя резьбу различного диаметра и шага. Таким образом, резбифрезерование конкурирует с резбонарезанием метчиками благодаря следующим преимуществам и возможностям [1]:

— обработка отверстий различных диаметров при постоянном шаге нарезаемой резьбы, что сокращает номенклатуру применяемых инструментов;

— использование одного инструмента для нарезания резьбы в глухих и сквозных отверстиях, правой и левой, одно- или многозаходной, в отдельных случаях — для обработки внутренней и наружной резьбы, для получения фрезерованием (кроме резьбы) различных фасок в отверстии;

— фрезерование резьбы в большинстве обрабатываемых материалов, в том числе термообработанных (≤ 60 HRC);

— возможность осуществления обработки без СОЖ;

— повышение стойкости инструмента;

— бóльшая надежность процесса в результате, во-первых, получения мелкой стружки, которая избавляет от решения проблемы ее эвакуации, способствует снижению силы резания и снижению вибраций, что особенно критично при обработке резьбы большого диаметра и резьбы в труднообрабатываемых материалах; во-вторых, возможности корректировки положения инструмента; в-третьих, возможности легкого извлечения сломанного инструмента из отверстия;

— изготовление резьбы полного профиля вплотную к уступу или дну глухого отверстия (без сбег);

— обработка резьбы в асимметричных, невращающихся заготовках;

— высокое качество обработанной резьбы;

— обработка резьбы в тонкостенных деталях, а также при невозможности обеспечения жесткого закрепления;

— возможность комбинирования в пределах одной конструкции различных инструментов с резьбовой фрезой;

— кинематически не связанная с обеспечением шага резьбы частота вращения инструмента, что позволяет назначать необходимую скорость главного движения резания для обеспечения возможности обработки и заданной производительности;

— использование стандартного вспомогательного инструмента (как для обычных фрез);

— отсутствие необходимости в реверсе шпинделя, что снижает вспомогательное время обработки;

— отсутствие необходимости в коническом развертывании отверстия для изготовления конической резьбы.

Вместе с этим резьбофрезерование обладает рядом особенностей, которые следует учитывать при использовании в технологическом процессе:

— резьбофрезерование — процесс медленный и об экономии времени можно говорить только при больших диаметрах обрабатываемой резьбы или нарезании резьбы в труднообрабатываемых материалах;

— существует ограничение по длине нарезаемой резьбы (обычно до двух диаметров), связанное с радиальным отгибом инструмента при обработке и снижением точности, а также возможностью поломки инструмента;

— необходимы станки с возможностью одновременного перемещения по трем координатам, чтобы обеспечить перемещение инструмента по винтовой траектории.

Для того чтобы сформулировать основные направления исследования резьбовых фрез, проведем анализ данных каталогов производителей резьбовых фрез: Emuge, Guhring, KOMET GROUP, Allied Machine & Engineering Corp. (AMEC), Kennametal, Vargus, KORLOY, EroJet, Walter Prototyp, Sandvik Coromant [2–11]. Производители сделали акцент на проблемах, возникающих при резьбофрезеровании различными типами фрез: цельными резьбовыми [2–5, 9, 10], сборными конструкциями со сменными пластинами [6–8, 11], сверло-резьбофрезами [2–4]. Однако, по сообщениям технических специалистов [6], проблемы, свойственные резьбофрезерованию определенным типом фрез, можно распространить на обработку другими типами фрез.

На основе анализа полученной информации в табл. 1–3 представлены проблемы и пути их решения для резьбовых фрез различных типов, предлагаемые разными производителями. В таблицах приняты следующие обозначения: Emuge — *E*, Guhring — *G*, KOMET GROUP — *KG*,

Allied Machine & Engineering Corp. — A, Kennametal — KE, Vargus — V, KORLOY — K, EroJet - EJ, Walter Prototyp — W, Sandvik Coromant — S; ↑ — увеличить (улучшить, усилить и т. д.), ↓ — уменьшить (снизить), ~ — проверить, П, В — попутная и встречная схемы фрезерования соответственно.

На рис. 3 представлена сводная информация на основе данных табл. 1–3. В скобках указано количество обращений. Выделены проблемы, количество обращений к которым 15 и более. Ряд позиций (например, «Проходной резбовой калибр не проходит», «Слишком большая/маленькая резбза», «Небольшая разница между проходным и непроходным калибрами») отнесены к проблеме «Неудовлетворительная точность».

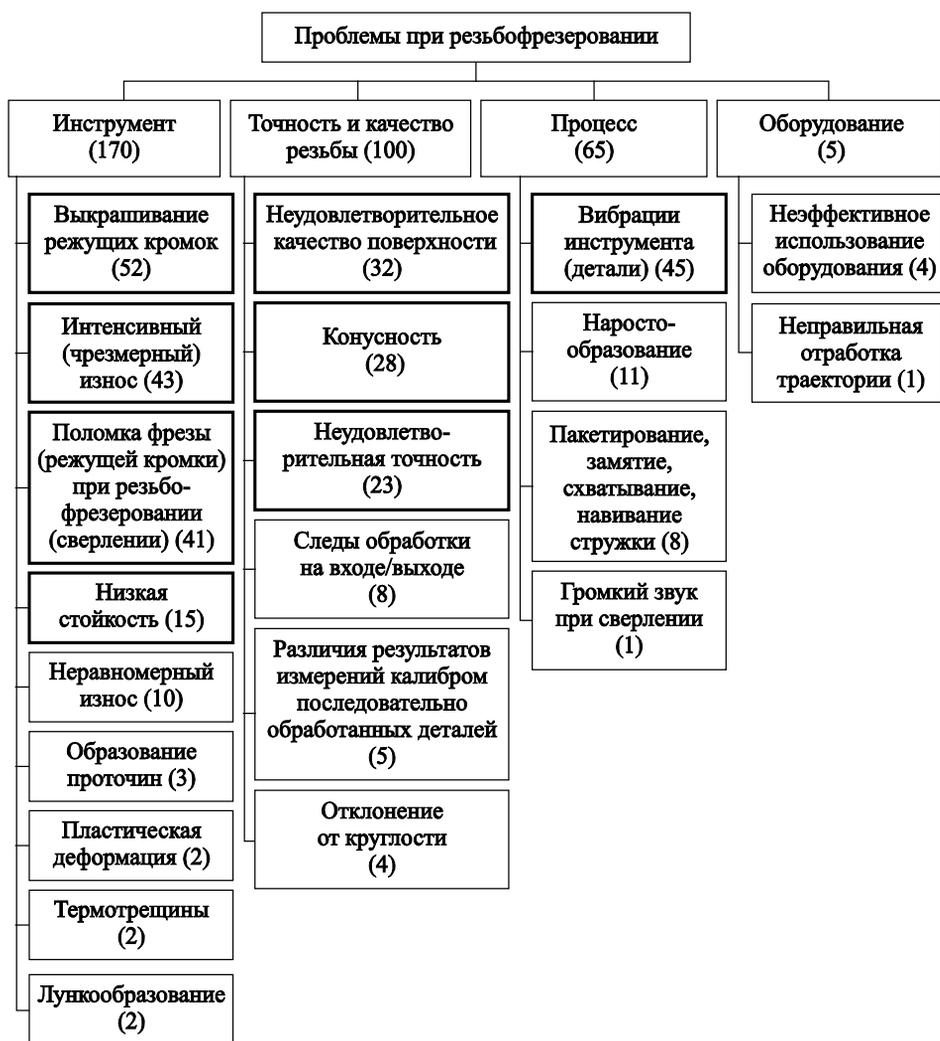


Рис. 3. Структура проблем при резбозерезовании

**Пути решения проблем, возникающих при фрезеровании резьбы
цельными резьбовыми фрезами [2–5, 9, 10]**

Проблема	Жесткость системы СПИД		Длина вылета инструмента		Угол наклона стружечных канавок		Скорость резания			Подана на зуб			Износостойкое покрытие		Направление фрезерования (программирование/ программируемый радиус)			Радиальное биение
	↑	~	↓	~	↑	~	↓	↑	~	↓	↑	~	↑	~	П	В	~	~
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
<i>Точность и качество резьбы</i>																		
Конусность	E, KG	A, W	E, W		W	E		A		E, KG, A, W						E, W		
Отклонение от круглости										G, A						G		
Неудовлетворительная точность		W	W													W	W	W
Неудовлетворительное качество поверхности	E, A	G, KG, A, EJ	E, A		E, A		KG	A, EJ	E, G, A	A, EJ	KG	E, G, A				KG		E, A
Следы обработки на входе/выходе (поверхности резьбы)	A	E	A							A								E
Проходной резьбовой калибр не проходит																		
Слишком большая/ маленькая резьба																		
Небольшая разница между проходным и непроходным калибрами														E				
Различия результатов измерений калибром последовательно обработанных деталей		A	A											A				
<i>Инструмент</i>																		
Низкая стойкость	W		W				W		G		W	G		G, W	W			W
Интенсивный (чрезмерный) износ	E, A	EJ	E, A		E	E, A, EJ		A	A	E, A, EJ	A	E	A	E, EJ				E
Неравномерный износ	KG																	
Выкрашивание режущих кромок	E, A, W	EJ	A, W	E		E		A, W	E, A, EJ		A, W	E			E		W	W
Полломка	A	KG, A, W	A, W				A	G, KG, W	KG, A, W		G, A						W	W
<i>Процесс</i>																		
Вибрация инструмента/детали	E, A	A, EJ, W	E, A, EJ, W		E, A, W		W	A	E, A, EJ		W	E, A			W			E, A, W
Пакетирование стружки																		
<i>Оборудование</i>																		
Неправильная обработка траектории																		
Количество обращений к решению	32		19		9		24			33			7		14			10

Проблема	Диаметр фрезы		Соотношение диаметров фрезы и резьбы	Замена конструкции инструмента	Управляемая ось/быстродействие		Подача СОЖ		Диаметр отверстия под резьбу		Отвод стружки	Жесткость / геометрия		Программа ЧПУ	Корректировка радиуса инструмента в программе ЧПУ		Однородность обрабатываемого материала	Многопроходное резание	Количество обращений к проблеме	Количество обращений к подгруппе проблем
	↓	~			↑	~	↑	~	~	~		↓	~							
1	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36			
<i>Точность и качество резьбы</i>																				
Конусность			A	E					W		W							A, W	21	82
Отклонение от круглости												A							4	
Неудовлетворительная точность								W			W		W					W	9	
Неудовлетворительное качество поверхности			A	E														KG	28	
Следы обработки на входе/выходе (поверхности резьбы)			A	E								A							8	
Проходной резбовой калибр не проходит								KG											2	
Слишком большая/маленькая резьба														G					1	
Небольшая разница между проходным и непроходным калибрами	EJ	E	E																4	
Различия результатов измерений калибром последовательно обработанных деталей			A		A														5	
<i>Инструмент</i>																				
Низкая стойкость						G, W		W		W	W								15	95
Интенсивный (чрезмерный) износ			A	E	A, EJ	E													25	
Неравномерный износ																	KG		2	
Выкрашивание режущих кромок				E	A, W	E		W	W	W								EJ, W	28	
Поломка			A					W	W	W	G, A							A, W	25	
<i>Процесс</i>																				
Вибрация инструмента /детали			A	E				W		W								EJ, W	30	31
Пакетирование стружки					KG														1	
<i>Оборудование</i>																				
Неправильная отработка траектории														A					1	1
Количество обращений к решению	1	1	8	6	11	6	3	6	5	3	1	10								

**Пути решения проблем, возникающих при фрезеровании резьбы
сборными резьбовыми фрезами [6–8, 11]**

Проблема	Жесткость системы СПИД			Длина инструмента/вылет	Скорость резания			Подача на зуб			Износостойкое покрытие	Направление фрезерования		Радиальное биение
	↑	~	↓		↓	↑	~	↓	↑	~		~	П	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	
<i>Процесс</i>														
Вибрации		S	K,S	S			KE,V,K	S				S	S	
Наростообразование					KE,S*	V, K		KE,S*		V, K				
Замятие стружки							S							
<i>Резьба</i>														
Неудовлетворительная точность резьбы							KE,V					KE		
Конусность резьбы			S				S					S		
<i>Инструмент</i>														
Выкрашивание режущих кромок	K,S	KE,V		K	KE,V,S		KE,V,K,S							
Лункообразование				S			S							
Термотрещины				S										
Пластическая деформация				S			S							
Чрезмерный износ по задней поверхности пластины				KE,V,K				KE,V,K		V				
Интенсивный износ, ведущий к снижению качества обработанной поверхности и потере точности				S				S						
Чрезмерный износ, ведущий к уменьшению стойкости инструмента				S		S		S	S		S			
Неравномерный износ, ведущий к сколу угла при вершине	S		S	S			S							
Образование проточин				S	S									
Поломка фрезы/режущей кромки		S					S							
<i>Оборудование</i>														
Неэффективное использование оборудования				S										
Количество обращений к решению	7	4			22			24		3	4		1	

Проблема	Диаметр инструмента	Замена конструкции / одноточная пластина	Подача СОЖ	Врезание по дуге на входе	Пластина с полным профилем	Финишный проход с минимальной толщиной срезаемого слоя	Количество зубьев инструмента	Марка твердого сплава	Основные параметры	Многопроходное резание (глубина профиля/длина резьбы)	Количество обращений к проблеме	Количество обращений к подгруппе проблем
	↓						↓					
15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27
<i>Процесс</i>												
Вибрации							S			KE, V, S, K	15	29
Наростообразование			S					V, K			11	
Замятие стружки			S							S	3	
<i>Резьба</i>												
Неудовлетворительная точность резьбы						V			K		5	10
Конусность резьбы		S								S	5	
<i>Инструмент</i>												
Выкрашивание режущих кромок				KE, V, K	S					S	17	54
Лункообразование											2	
Гермотрещины			S								2	
Пластическая деформация											2	
Чрезмерный износ по задней поверхности пластины			KE, V, K								10	
Интенсивный износ, ведущий к снижению качества обработанной поверхности и потере точности											2	
Чрезмерный износ, ведущий к уменьшению стойкости инструмента			S								6	
Неравномерный износ, ведущий к сколу угла при вершине							S			S	6	
Образование проточин								S			3	
Поломка фрезы/режущей кромки			S							S	4	
<i>Оборудование</i>												
Неэффективное использование оборудования	S	S								S	4	4
Количество обращений к решению	1	2	8	3	1	1	2	3	1	10		
* Предлагается увеличить скорость резания или подачу.												

Пути решения проблем, возникающих при обработке сверло-резьбофрезами [2–4]

Проблема	Жесткость системы СПИД		Скорость резания при сверлении (эвакуация стружки, циклы вывода стружки)		Скорость резания при фрезеровании		Подача при сверлении		Подача при снятии фаски		Подача на зуб при фрезеровании		Радиальное биение		Износостойкое покрытие		Использование циклов вывода сверла		Программирование / программируемый радиус		Подача СОЖ (объем, давление, внутренний подвод, канавки на хвостовике)		Управляемая ось/быстродействие		Наличие стружки в стружечных канавках после сверления		Многопроходное резание	
	↑	~	↓	~	↓	~	↓	↑	↓	↑	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~
<i>Процесс</i>																												
Пакетирование стружки или ее схватывание с резьбовыми профилями																												
Налипание стружки в канавках																KG												
Стружка, образованная при зенковании навивается на инструмент											KG																	
Громкий звук при сверлении											KG																	
<i>Резьба</i>																												
Проходной резьбовой калибр не проходит																												
Резьба получается конической		KG																										
Неудовлетворительное качество поверхности резьбы (гармонические волны)																												
<i>Инструмент</i>																												
Выкрашивание зубьев																												
Неравномерный износ инструмента																												
Поломка инструмента при сверлении																												
Поломка инструмента при резьбофрезеровании																												

Анализ проблем, возникающих при резьбофрезеровании (см. рис. 3, табл. 1–3), позволяет сделать следующие выводы:

— основными направлениями исследования резьбофрезерования являются: повышение стойкости и прочности резбовых фрез, повышение качества и точности нарезаемой резьбы, повышение виброустойчивости процесса; остальные проблемы имеют более низкий приоритет, однако также нуждаются в проведении исследований;

— укрупненные проблемы при резьбофрезеровании располагаются в следующем порядке по убыванию количества обращений к ним: инструмент, точность и качество резьбы, процесс, оборудование;

— практически все проблемы связаны с эксплуатацией инструмента, предложенного производителем (т. е. конструкция инструмента считается заданной), поэтому в каталогах отсутствуют проблемы, связанные с проектированием инструмента;

— косвенно на связь конструкции инструмента с обеспечением удовлетворительной точности и с качеством нарезаемой резьбы могут указывать такие параметры, как жесткость, длина вылета, диаметр фрезы, геометрические параметры зубьев, угол наклона стружечных канавок, износостойкое покрытие и марка инструментального материала, тип сменной пластины (в случае сборных фрез); влияние этих параметров нужно учесть при проведении теоретических и экспериментальных исследований при разработке конструкции резбовых фрез;

— при эксплуатации инструмента особое внимание следует уделить проблемам выкрашивания зубьев, поломки инструмента и повышения его стойкости, а также вибрациям, возникающим в процессе обработки;

— основные проблемы, связанные с точностью и качеством получаемой резьбы, располагаются в следующем порядке по убыванию количества обращений к проблеме: неудовлетворительное качество поверхности, конусность, неудовлетворительная точность;

— при использовании цельных резбовых фрез большее внимание уделяется точности и качеству нарезаемой резьбы, возникаемым вибрациям, выкрашиванию режущих кромок и поломкам инструмента, что можно объяснить меньшей жесткостью и виброустойчивостью конструкции по сравнению со сборными резбовыми фрезами.

На основании информации, представленной в табл. 1–3, можно сформулировать общие рекомендации к выбору инструмента и проектированию операции резьбофрезерования различными типами фрез:

— выбирать инструмент с минимальным вылетом, соответствующим возможности обработки резьбы с требуемыми параметрами (E, A, K, EJ, W, S);

— максимально увеличить жесткость системы СПИД при резьбофрезеровании ($E, G, KG, A, KE, V, K, EJ, W, S$);

— при назначении стратегии фрезерования учитывать, что попутное фрезерование повышает стойкость (W), снижает вибрации (W), уменьшает износ инструмента (E, EJ, S) и выкрашивание его режущих кромок (E), а встречное фрезерование уменьшает конусность резьбы (E, W, S), повышает точность (G, KE, W) и качество резьбы (KG) и снижает вибрации (S);

— целесообразно применять инструмент с винтовыми стружечными канавками для снижения вибрации при обработке (E, A, W), повышения качества поверхности резьбы (E, A), уменьшения конусности резьбы (E, W) и уменьшения износа инструмента и выкрашивания его режущих кромок (E);

— применение инструмента с износостойким покрытием позволяет увеличить стойкость инструмента (G, W), уменьшить его износ (E, A, V) и выкрашивание режущих кромок (E), уменьшить количество поломок сверло-резьбофрез при сверлении (E), уменьшить наростообразование (KG, V, K) и повысить надежность резьбофрезерования (E, A);

— использование СОЖ (инструментов с внутренним подводом СОЖ) позволяет увеличить стойкость инструмента (G, W), уменьшить количество поломок (E, G, KG, S), уменьшить его износ (E, A, KE, V, K, EJ, S) и выкрашивание режущих кромок (E, A, W), снизить вероятность наростообразования (S) и пакетирования стружки (KG), повысить надежность резьбофрезерования (A, KG);

— снижение радиального биения зубьев инструмента позволяет повысить точность (W) и качество поверхности резьбы (E, A), стойкость инструмента (W), уменьшить его износ (E, KG) и выкрашивание режущих кромок (W), уменьшить вибрации (E, A, W, S) и количество поломок инструмента (W);

— неправильный выбор количества проходов при обработке может привести к конусообразности резьбы (A, W, S), ее неудовлетворительному качеству и точности (KG, W), вибрациям (KE, V, K, EJ, W, S), поломке инструмента (A, W, S), неравномерному износу и выкрашиванию режущих кромок (EJ, W, S), неэффективному удалению стружки и использованию оборудования (S);

— использовать метод тангенциального врезания по дуге для уменьшения выкрашивания режущих кромок (KE, V, K);

— правильный выбор диаметра резьбовой фрезы при принятом значении диаметра резьбы позволяет увеличить точность получаемой резьбы (E, EJ);

— правильный выбор диаметра отверстия под нарезание резьбы позволяет уменьшить конусообразность и повысить точность нарезаемой резьбы, повысить стойкость инструмента и снизить вероятность его поломки, снизить вибрации при обработке (W);

— правильный выбор параметров режима обработки позволяет повысить точность и качество нарезаемой резьбы, стойкость инструмента и стабильность процесса резьбофрезерования (E , G , KG , A , KE , V , K , EJ , W , S);

— при эксплуатации комбинированных сверло-резьбофрез дополнительно к вышесказанному следует использовать циклы вывода инструмента при сверлении для снижения вероятности поломки инструмента (G , KG).

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Древалъ А.Е., Мальков О.В., Малькова Л.Д. *Резьбообразующий инструмент*. URL: http://wwwcdl.bmstu.ru/mt2/malkov2/rezboobrazuishi_instrument.pdf (дата обращения 22.04.2016).
- [2] *EMUGE. Технология резьбообразования. Технология крепления* [Электронный ресурс]. Emuge-Franken. URL: <http://www.emuge-franken.ru/files/TECH140RU11.pdf> (дата обращения 07.08.2015).
- [3] *Резьбонарезной инструмент. Техническая часть* [Электронный ресурс]. GUHRING. URL: <http://www.guhring.ru/uploads/cat/files/Techcast.pdf> (дата обращения 08.04.2016).
- [4] *KomPass Threading* [Электронный ресурс]. КОМЕТ GROUP. URL: http://www.kometgroup.com/fileadmin/user_upload/pdf/products/jel/JEL20130619_KOR.pdf (дата обращения 22.04.2016).
- [5] *AMEC. Thread milling catalog 2013* [Электронный ресурс]. Allied Machine & Engineering Corp. URL: <http://www.alliedmachine.com/images/library/TMC%20Vol.15.pdf> (дата обращения 22.04.2016).
- [6] *Innovations. Master catalogue. Cutting tools 2013* [Электронный ресурс]. Kennametal. URL: http://www.kennametal.com/content/dam/kennametal/kennametal/common/Resources/Catalogs-Literature/Metalworking/A-15-04370_KMT_Master_EN_METRIC_LR.pdf (дата обращения 22.04.2016).
- [7] *Адаптированный каталог-транслятор продукции компании Vargus* [Электронный ресурс]. Vargus. URL: http://www.vargus.com/download/files/VARGUS_MAIN_web.pdf (дата обращения 10.08.2015).
- [8] *Korloy cutting tools 2014 (russian)* [Электронный ресурс]. KORLOY. URL: http://www.korloy.com/newkorloy/eng/file/2014/ru/2014%20catalog_RU.pdf (дата обращения 22.04.2016).
- [9] *Advanced Cutting Tools. Thread milling tools* [Электронный ресурс]. EroJet. URL: <http://www.erojet-tools.com/ru/downloads> (дата обращения 12.08.2015).
- [10] *Threading with Walter Prototyp. Precise, reliable, efficient. Product handbook* [Электронный ресурс]. Walter Prototyp. URL: [http://www.walter-tools.com/eng/search/pages/downloads.aspx#Walter={%22k%22%3A%22%22%2C%22s%22%3A73%2C%22r%22%3A\[{%22n%22%3A%22ТИБРApplicationAreas%22%2C%22t%22%3A\[%22%22%2C7%82%2C7%82546872656164696e67%22%22\]2C%22o%22%3A%22and%22%2C%22k%22%3Afalse%2C%22m%22%3Anull}}}](http://www.walter-tools.com/eng/search/pages/downloads.aspx#Walter={%22k%22%3A%22%22%2C%22s%22%3A73%2C%22r%22%3A[{%22n%22%3A%22ТИБРApplicationAreas%22%2C%22t%22%3A[%22%22%2C7%82%2C7%82546872656164696e67%22%22]2C%22o%22%3A%22and%22%2C%22k%22%3Afalse%2C%22m%22%3Anull}}) (дата обращения 22.04.2016).
- [11] *Решение проблем при фрезеровании резьбы* [Электронный ресурс]. Sandvik Coromant. URL: http://www.sandvik.coromant.com/ru-ru/knowledge/threading/thread_milling/troubleshooting/pages/default.aspx (дата обращения 22.04.2016).

Статья поступила в редакцию 25.04.2016

Ссылку на эту статью просим оформлять следующим образом:

Мальков О.В. Основные направления исследования резьбофрезерования и проектирования резьбовых фрез. *Инженерный журнал: наука и инновации*, 2016, вып. 4. <http://dx.doi.org/10.18698/2308-6033-2016-04-1487>

Мальков Олег Вячеславович — канд. техн. наук, доцент кафедры «Инструментальная техника и технологии» МГТУ им. Н.Э. Баумана. Автор более 30 научных работ в области резьбофрезерования. e-mail: olma70@mail.ru

The main directions of thread milling research and thread milling cutter design

© O.V. Malkov

Bauman Moscow State Technical University, Moscow, 105005, Russia

The article considers thread milling, actively developing in recent years in Russia. It is well established abroad among the threading processes which can be judged by the large number of instrumental companies producing thread milling cutters. The experience of manufacturers in the field of thread milling problems and ways of their solving was analyzed. The analysis allows ranking emerging problems and formulating the main directions of process and tool research. It can also give recommendations on designing operation performed by various types of thread milling cutters. The obtained results can be useful for production engineers at machine-building plants and specialists in the field of threading.

Keywords: thread milling, thread milling cutter, drill thread milling cutter, thread, threaded hole.

REFERENCES

- [1] Dreval A.E., Malkov O.V., Malkova L.D. *Rezboobrazuyushchiy instrument* [Thread Forming Tools]. Available at: http://www.wcdl.bmstu.ru/mt2/malkov2/rezboobrazuyushchiy_instrument.pdf (accessed April 22, 2016).
- [2] *EMUGE. Tekhnologiya rezboobrazovaniya, tekhnologiya krepeleniya* [Thread Forming Technology, Fastening Technology]. Available at: <http://www.emuge-franken.ru/files/TECH140RU11.pdf> (accessed August 7, 2015).
- [3] *Rezbonareznoy instrument. Tekhnicheskaya chast* [Thread Cutting Tool. Technical Part]. Available at: <http://www.guhring.ru/uploads/cat/files/Tehchast.pdf> (accessed April 8, 2016).
- [4] *KomPass Threading*. Available at: http://www.kometgroup.com/fileadmin/user_upload/pdf/products/jel/KomPass-Threading_GB.pdf (accessed April 22, 2016).
- [5] *AMEC. Thread milling catalog 2013. Allied Machine & Engineering Corp.* Available at: <http://www.alliedmachine.com/images/library/file/Flipbooks/Threadmilling/web/flipviewerxpress.html> (accessed April 22, 2016).
- [6] *Innovations. Master catalogue. Cutting tools 2013*. Available at: http://www.kennametal.com/content/dam/kennametal/kennametal/common/Resources/Catalogs-Literature/Metalworking/A-15-04370_KMT_Master_EN_METRIC_LR.pdf (accessed April 22, 2016).
- [7] *Adaptirovannyy katalog-translyator produktii kompanii Vargus* [Adapted Catalog-Compiler of Company Vargus Products]. Available at: http://www.vargus.com/download/files/VARGUS_MAIN_web.pdf (accessed August 10, 2015).
- [8] *Korloy cutting tools 2014 (russian)*. Available at: <http://www.korloy.com/newkorloy/eng/download/download01.html> (accessed April 22, 2016).
- [9] *EROJET. Advanced Cutting Tools. Thread milling tools*. Available at: <http://www.erojet-tools.com/ru/downloads> (accessed August 12, 2015).
- [10] *Threading with Walter Prototyp. Precise, reliable, efficient. Product handbook* [Электронный ресурс]. Walter Prototyp. URL: [http://www.walter-tools.com/eng/search/pages/downloads.aspx#Walter={%22k%22%3A%22%22%2C%22s%22%3A73%2C%22r%22%3A\[{%22n%22%3A%22TIBPApplicationAreas%22%2C](http://www.walter-tools.com/eng/search/pages/downloads.aspx#Walter={%22k%22%3A%22%22%2C%22s%22%3A73%2C%22r%22%3A[{%22n%22%3A%22TIBPApplicationAreas%22%2C)

%22t%22%3A[%22\%22%C7%82%C7%82546872656164696e67\%22%22]2C
%22o%22%3A%22and%22%2C%22k%22%3Afalse%2C%22m%22%3Anull}}}
(accessed April 22, 2016).

- [11] *Reshenie problem pri frezerovanii rezby* [Solving Problems with Thread Milling]. Available at: http://www.sandvik.coromant.com/ru-ru/knowledge/threading/thread_milling/trouble-shooting/pages/default.aspx (accessed April 22, 2016).

Malkov O.V., Cand. Sci. (Eng.), Associate Professor, Department of Instrumental Techniques and Machinery, Bauman Moscow State Technical University, author of over 30 research publications in the field of the thread milling technology.
e-mail: olma70@mail.ru