

УДК 65.012.122

В.Д. ВЕРМЕЛЬ¹, В.В. ЗИНЯЕВ¹, О.Г. КУЗНЕЦОВ², Е.А. МУХАЧЕВ²¹ *Центральный аэрогидродинамический институт им. Н.Е. Жуковского, Россия*² *Научно производственное предприятие «Завод полимерных конструкций», Россия*

ОПЫТ ВЫСОКОСКОРОСТНОЙ ОБРАБОТКИ АВИАЦИОННЫХ ДЕТАЛЕЙ НА СТАНКАХ С ЧПУ

Рассмотрены некоторые существенные аспекты высокоскоростной фрезерной обработки тонкостенных деталей (типа элементов силовой конструкции планера самолета) из высоколегированной конструкционной стали на современных высокоскоростных обрабатывающих центрах с ЧПУ. Обработка выполнялась в инструментальном производстве завода полимерных и композитных конструкций (НПП «ЗПК»).

станки с ЧПУ, высокоскоростная фрезерная обработка, изготовление деталей сложной формы

Введение

В современных условиях прогресс в изготовлении металлических деталей каркаса планера самолета в значительной мере связан с ростом производительности механической обработки, обеспечивающей при повышении точности и чистоты также и существенное снижение трудозатрат на ручную финишную слесарную обработку [1]. Широко используемым конструкционным материалом деталей силовой конструкции планера является высоколегированная сталь, а преобладающий объем механической обработки составляет фрезерование на станках (обрабатывающих центрах) с ЧПУ. Основные особенности рассматриваемых деталей связаны с их тонкостенностью, характерной для деталей авиационных конструкций, а также малой серийностью, обуславливаемой программами производства авиационной техники в России. В этом плане важно выделить составляющие, обеспечивающие существенное повышение эффективности изготовления деталей в современном технологическом процессе производства.

Факторы, определяющие эффективность изготовления деталей

В традиционной механической обработке авиационных конструкций одним из продолжительных и трудоемких этапов является разработка и изготовле-

ние технологической оснастки, обеспечивающей базирование и закрепление изделий на столе станка по технологическим переходам в процессе изготовления. Наряду с традиционными режимами обработки, существенно уступающими по производительности современным процессам высокоскоростного фрезерования на 3-х координатных станках, широко используется специальный режущий инструмент (для сокращения числа установов и суммарной длины траектории движения). Контроль изготовления производится с использованием контрольной шаблонной оснастки и контрольных приспособлений (мастер-макетов). Перенос изготовления авиационных деталей на современные высокопроизводительные и высокоточные обрабатывающие центры с ЧПУ для обеспечения радикального сокращения сроков изготовления связан с решением комплекса технических задач. Они включают: комплектование режущего инструмента по этапам обработки (черновая, получистовая и чистовая) с учетом изменения механических характеристик обрабатываемого материала при проведении термообработки; технологическое базирование заготовки по этапам обработки с учетом последовательного снижения ее жесткости и усложнение условий закрепления; выполнение промежуточных контрольных операций и привязку (относительное расположение) исходных точек управляющих программ и ори-

ентации их относительно осей детали; выбор рационального размещения прижимов для обеспечения построения эффективных траекторий движения инструмента. Еще одним важным фактором, определяющим процесс обработки, является совместное определение ее технологических параметров с формированием управляющих программ обработки.

Выбор режущего инструмента

В современной технологии авиационного производства особо ответственные детали авиационных конструкций изготавливаются из поковок с сертифицированными характеристиками состава и структуры металла. В качестве примера на рис. 1 показаны заготовка и изготовленная из нее деталь. Вес заготовки ~ 500 кг, вес детали ~ 20 кг.

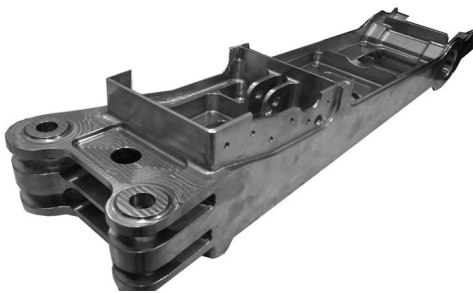


Рис. 1. Пример заготовки и изготовленной из нее детали

Отсюда на первом этапе изготовления центральной задачей становится максимально производительное удаление материала. Величина оставляемого припуска при этом должна обеспечить закалку детали и последующую получистовую и чистовую (финишную) обработку. Характерные размеры припуска при этом ~ 4 мм. Распределение съема мате-

риала на последующих этапах обработки (получистовой и чистовой) связаны с характеристиками используемого инструмента. Целью становится сокращение времени обработки при заданных чистоте и точности воспроизведения геометрии детали.

Для первого этапа по результатам анализа предложений твердосплавного инструмента различных производителей рационально использование фрез со сменными пластинами. Рекомендацией по повышению производительности традиционного фрезерования является обеспечение максимально возможной глубины резания [3]. При использовании современного твердосплавного инструмента максимальная производительность обработки может быть достигнута в 2-х принципиально различных режимах фрезерования. В первом, в соответствии с традиционными рекомендациями, обработка ведется с повышенной глубиной резания, обеспечиваемой инструментом со сменными пластинами ($A_p=3-6$ мм). При этом подача на зуб и соответствующая минутная подача ограничивается прочностными характеристиками инструмента и энергетическими возможностями привода станка.

Для второго режима характерна уменьшенная глубина резания ($A_p=1-2$ мм), при увеличенной подаче на зуб. Выполненное сравнение, применительно к высоколегированной стали ($HRC=30-35$), показало, что производительность для обоих режимов примерно одинакова. Однако при высокой глубине резания поломка пластин в процессе обработки (возможная в условиях опытного производства, а также при нестабильной твердости заготовки) приводит к резкому увеличению нагрузки на шпиндель, вплоть до ударной. Поэтому предпочтительнее обработка с малой глубиной резания. Применительно к получистовой и чистовой обработке из совместного рассмотрения инструмента со сменными пластинами и монолитного твердосплавного определен его рациональный состав и необходимая оснастка (патроны, цанги, удлинительные оправки), обеспечивающие многозонную обработку. При его выборе

анализировались обеспечиваемая производительность и точность обработки, а также затраты на технологический процесс. Пример финишной обработки труднодоступной зоны фрезой на удлиненной оправке показан на рис. 2.

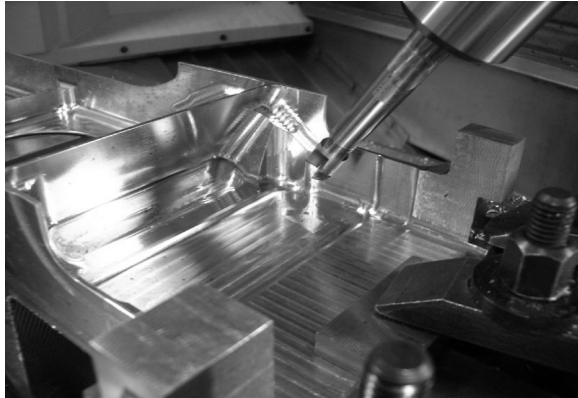


Рис. 2. Пример финишной обработки

Установка и крепление заготовок

Анализ рационального состава и характеристик технологического оборудования для изготовления рассматриваемых деталей [2] показал рациональность применения 2-х типов станков. Первый тип – трехосевой с повышенным вращающим моментом шпинделя при скорости вращения 1500-9000 об/мин. для проведения черновой обработки. Второй тип – 5-ти осевой с располагаемыми скоростями вращения шпинделя 12000-18000 об/мин. для получистовой и чистовой обработки. Крепежная оснастка для черновой обработки универсальная и предельно упрощенная – станочные тиски, прижимы, упоры. Применение станка с управлением относительно 5-ти осей позволяет существенно упростить необходимую для закрепления заготовок и деталей на завершающих этапах обработки технологическую оснастку. Наряду с креплением детали ее важным функциональным назначением становится расположение детали в зоне обработки с максимальным по ракурсам доступом к ней инструмента при возможных поворотах шпинделя и стола. Преобладающий объем оснастки, как показывает анализ, может также составлять универсальная. Выбор пространственного расположения детали наиболее эффективно выполняется в графической системе, в кото-

рой содержится как модель детали, так и модели установочных приспособлений.

Важнейшей составляющей в разработке технологического процесса становится размещение опорных поверхностей и элементов на детали по этапам технологического процесса, а также планирование операций их удаления. Оснащение современных станков измерительными головками позволяет сократить затраты времени на установку и базирование детали. Однако предварительно в технологическом процессе должны быть определены характерные, обрабатываемые на предыдущих этапах, элементы деталей, измерение которых позволяет расположить их в осях станка. На рис. 3 показано размещение заготовки на универсальной оснастке, при котором в одном установе (с перестановкой прижимов) выполняется обработка верхней и боковой сторон, а также сверление и расточка отверстий, в том числе большого диаметра.

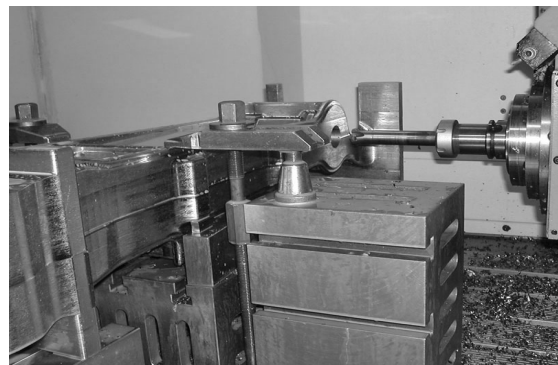


Рис. 3. Размещение заготовки на универсальной оснастке

Рациональное размещение прижимов

Естественным требованием к размещению прижимов является минимальное ограничение зоны обработки. Так как данное требование весьма условно, необходимым становится совместное планирование последовательности обработки, выполняемое в управляющей программе, где наряду с технологическим анализом необходимо удовлетворение условий уменьшения возможного коробления и сохранения жесткости для максимальной протяженности обработки. Применение высокоскоростного фрезерования для тонкостенных деталей обуславли-

вает дополнительное условие на размещение прижимов и опор. Оно связано с собственными частотными характеристиками закрепленной детали (по зонам между креплениями) и их интерференцией с вынуждающими частотами обрабатывающего инструмента. При неудачном с этой позиции размещении прижимов возможно резкое ухудшение чистоты и точности обработки, вследствие возникновения вибраций большой амплитуды, вплоть до брака. Предотвращение может быть достигнуто при использовании заранее менее эффективных технологических режимов – со сниженной производительностью обработки. Сохранение производительности требует глубокого предварительного расчетного анализа, в соответствии с которым выбирается оптимальная система опор и прижимов.

Программное обеспечение

Необходимым условием достижения производственной эффективности использования современного технологического оборудования, режущего инструмента и оснастки является наличие комплекса средств CAD/CAM [4]. Производительность механической обработки выдвигает жесткие требования по срокам изготовления и безошибочности управляющих программ. По нашему опыту необходимым условием становится разработка по исходным математическим моделям деталей последовательности технологических моделей, сопровождающих соответствующие этапы обработки.

Инструментальное средство разработки управляющих программ должно позволять формировать траектории движения инструмента, исключая возникновение неравномерных, резко возрастающих или ударных нагрузок для деталей сложной формы. Для опытного и мелкосерийного производства характерно накопление широкой номенклатуры инструмента, приспособлений, оснастки. Также в условиях данного производства существенно затруднено рациональное диспетчирование и материально-техническое обеспечение. Большую сложность также представляет оперативная оценка трудоемкости и

потребности в обеспечении конкретных заказов, остро необходимая в современных условиях при работе с заказчиками. В этой связи эксплуатируемые средства CAD/CAM для обеспечения общей эффективности дополняются увязанными программными средствами управления и ресурсного планирования (ERP).

Заключение

Рассмотренные проблемы организации высокоскоростной обработки деталей – элементов конструкций планера самолета на современных обрабатывающих центрах с ЧПУ и некоторые пути их решения апробированы в практической деятельности функционирующего на протяжении 2-х лет экспериментально-промышленного металлообрабатывающего производства. Достигнутое в результате их внедрения повышение производительности по сравнению с характерной при эксплуатации для технологического оборудования производства 80-х годов составляет 5 – 20 раз.

Литература

1. Соломенцев Ю.Н., Митрофанов В.Г., Павлов В.В., Рыбаков А.В. Информационно-вычислительные системы в машиностроении (CALS-технологии). – М.: Наука, 2003. – 292 с.
2. Вермель В.Д., Зиняев В.В. Высокоскоростная фрезерная обработка в производстве технологической оснастки // САПР и графика. – 2005. – № 2. – С. 52-59.
3. Блюмберг В.А., Зазерский Е.И. Справочник фрезеровщика. – Л.: Машиностроение, 1984. – 288 с.
4. Вермель В.Д. Программно-технические средства систем автоматизированного проектирования / Энциклопедия «Машиностроение». Т. 4. Самолеты и вертолеты. – М.: Машиностроение, 2002. – 864 с.

Поступила в редакцию 25.09.2006

Рецензент: д-р техн. наук, проф. В.В. Лазарев, ФГУП Центральный аэрогидродинамический институт им. проф. Н.Е. Жуковского, г. Жуковский, Московская область, Россия.