

УДК: 621.91.01

АВТОМАТИЗАЦИЯ МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ КРОМОК АВИАЦИОННЫХ ДЕТАЛЕЙ

Ю.Ю. Пискунова¹

Иркутский национальный исследовательский технический университет,
664074, Россия, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83

Приведены результаты сравнительного анализа методов механической обработки кромок авиационных деталей. Рассмотрены технологические возможности и ограничения таких методов, как: виброабразивная обработка, шлифование с применением эластичного инструмента, а так же механообработка с применением робототехнического комплекса.

Ключевые слова: обработка кромок; автоматизация финишных операций; робототехнический комплекс; качество механообработки.

AUTOMATISATION OF AIRCRAFT PARTS EDGES MACHINING

J. Piskunova

Irkutsk National Research Technical University,
83 Lermontov Str., Irkutsk, Russia, 664074.

The paper presents the results of the comparative analysis of methods of mechanical processing of aircraft parts edges. It discusses the technological possibilities and limitations of such methods as vibro-abrasive machine processing, grinding with an application of flexible tools as well as mechanical processing with an application of a robotic system.

Keywords: parts edges machining; automation of finishing operations; robotic system; machining quality.

На сегодняшний день, после долгой трансформации Российской экономики, сформировалась благоприятная среда для развития отечественного производства. Для поддержания и дальнейшего эффективного развития производственных сил, а так же для обеспечения конкурентоспособности изготавливаемой продукции актуализируются вопросы повышения производительности, качества, точности и стабильности технологических процессов. Для этого необходимо увеличивать долю автоматизированного производства, сокращая операции, выполняемые вручную.

В настоящее время на производстве существуют участки, на которых вынуждены использовать ручной труд. Так, например, большинство деталей авиационной техники, получаемых обработкой резанием, а также после некоторых видов обработки давлением подвергаются ручной финишной обработке, которая заключается в удалении заусенцев, а также скруглении кромок. Необходимость данных операции обусловлена требованиями техники безопасности, а также техническими условиями других технологических операций (поверхностное упрочнение, нанесение покрытий, сборка). Низкий уровень автоматизации снижает достижимую точность, качество стабильность и производительность операций.

Для повышения производительности финишной обработки в условиях серийного производства могут быть использованы традиционные и новые перспективные методы автоматизации механообработки кромок авиационных деталей.

Исходя из физико-химического воздействия на материалы при обработке, существующие методы отделки и очистки деталей можно разделить на пять групп[2].

Механические методы, при которых удаление заусенцев и ликвидов производится путем механического воздействия на обрабатываемые детали твердых тел, инструментов. Химико-механические методы, при которых осуществляется одновременное механическое воздействие инструмента и химическое воздействие внешней среды (жидкости). Химические методы, при которых удаление ликвидов осуществляется путем воздействия химически активной жидкой или газовой среды. Электрохимические методы, для которых характерно химическое воздействие жидкой среды и электрического тока, проходящего через электролит и материал детали. Физические методы, при которых обработка осуществляется: путем физического воздействия на материал: ультразвуковых волн, электрических разрядов, электрогидравлических ударов и др.

Рассмотрим технологические особенности основных методов обработки кромок деталей применяемых в авиамашиностроении.

Эффективным методом обработки металлических деталей с габаритными размерами в плане до 300 мм является виброабразивная обработка (ВАО) [5].

¹ Пискунова Юлия Юрьевна, магистр, e-mail: b_j@istu.edu
Piskunova Julia, a postgraduate student, e-mail: b_j@istu.edu

Общей особенностью ВАО в свободном абразиве является безразмерный характер осуществляемого процесса, т.е. детали обрабатываются по всем поверхностям, к которым имеется доступ абразивных частиц (гранул) и химически активных рабочих жидкостей (рис. 1).



Рис. 1. Обработка деталей в свободном абразиве

Несмотря на многообразие конструкций виброабразивных машин, все они реализуют принцип возбуждения колебания рабочей камеры с целью передачи частицам абразивного материала и обрабатываемым деталям кинетической энергии, необходимой для совершения работы микрорезания.

Преимуществами данного метода являются естественное формирование радиусных кромок, а также возможность обработки деталей практически любой формы и сложности. Недостатки: сложность обработки длинномерных и крупногабаритных деталей, трудность обеспечения равномерности обработки, а также значительные временные затраты.

Современным решением, применимым к крупногабаритным деталям с габаритными размерами в плане до 12 м являются метод обработки вращающимися абразивными щётками, выполненными либо из абразивной шкурки, либо из полимерно-абразивных нитей (рис. 2).

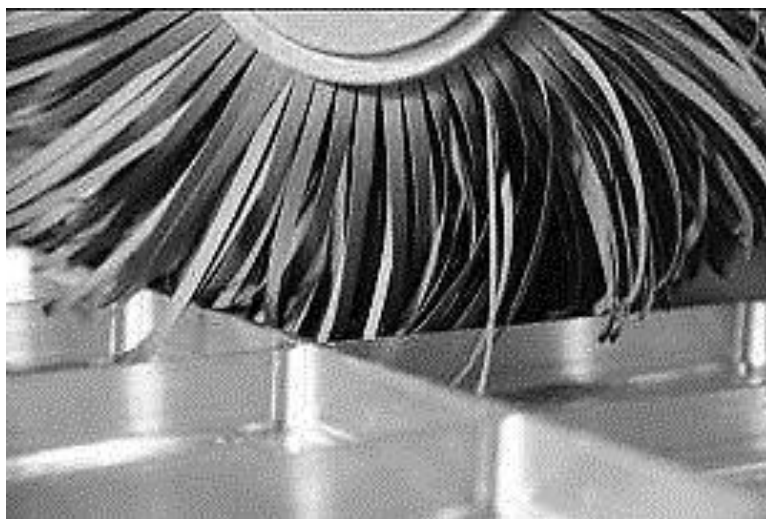


Рис. 2. Обработка эластичным абразивным инструментом

Необходимая для снятия материала сила резания обеспечивается преимущественно центробежной силой, действующей на отдельные лепестки, а также упругостью лепестков. К недостаткам технологии можно отнести сложность обработки деталей с разновысотными ребрами жесткости, а также значительный износ абразивных щеток.

Учитывая недостатки и ограничения вышеописанных методов можно сделать вывод, что су-

ществуют детали, для которых описанные методы неэффективны. К их числу следует отнести крупногабаритные каркасные детали, имеющие перепады высот ребер более 20 мм, а также изделия с большим количеством колодцев, карманов, полок, ребер и других подобных конструктивных элементов. Одним из путей решения является применение робототехнического комплекса (РТК) [2,3] (рис. 3).



Рис. 3. Роботизированная механическая обработка кромок

Преимуществами применения робота в процессе снятия заусенцев является возможность обработки сложных пространственных контуров деталей, особенно деталей авиационной техники, исключение влияния человеческого фактора при выполнении операций, повышение качества и снижение уровня опасности на рабочем месте. Автоматизированная система, реализованная на основе РТК, позволяет эффективно управлять процессом обработки, обеспечивает стабильность выходных параметров, гарантирует высокое качество выпускаемой продукции.

Работы по разработке данной технологии выполняются с июля 2013 г. на базе исследовательского комплекса, сформированного в ИРНТУ на основе промышленного робота Kuka KR210 R2700 совместно с иркутским авиационным заводом.

Предложенный подход позволяет использовать робот в качестве обрабатывающего центра с семью независимо управляемыми координатами. Обработка кромок деталей может быть выполнена как лезвийным, так и абразивным (в том числе и эластичным) вращающимся инструментом.

Обучение робота, выполняющего операции снятия заусенцев, производится с помощью пошагового программирования. Применение автоматизированных систем значительно сокращает сроки подготовки производства по сравнению с ручным обучением робота по каждой точке контура и исключает ошибки. С помощью программного продукта Robotmaster, который интегрирует программирование робота, моделирует и генерирует коды внутри Mastercam, обеспечивая быстрое программирование робота, процесс снятия заусенцев генерируется автоматически из САМ модели, а затем может изменяться с минимальными затратами для корректировки нескольких параметров: изменения контуров детали, диаметра фрезы, глубины резания, количества обрабатываемых поверхностей [4]. Так же предоставляется возможность программировать и управлять наклоном инструмента при решении траекторных задач, обеспечивать требуемое качество поверхности и повышать срок службы инструмента. Программный комплекс позволяет моделировать процесс снятия заусенцев с использованием нескольких инструментов, проводить виртуальную калибровку инструментов.

Задача определения точности, которую должен обеспечить робот при удалении заусенцев стала одной из самых сложных при формировании состава РТК. Как показали предварительные испытания, точность обработки существенно изменяется в пределах рабочей зоны робота. Были проведены исследования по оценке точности робота при движении по прямолинейной траектории. Для этого был использован лазерный трекер APITracker3™ компании API [1]. Проанализировав полученные результаты, был сделан вывод о преимущественно точных областях обработки (рис. 4). Зелёная область – наилучшая зона для обработки (погрешность 0,1 мм), желтая – характеризуется погрешностью 0,13 мм, красная – нежелательная область для обработки (погрешность 0,33–0,35 мм).

Дополнительной опцией, позволившей увеличить точность обработки, является применение силового датчика «ForceToolControl» в схеме управления РТК, что обеспечило возможность слежения за силами резания в реальном масштабе времени, оперативное реагирование на нештатные ситуации.

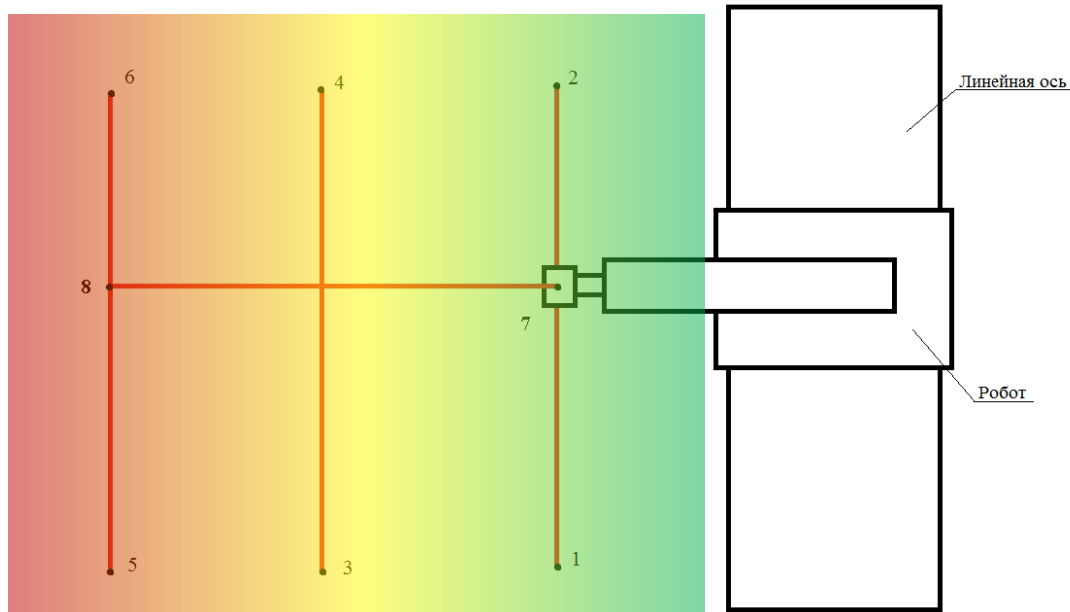


Рис. 4. Зоны точности робота

Это решение наделяет робота тактильной чувствительностью. При рабочем давлении 5–6 бар система позволяет поддерживать постоянной силу от 5 до 100 Н, а при смене позиции во время выполнения рабочего цикла менять направление действия силы и изменять величину нормированной силы. Использование датчика «ForceToolControl» в роботизированном комплексе удаления заусенцев кроме повышения точности воспроизведения траекторий существенно продлевает срок службы инструмента.

Проведя сравнительный анализ технических характеристик описанных методов, включая ручную слесарную обработку (таблица), можно сделать следующие выводы: каждый из приведенных методов рационален для определенной категории деталей и совокупности технологических требований. Например, виброабразивная обработка подходит для малогабаритных деталей, а обработка эластичным абразивным инструментом рациональна для длинномерных деталей с простой геометрией. Не смотря на новизну роботизированной механической обработки кромок авиационных деталей, данный метод можно охарактеризовать как универсальный, позволяющий обрабатывать при минимальных затратах на подготовку производства обширную номенклатуру деталей из различных материалов, в том числе высокопрочных. При этом эффективность способа подтверждается при обработке как внешних, так и внутренних поверхностей деталей независимо от сложности их конфигурации. Метод характеризуется быстрой переналадкой оборудования при смене марки обрабатываемого материала, изменении величины ликвидов, применяемого инструмента, требований к качеству обработки и других факторов.

Результаты сравнительного анализа методов обработки кромок авиационных деталей

Виды обработки Характеристики	Ручная слесарная обработка	Виброабразивная обработка	Обработка эластичным абразивным инструментом	Роботизированная механическая обработка кромок деталей
Точность	Низкая	Варьируется для различных поверхностей	Удовлетворительная при низком износе инструмента	Высокая для «ближних» зон
Длительность цикла	Операции осуществляются за два прохода	от 10 мин. до 5 ч	от 2 до 30 мин.	Обработка ведется за один проход
Качество	Вероятны зарезы, перешлифовки	Шаржирование поверхности, риски, царапины, возможна неравномерная обработка	Шаржирование поверхности, риски	Гребешки, возникновение повторных заусенцев
Размеры (геометрия) детали	Не ограничены	Ограничены габаритами рабочей камеры	Обрабатываются длинномерные детали в плане до 12 м, без перепадов высот и ребер	Ограничены размерами рабочей зоны РТК
Производительность	Низкая	Для малогабаритных деталей высокая, для крупногабаритных- низкая	Высокая для крупногабаритных деталей	Высокая для прямолинейных траекторий
Стабильность процесса	Определяется квалификацией слесаря	Стабилен	Зависит от скорости изнашивания абразивного инструмента	Высокая для зон стабильного резания
Стойкость инструмента	Низкая	Определяется режимами обработки, маркой абразивных гранул	Низкая	Высокая (при использовании фрез), для гибкого абразивного инструмента – в стадии исследования

Библиографический список

1. Беломестных А.С., Чапышев А.П., Сидорова А.В., Семёнов Е.Н. Эффективное зонирование рабочего пространства промышленного робота KUKAKR210 R2700 extra // Вестник Иркутского государственного технического университета. – 2015. – № 12. – С. 86–95.
2. Беломестных А.С., Чапышев А.П., Иванова А.В. Исследование влияния коэффициента усиления в канале управления скоростью движения робота на технологические свойства робототехнического комплекса механической обработки кромок деталей // Вестник Иркутского государственного технического университета. – 2015. – № 7. – С. 39–47.
3. Ponomarev B.B., Belomestnykh A.S., Ivanova A.V., Semenov E. Manufacturing capability of the robotic complex machining edge details // International Journal of Engineering and Technology. 2015. V. 7, № 5. – С. 1774–1780.
4. Савилов А.В. Разработка управляющих программ РТК при помощи CAD/CAM систем // Экстремальная робототехника: материалы VIII науч.-техн. конф. – СПб.: Изд-во СПбГТУ, 1998. – С. 54–55.
5. Филиппов К.Е., Кольцов В.П., Беломестных А.С., Ружников Д.А. Устройство для вибрационной обработки: пат. на изобретение. – RUS 2064397. – 27.07.1996.