УДК 621.73

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ОБРАБОТКИ КОРПУСОВ МОДУЛЕЙ СВЧ-ПРИБОРОВ НА ОБРАБАТЫВАЮЩЕМ ЦЕНТРЕ DMG 635V ECOLINE С ПРИМЕНЕНИЕМ ИНСТРУМЕНТОВ БЕРЕЖЛИВОГО ПРОИЗВОДСТВА

А.В. Волков¹, А.В. Крюков¹,
А.С. Еремеев¹, П.А. Головкин²

¹ АО «Центральный научно-
исследовательский радиотехнический
институт имени академика А.И. Берга»

² АО «Плутон»

Объектом научных исследований является разработка способа и средств определения эффективных режимов механической обработки деталей путем диагностики процесса резания. Изучается влияние взаимного расположения обрабатываемой поверхности и фрезы. Показано, что при фрезеровании по эквидистанте (этот метод часто называют «смещение», «офсет» или «петля») направление резания остаётся постоянным во время всего цикла фрезерования, так же решается проблема излома траектории движения инструмента. На основе полученных данных методом фрезерования по различным схемам обработки изготовлены опытные детали. Экспериментально установлено, что сложная схема обработки улучшает обрабатываемость и качество поверхности получаемых деталей за счет снижения разгрузочного удара при выходе режущей кромки фрезы из обрабатываемого материала.

Ключевые слова: *алюминиевый сплав, интерметаллидные фазы, обрабатываемость, точение, качество поверхности, нагрузка на режущий инструмент, размерный анализ, критериальные зависимости, стойкость.*

IMPROVING THE EFFICIENCY
OF PROCESSING THE CASES OF
MODULES MICROWAVE DEVICES AT
THE MACHINING CENTER DMC-635V
ECOLINECI WITH THE USE OF LEAN
MANUFACTURING TOOLS

A.V. Volkov¹, A.V. Kryukov¹,
A.S. Ereemeev¹, P.A. Golovkin²

¹JSC «CENTRAL RESEARCH RADIOTECHNICAL
INSTITUTE NAMED AFTER ACADEMICIAN
A.I. BERG»

²JSC "PLUTON"

The object of scientific research is the development of a method and means for determining effective modes of machining by diagnosing the cutting process. The influence of the relative position of the machined surface and the cutter is studied. It is shown that when milling along an equidistant (this method is often called "offset", "offset" or "loop"), the cutting direction remains constant during the entire milling cycle, and the problem of tool path fracture is also solved. Experimental parts were made on the basis of the data obtained: by milling according to various processing schemes. It has been experimentally established that a complex processing scheme improves the machinability and surface quality of the resulting blanks of parts by reducing the unloading impact when the cutting edge of the cutter leaves the material being processed.

KEYWORDS: *aluminum alloy, intermetallic phases, machinability, turning, surface quality, load on the cutting tool, dimensional analysis, criterion dependences, durability.*

DOI: 10.52531/1682-1696-2021-21-4-35-39

ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

В радиоэлектронной аппаратуре применяются корпуса модулей (рис. 1) для электронной начинки, изготавливаемые, в частности, из алюминий-магниевого сплава. Типы этих деталей относятся к классу ответственного и особо ответственного назначения.

Данные детали получают, в абсолютном большинстве, в металлообрабатывающей промышленности,

где доминируют мелкосерийное и серийное производство, для которых характерна частая смена номенклатуры изготавливаемых изделий. Для подобных типов производств применяется оборудование, которое обеспечивает высокую производительность при быстрой переналадке под новые типы деталей. Этим требованиям соответствуют автоматизированные станки с числовым программным управлением (ЧПУ)

РИС. 1

Модель корпуса

и обрабатывающие центры. Простой дорогостоящего оборудования повышает себестоимость продукции, снижая её конкурентоспособность. Например, время простоя, обусловленное отказом автоматизированного оборудования, составляет до 6%, а незапланированным износом или выходом из строя режущего инструмента – до 40% рабочей смены [5].

Режущий инструмент, как элемент системы металлообработки, характеризуется скоростью изнашивания. Она значительно выше скорости изнашивания деталей и узлов станка. Отказ инструмента, в отличие от других видов износа, обязательно приведет к отказу технологической системы в целом [6]. Для повышения надежности режимы резания назначают на 20–30% ниже нормативных [8, 9]. Подобная ситуация негативно влияет на развитие производства, ведет к снижению объема выпуска продукции, а соответственно, вносит вклад в увеличение расходов и понижение рентабельности производства, что в полной мере не соответствует критериям бережливого производства и стандарту СТ ИС КОНЦЕРН ВКО 02.2-304-2019. Под бережливым производством понимается процесс, который включает определение ценности для потребителя, выстраивание последовательного потока создания этой ценности, обеспечение непрерывности этого потока, обеспечение «вытягивания» от заказчика вниз по процессу, стремление к совершенству [11]. Для организации бережливого производства необходимо организовать работу так, чтобы изделие проходило стадии, где снижается стоимость изготовления, без потерь.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТА

Как правило, корпуса микросборок изготавливают из горячекатаных алюминиевых плит [3, 4], обосновывая их применение простотой технологического процесса. При этом не учитывается высокий уровень полученных в процессе прокатки внутренних напряжений в материале, который тем выше, чем больше толщина плиты, и достигает 40% его сопротивления деформации, напряжения также влияют на обрабатываемость [7, 12].

Хотелось бы отметить, что в металлообрабатывающей промышленности нет отраслевых нормативных

А.В. ВОЛКОВ, А.В. КРЮКОВ,
А.С. ЕРЕМЕЕВ, П.А. ГОЛОВКИН
ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ОБРАБОТКИ
КОРПУСОВ МОДУЛЕЙ СВЧ-ПРИБОРОВ НА
ОБРАБАТЫВАЮЩЕМ ЦЕНТРЕ DMG 635V ECOLINE
С ПРИМЕНЕНИЕМ ИНСТРУМЕНТОВ
БЕРЕЖЛИВОГО ПРОИЗВОДСТВА

документов, которые регламентировали бы траекторию движения инструмента с наибольшей ее производительностью в процессе обработки фрезерованием. Это усложняет достижение заданных характеристик конечного изделия, удорожает его изготовление.

Так, было установлено, что при выходе режущего клина (режущей пластины) из зоны резания наблюдается так называемый разгрузочный удар, сопровождающийся повышенным износом инструмента. Наиболее негативное действие разгрузочный удар оказывает на режущую кромку инструмента, работающую в режиме прерывистого резания с изменяющейся толщиной срезаемого слоя. Переход от непрерывного резания к прерывистому при обработке пластичных металлов в ряде случаев приводит к резкому снижению стойкости режущего инструмента. Например, если сравнивать точение и фрезерование материалов системы Al-Mg, суммарный путь зуба фрезы до затупления может быть в 50 раз меньше, чем путь резца при точении с теми же скоростями резания [10], толщиной и шириной срезаемого слоя. Большая разница между стойкостью режущего инструмента, работающего в условиях прерывистого резания, и стойкостью инструмента, работающего в условиях непрерывного резания, объясняется периодическим выходом режущей кромки из зоны обработки, что, в свою очередь, сопровождается разгрузочным ударом, который приводит к её интенсивному износу и, как следствие, снижению стойкости [1]. В процессе удара происходят микродеформации, которые образуют наклепочный слой на поверхности заготовки, который впоследствии не позволяет обеспечить качественное металлизированное покрытие из-за закрытия интерметаллидных цепочек вершинками неровностей обработанной поверхности (рис. 2).

Несмотря на то, что возникновение разгрузочного удара при выходе режущего клина из зоны резания было зафиксировано более 50 лет назад, до сих пор нет единой теоретической модели, которая описывала бы этот процесс, а также позволила бы создать комплекс мер по снижению его негативного воздействия на режущий инструмент. Более того, однозначно не установлены причины и факторы, приводящие к возникновению разгрузочного удара. Если теме зависимости обрабатываемости материала от его структуры и свойств посвящено множество работ, то проблема обеспечения необходимой обрабатываемости заготовок на этапе разработки технологического процесса их изготовления путём механической обработки изучена ограниченно. Нами были составлены карты потока создания ценности (КПСЦ) текущего состояния с определением узких мест процесса изготовления корпуса модуля.

Как видно из карты КПСЦ, наибольшую часть времени, необходимого для изготовления детали, составляет механическая обработка на станке с ЧПУ.

РИС. 2.

Дефекты (интерметаллидные цепочки), скрытые наклепочным слоем (Г)

РИС. 3.

А – Фрезерование квадратного кармана зигзагом. Б – Фрезерование квадратного кармана по эквидистанте. В – Трохоидальная траектория инструмента при фрезеровании квадратного кармана

В современных методах обработки фрезой на ЧПУ-станках наиболее часто применяются три метода удаления материала в заданной области (рис. 3): фрезерование зигзагом, фрезерование по эквидистанте вдоль контура и трохоидальная обработка [2].

Как показали ранее проведенные исследования, метод фрезерования зигзагом практически непригоден с точки зрения сохранения стойкости инструмента вследствие следующих причин: во-первых, направление резания меняется со встречного на попутное и наоборот в каждом цикле зигзага; во-вторых, траектория имеет множество изломов; в-третьих, режущий инструмент испытывает значительные перегрузки, так как при смене направления движения в конце прохода происходит врезание.

При фрезеровании по эквидистанте (этот метод часто называют «смещение», «офсет» или «петля») полностью выполняется первое условие – направление резания остается постоянным во время всего цик-

ла фрезерования. Частично можно выполнить второе условие – решить проблему изломов траектории. Современные САМ-системы позволяют автоматически сглаживать траекторию движения инструмента с помощью сплайнов, вставлять дуги и петли в места сопряжения прямолинейных участков. Например, вставка в излом траектории сплайн – дуги радиусом всего 3 мм позволяет не снижать подачу на изгибах траектории. Но, тем не менее, при фрезеровании по эквидистанте – наблюдаются перегрузки инструмента, что существенно уменьшает срок службы режущего инструмента.

Для исключения перегрузок в современных САМ-системах используют особый вид траектории режущих инструментов – трохоидальную обработку, когда траектория движения описывается математической кривой – трохоидой. В этом случае инструмент движется по растянутой в плоскости спирали, всякий раз врезаюсь в материал на допустимое расстояние. Такая обработка действительно обеспечивает резание полным диаметром фрезы, что исключает прерывистое фрезерование, которое приводит к разгрузочному удару, что снижает нагрузку на режущий инструмент. На рис. 4 показаны образцы после различных схем обработки на обрабатывающем центре с ЧПУ DMG 635V EcoLine. В качестве режущего инструмента применялась фреза диаметром 16 мм с четырьмя зубьями из твердого сплава ВК8. Ширина срезаемого слоя при проходе фрезы составляла 7 мм, средняя глубина резания 2 мм. При частоте вращения 2110 об./мин. линейная скорость зуба фрезы составляла 106 м/мин., или 844 мм/с. при подаче на зуб 0,1 мм и на оборот фрезы 0,4 мм.

РИС. 4.

А – Фрезерования квадратного кармана зигзагом. Б – Фрезерование квадратного кармана по эквидистанте. В – Трохоидальная траектория движения инструмента при фрезеровании квадратного кармана. Г – Общий вид образца и поверхности, полученные в зависимости от схем обработки

Анализ влияния зависимости схем обработки заготовок и деталей из алюминиево-магниевого сплава показывает, что эффективным методом повышения качества обработанной поверхности является максимально равномерная обработка, которая исключает разгрузочный удар в процессе выхода режущего клина инструмента из материала, что приводит не только к увеличению стойкости инструмента (рис. 5), но также исключает закрытие интерметаллидных включений на обработанных поверхностях (рис. 6), что в комплексе обеспечивает дополнительное выравнивание термодинамического потенциала [13] поверхностей заготовок корпуса микросборки. Такая обработка позволит обеспечить на последующих технологических переходах равномерное нанесение слоя никеля с минимальным уровнем сформированных растягивающих напряжений и минимальный уровень остаточных напряжений, что гарантирует качественное нанесение металлизированных покрытий.

По выбранным схемам были обработаны образцы до полного выхода из строя фрезы. Фрезерование образцов было проведено следующим образом: на первых пяти заготовках было выполнено пять рабочих проходов и один контрольный проход, с которого снималась информация; для следующих пяти заготовок было выполнено десять рабочих проходов и один контрольный. Итого для первых и последних пяти заготовок количество проходов $j = 5 \times 6 + 5 \times 11 = 85$. Суммарное время обработки ΣT , мин: $\Sigma T = T_0 \times j = 0,775 \times 85 = 69$ мин. Это больше заявленного производителем времени стойкости $\tau = 30$ мин.

Производственно-экспериментальный опыт позволяет рекомендовать следующую технологическую схему в процессе механической обработки заготовки корпуса микросборки под химическое никелирование: основные габаритные размеры корпуса фрезеровать по эквидистанте; во время фрезерования внутренних карманов обеспечить трохоидальную траекторию движения инструмента. По полученным результатам оформлено кейдзен-предложение.

РИС. 5.
График стойкости инструмента до отказа

А.В. ВОЛКОВ, А.В. КРЮКОВ,
А.С. ЕРЕМЕЕВ, П.А. ГОЛОВКИН
ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ОБРАБОТКИ
КОРПУСОВ МОДУЛЕЙ СВЧ-ПРИБОРОВ НА
ОБРАБАТЫВАЮЩЕМ ЦЕНТРЕ DMG 635V ECO LINE
С ПРИМЕНЕНИЕМ ИНСТРУМЕНТОВ
БЕРЕЖЛИВОГО ПРОИЗВОДСТВА

Важно, что обнаруженные зависимости не являются характерными только для сплава АМг6 как типичного представителя алюминиево-магниевого сплава. Аналогичного эффекта можно добиться и при обработке других сплавов и сталей.

ВЫВОДЫ

1. Неизбежное наличие в материале вырезаемых из горячекатаных плит заготовок многочисленных интерметаллических соединений, характерных для сплавов типа АМг, заставляет учитывать их как фактор, влияющий на вакуумную плотность и сопротивляемость коррозионному разрушению деталей электронных модулей и качество их химического никелирования перед операцией пайки-сборки.

2. В процессе назначения режимов фрезерования корпусов электронных модулей следует учитывать изменение установившегося режима резания в процессе резкого изменения направления перемещения фрезерной головки как при врезании её в материал заготовки, так и при разгрузочном ударе.

Сбой режима перемещения режущего инструмента может привести к формированию в поверхностном слое деталей энергетически и электрохимически неравномерного состояния материала, что будет провоцировать развитие коррозионных процессов как непосредственно в этом материале, так и отторгая материал наносимых перед пайкой-сборкой корпусов технологических никелевых покрытий.

3. Изготовление корпуса модуля микросборок предложенными схемами механической обработки обеспечивает равномерное нанесение никелевого покрытия благодаря минимальному уровню сформированных в поверхностном слое материала заготовки растягивающих напряжений.

4. Оптимизационная задача выбора технологических параметров может быть решена на основе принципа минимакса критериальных функций и вариационного принципа Лагранжа.

РИС. 6.
Сплошные строчки включений интерметаллидов и их макроструктура

ЛИТЕРАТУРА

1. Амосов И.С., Скраган В.А. Точность, вибрации и чистота поверхности при токарной обработке / Изд. 2-е, перераб. и доп. под об. ред. М.А. Ансерева. М.; Л.-д.: Машгиз, 1958. 90 с.
2. Головкин П.А., Сбруйкина С.В. Обеспечение качественной поверхности чистовых деталей и структуры их материала на этапе разработки технологического процесса горячей деформации стали 07X16Ш6-Ш / Актуальные проблемы российской космонавтики. Материалы 39-х Королёвских чтений. М., 31.01.2015. М.: Комиссия РАН, ФГУП «ГКНПЦ им. М. В. Хруничева», 2015. С. 230–231, 555 с.
3. ГОСТ 17232–99 Плиты из алюминия и алюминиевых сплавов. Технические условия. М.: Изд-во стандартов, 2000. 12 с. 6. ГОСТ 5272-68. Коррозия металлов. Термины. М.: Изд-во стандартов, 1999, 15 с.
4. ГОСТ 56370–15 Плиты из алюминиевых сплавов для судостроения. Технические условия. М.: Изд-во стандартов. 2015. 10 с.
5. Григорьев С.Н. и др. Диагностика автоматизированного производства. Под ред. С.Н. Григорьева. М.: Машиностроение, 2011. 600 с.
6. Григорьев С.Н. и др. Контроль параметров процесса резания на основании диагностирования инструмента и заготовки // Измерительная техника. 2012. №5. С.46–48.
7. Кабалдин Ю.Г., Биленко С.В. Расчёт оптимальной траектории высокоскоростного фрезерования с помощью алгоритмов искусственного интеллекта // Вестник машиностроения. 2005, №7. С. 46–49.
8. Кацев П.Г. Статистические методы исследования режущего инструмента. М.: Машиностроение, 1997. 231 с.
9. Кочеровский Е.В., Лихцер Г.М. Диагностика состояния инструмента по силовым характеристикам процесса резания. Обзор. М.: Изд-во ВНИИ-ТЭМР. 1988. Вып. 7. 40 с.
10. ОСТ 18878-73 Резцы токарные проходные прямые с пластинами из твёрдого сплава. Конструкция и размеры. М.: Изд-во стандартов, 2017. 15 с.
11. Лайкер Д. Дао Toyota: 14 принципов менеджмента ведущей компании мира. Пер. с англ. М.: Альпина Бизнес Букс, 2005.
12. Фомин К.Н., Шилин К.П. Инструкция ВИАМ № 849-6. Ковка и штамповка деформируемых алюминиевых сплавов на прессах и молотах. М.: МАП, 1967. 19 с.
13. Хауффе К. Реакции в твёрдых телах и на их поверхности / Пер. с нем. А.Б. Шехтер. М.: Изд-во иностранной литературы. 1962. Ч. 1. 416 с.

Крюков Антон Вячеславович, инженер-технолог 2 кат. АО «ЦНИРТИ им. академика А.И. Берга»

Волков Андрей Валентинович, к.т.н., зам. главного инженера по конструированию и технологии АО «ЦНИРТИ им. академика А.И. Берга»

Еремеев Александр Сергеевич, инженер-технолог 3 кат. АО «ЦНИРТИ им. академика А.И. Берга»

☎ 107078, г. Москва, ул. Новая Басманная, д. 20, стр. 9, тел.: +7 (977) 265-40-57, e-mail: minyuc@yandex.ru

Головкин Павел Александрович, к.т.н., зам. главного технолога АО «Плутон»

☎ 105120, г. Москва, ул. Нижняя Сыромятническая, д. 11 корп. 1, e-mail: p.golovkin@pluton.ru