

МАШИНОСТРОЕНИЕ MECHANICAL ENGINEERING

Тимофеев С. А., Савилов А. В.
S. A. Timofeev, A. V. Savilov

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭЛЕКТРОПРОВОДНОСТИ МАТЕРИАЛА ПРИ ВЫСОКОПРОИЗВОДИТЕЛЬНОМ ФРЕЗЕРОВАНИИ КАРМАНОВ В ДЕТАЛЯХ ИЗ АЛЮМИНИЕВЫХ СПЛАВОВ

THE STUDY OF MATERIAL CONDUCTIVITY IN HIGH-PERFORMANCE MILLING OF POCKETS USING ALUMINUM ALLOY PARTS

Тимофеев Сергей Анатольевич – аспирант кафедры «Технологии и оборудования машиностроительных производств» Иркутского национального исследовательского технического университета (Россия, г. Иркутск). E-mail: sevans@istu.edu.

Mr. Sergey A. Timofeev – a Postgraduate student, Technology and machine industry equipment Department, Irkutsk National Research Technical University (Russia, Irkutsk). E-mail: sevans@istu.edu.

Савилов Андрей Владиславович – кандидат технических наук, доцент кафедры «Технологии и оборудования машиностроительных производств» Иркутского национального исследовательского технического университета (Россия, г. Иркутск). E-mail: saw@istu.edu.

Mr. Andrey V. Savilov – PhD in Engineering, Associate professor, Technology and machine industry equipment Department, Irkutsk National Research Technical University (Russia, Irkutsk). E-mail: saw@istu.edu.

Аннотация. В статье рассматривается исследование зависимости электропроводности алюминиевых сплавов после высокопроизводительного фрезерования концевыми фрезами. Выполняется обработка карманов различной конфигурации, максимально приближенных к реальным фрагментам авиационных деталей. Особенностью является применение технологии высокопроизводительного фрезерования, которая, в свою очередь, позволяет значительно повысить экономическую эффективность процессов механообработки. Полученные результаты могут быть использованы при проектировании технологических процессов изготовления деталей авиационной техники на высокопроизводительном оборудовании.

Summary. The article discusses dependence of aluminum alloy electrical conductivity after using high-performance end milling. Pockets of different configurations close to real fragments of aircraft parts are tooled. A special feature is the use of high-performance milling technology that can significantly increase the economic efficiency of the machining processes. The results can be used in designing of technological processes in manufacturing aircraft parts with high-efficiency equipment.

Ключевые слова: высокопроизводительное фрезерование, алюминий, неразрушающий контроль, вихретоковый контроль, электропроводность, фреза, карман.

Key words: high-performance milling, aluminum, nondestructive inspection, eddy current testing, conductivity, mill, pocket.

УДК 621.914.1

Введение

Ключевым моментом в авиационном сегменте является безопасность, поэтому на этапе производства применяются различные методы контроля деталей и заготовок, основным из которых является неразрушающий контроль. В частности, при изготовлении деталей на предприятиях ведущих мировых производителей авиационной техники производится вихретоковый контроль (для измерения электропроводности) алюминиевых заготовок как при поступлении на производство, так и непосредственно после механообработки [1].

Вихретоковый метод уже довольно долгое время применяется для эффективного контроля электропроводных материалов. Он основан на возбуждении вихревых токов на поверхности металла и регистрации их обратного воздействия на измерительный щуп. Если в детали присутству-

ют такие дефекты, как неоднородность, коррозия, эрозия, износ, трещины, повреждение и утончение стенок, то это мгновенно увеличит электрическое сопротивление поверхностного слоя металла, что приведет к ослаблению вихревых токов [1]. Так же к снижению электропроводности может привести и механообработка, так как при её выполнении в зоне резания одновременно действуют значительные усилия резания, создающие наклеп [7], и температура, вызывающая разупрочнение металла при достижении определённого значения [4].

Следует заметить, что при достаточной проработанности процедуры измерения электропроводности в открытой печати отсутствуют данные о влиянии на электропроводность режимов резания, конструктивных и геометрических параметров режущих инструментов. Наличие такой информации позволило бы разработчикам технологических процессов выбирать режущие инструменты и назначать режимы резания на них с полной гарантией, что механообработка не будет оказывать негативное влияние на структуру и механические свойства материала [2], а следовательно, и на прочность, и ресурс изготовленной детали.

Экспериментальные исследования

В работе [5] рассмотрены исследования зависимости электропроводности от режимов резания при высокопроизводительном фрезеровании образцов из алюминиевых сплавов. При этом траектория движения фрезы представляет собой прямую линию. Очевидно, что при обработке реальных авиационных деталей такой случай является крайне редким [3]. В связи с этим были проведены исследования по влиянию различных режимов резания и типов концевых фрез при обработке карманов детали. Карман имеет углы, при обработке которых фреза обхватывает их по некоторому радиусу, при этом значительно снижается линейное перемещение, что, предположительно, должно повлиять на изменение величины электропроводности в этих местах. Форма и размеры карманов были взяты максимально приближенными к карманам в реальных авиационных деталях.

Испытания проводились на 5-координатном обрабатывающем центре HSC75V linear в научно-исследовательской лаборатории ИРННТУ «Технологии высокопроизводительной механообработки, формообразования и упрочнения деталей машин».

В качестве исследуемого материала был выбран фрагмент горячекатаной плиты алюминиевого сплава В950чТ2. Химический состав и механические свойства данного сплава приведены в табл. 1 – 2.

Таблица 1

Химический состав алюминиевого сплава В950чТ2

Fe	Si	Mn	Ti	Al	Cu	Mg	Zn	Примеси
0,05 – 0,25	до 0,1	0,2 – 0,6	до 0,05	87,45 – 91,45	1,4 – 2	1,8 – 2,8	5 – 6,5	Прочие, каждая 0,05; всего 0,1

Таблица 2

Механические свойства алюминиевого сплава В950чТ2

δ_5 , %	σ_B , МПа	$\sigma_{0,2}$, МПа
10 – 12	510 – 540	450 – 480

Измерение электропроводности выполнялось прибором Sigmatest 2.069 в связке с программным обеспечением Sigmatest 2.069 Data Acquisition Program, которое позволяет измерять па-

раметр электропроводности в режиме сканирования, не отрывая датчик от детали. На рис. 1 представлены конфигурация и размеры обрабатываемых карманов для размера плиты 540×240×50.

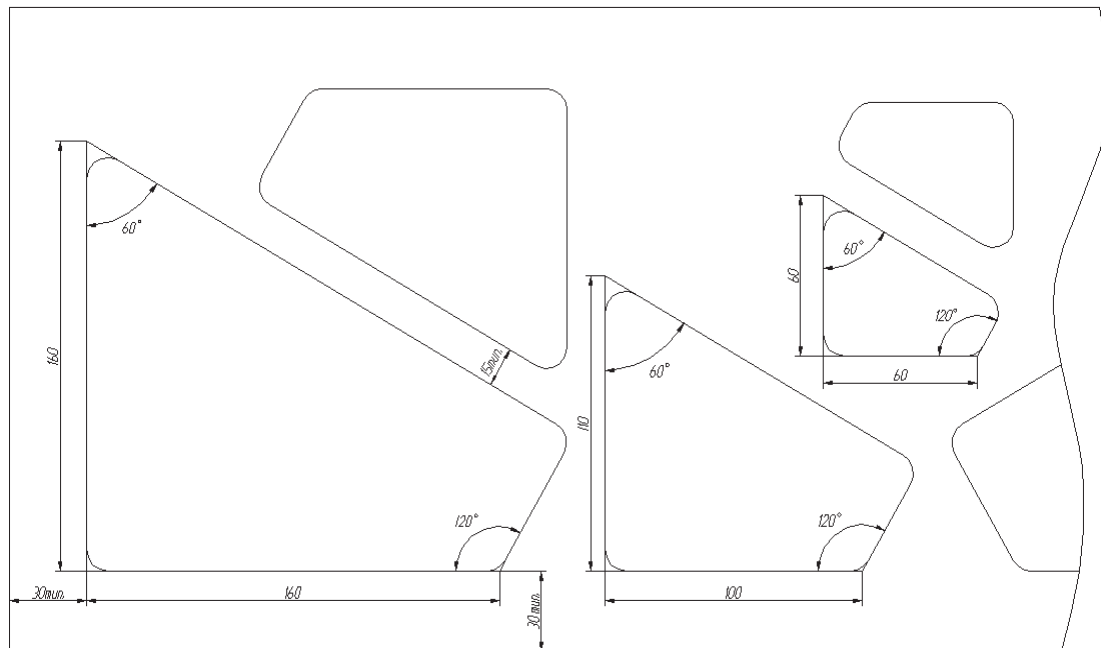


Рис. 1. Конфигурация и размеры обрабатываемых карманов

Для черновой обработки карманов в эксперименте были задействованы следующие типы фрез: концевая сборная фреза R790-040HA06S2-16M с пластиной R790-160440PH-NL H13A, концевая сборная фреза R790-025HA06S2-16L с пластиной R790-160440PH-NL H13A, цельнотвердосплавной двузубой фрезой диаметром 16 мм. Для чистовой обработки карманов производилась цельнотвердосплавной трёхзубой фрезой диаметром 16 мм. Для всех фрез охлаждение производилось сжатым воздухом. В ходе эксперимента проводились тесты с варьированием режимов резания в пределах, указанных в табл. 3.

Таблица 3

Диапазоны режимов резания

Фреза	D_c	z	V_c	a_e	a_p	n	f_z
R790-040HA06S2-16M	40	3	1000 – 3000	40	4	7957 – 23873	0,1 – 0,4
R790-025HA06S2-16L	25	2	1000 – 2150	25	4	12732 – 27374	0,1 – 0,4
Цельная двузубая	16	2	600 – 1400	16	3	11936 – 27852	0,1 – 0,3
Цельная трёхзубая	16	3	600 – 1400	0,5-1	15	11936 – 27852	0,1 – 0,16

Примечание: D_c – диаметр инструмента, мм; z – число зубьев инструмента; V_c – скорость резания, м/мин; a_e – ширина фрезерования, мм; a_p – глубина фрезерования, мм; n – число оборотов шпинделя, мин⁻¹; V_f – минутная подача, мм/мин; f_z – подача, мм/зуб; Q – объем снимаемой стружки, см³/мин

После обработки полученных результатов были построены графики зависимости удельной электрической проводимости от скорости резания и подачи на зуб [6]. Данные графики представлены на рис. 2 – 5.

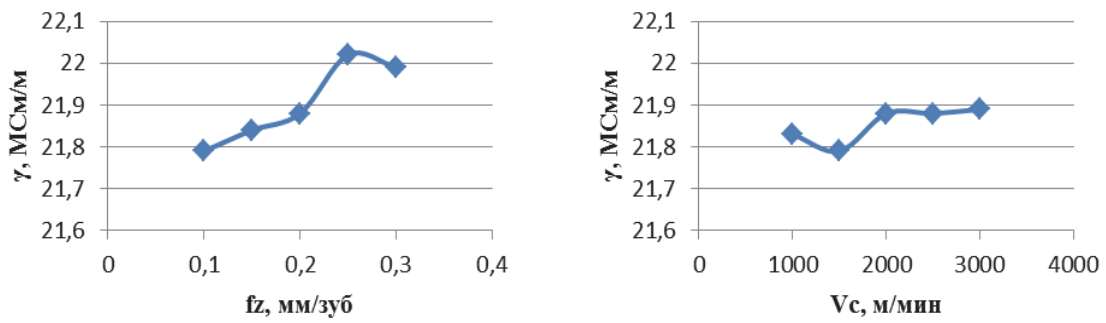


Рис. 2. Графики зависимости удельной электрической проводимости от подачи на зуб и скорости резания для фрезы R790-040HA06S2-16M

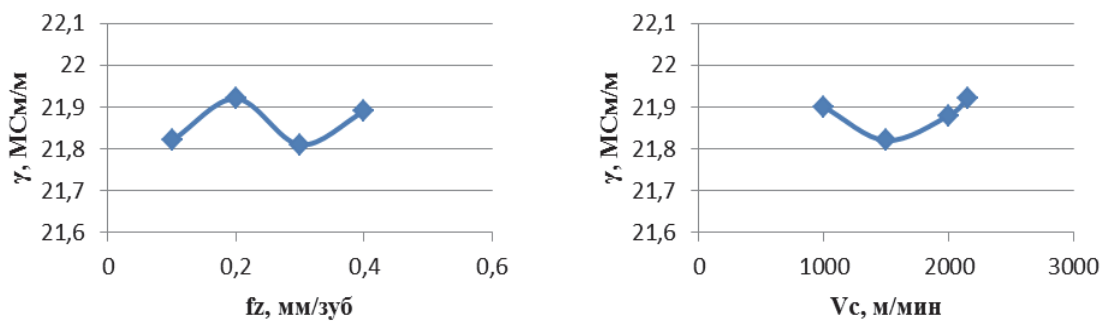


Рис. 3. Графики зависимости удельной электрической проводимости от подачи на зуб и скорости резания для фрезы R790-025HA06S2-16L

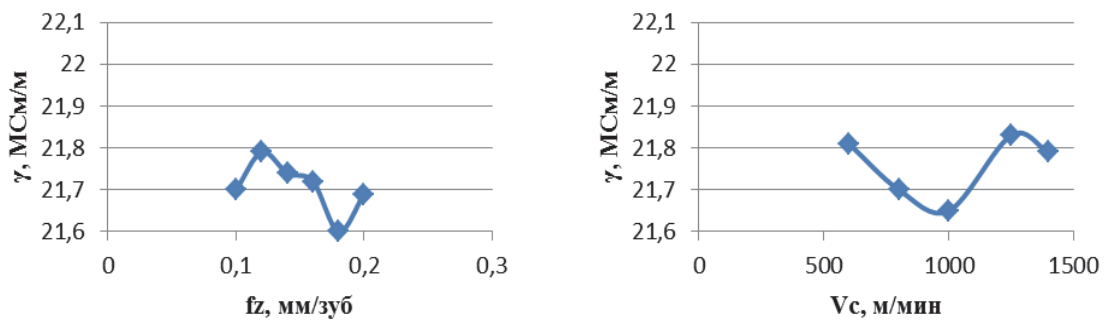


Рис. 4. Графики зависимости удельной электрической проводимости от подачи на зуб и скорости резания для цельнотвердосплавной двузубой фрезы диаметром 16 мм

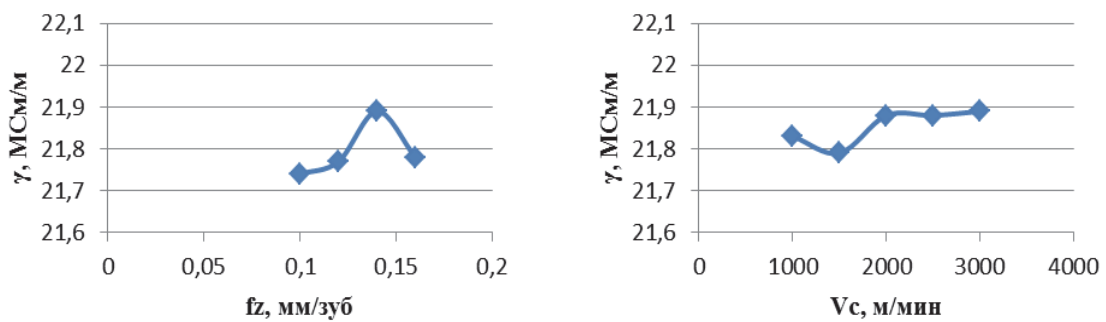


Рис. 5. Графики зависимости удельной электрической проводимости от подачи на зуб и скорости резания для цельнотвердосплавной двузубой фрезы диаметром 16 мм

Выводы

Анализ полученных зависимостей показывает, что изменения электропроводности незначительны во всех опытах и находятся в поле допуска отклонений удельной электрической проводимости для материала В95очТ2. Гипотеза об изменении электропроводности в местах обработки фрезой углов не подтвердилась, разброс значений электропроводности по всей траектории движения фрезы составил не более $\pm 3\%$. Замечено снижение электропроводности при обработке всеми типами фрез на скоростях резания, близких к 1000 – 1500 м/мин.

Возможно, что изменение электропроводности, обусловленное изменением режимов резания, сопоставимо с изменением электропроводности, обусловленным неоднородностью материалов и их механических свойств.

ЛИТЕРАТУРА

1. Маликов, В. Н. Дефектоскопия алюминий-магниевых сплавов методом вихревых токов / В. Н. Маликов, А. И. Зырянова // *Современные проблемы науки и образования*. – 2013. – № 6.
2. Пятых, А. С. Определение коэффициентов сил резания для моделирования процесса сверления / А. С. Пятых, А. В. Савилов // *Системы. Методы. Технологии*. – Братск, 2016. – № 2(30). – С. 69-73.
3. Пятых, А. С. Определение коэффициентов сил резания для моделирования процессов механообработки / А. С. Пятых, А. В. Савилов // *Известия Самарского научного центра Российской академии наук*. – 2015. – Т. 17. – № 2(1). – С. 211-216.
4. Савилов, А. В. Современные методы оптимизации высокопроизводительного фрезерования / А. В. Савилов, А. С. Пятых, С. А. Тимофеев // *Известия Самарского научного центра Российской академии наук*. – 2013. – Т. 15. – № 6(2). – С. 476-479.
5. Тимофеев, С. А. Зависимость электропроводности алюминиевых деталей от сил резания и температуры при высокопроизводительном фрезеровании / С. А. Тимофеев, А. В. Савилов // *Известия Самарского научного центра Российской академии наук*. – 2015. – Т. 17. – № 6(2). – С. 530-534.
6. Ahmadi, K. Modeling the mechanics and dynamics of arbitrary edge drills / K. Ahmadi, A. Savilov // *International Journal of Machine Tools and Manufacture*. – 2015. – Vol. 89. – P. 208-220.
7. Accuracy assessment of KUKA KR210 R2700 extra industrial robot / E. N. Semyonov, A. V. Sidorova, A. E. Pashkov, A. S. Belomestnykh // *International Journal of Engineering and Technology*. – 2015. – Vol. 16. – P. 19-25.