

УДК 621.452.3

В. Ф. МОЗГОВОЙ¹, А. Я. КАЧАН², В. А. ПАНАСЕНКО¹, М. К. БИРУК¹¹АО «Мотор Сич», Запорожье, Украина²Запорожский национальный технический университет, Запорожье, Украина

ОСОБЕННОСТИ ОБРАБОТКИ ПАНЕЛЕЙ ШУМОГЛУШЕНИЯ ИЗ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ НА СТАНКАХ С ЧПУ

Обобщен практический опыт сверления мелкоразмерных отверстий и фрезерования панелей шумоглушения авиационных двигателей, выполненных из композиционных материалов. Представлен специальный режущий инструмент заводской конструкции для обеспечения требований шероховатости поверхностей и достижения максимальной производительности. На основе подобранных режимов резания выполнен сравнительный анализ полученных результатов обработки с описанными в литературе другими известными методами формообразования деталей из композиционных материалов. Описаны пути сокращения машинного времени обработки при расчёте управляющих программ на станки с ЧПУ.

Ключевые слова: панель шумоглушения, авиационный двигатель, полимерный материал, износ, скорость резания, станок с ЧПУ, сверло, шероховатость, подача, фреза, отклонение, углепластик, эмульсия, инструмент, роутер, расслоение композиционного материала, подача на зуб, твердый сплав, быстрорежущая сталь.

Введение

В современных турбореактивных двигателях все более широкое применение находят новые конструкционные материалы, обладающие высокими эксплуатационными свойствами. К ним относят композиционные материалы на полимерной основе, армированные стеклянными, углеродными, органическими волокнами и тканями. Например, применение современных полимерных композиционных материалов (ПКМ) при изготовлении конструктивных элементов вертолетов позволяет снизить массу агрегатов на 20% и уменьшить трудоёмкость изготовления на 30–50%. При этом снижаются затраты на производство и эксплуатацию $\surd 1 \searrow$. Такие композиты как волокнистый углепластик на 70% легче конструкционной стали и на 40% – алюминиевого сплава, но не уступают им по эксплуатационным показателям $\surd 2 \searrow$.

Наряду с высокими физико-механическими, химическими и антифрикционными свойствами полимерные композиционные материалы обладают способностью гасить вибрации и шумы. Снижение шума авиационной техники на местности является актуальной задачей. Снижение излучаемого двигателем шума с помощью звукопоглощающих конструкций и панелей открывает возможность эксплуатации самолетов в различных регионах.

Звукопоглощающие конструкции панелей представляют собой сэндвичевые оболочки сложной

конфигурации. Оболочки состоят из двух термосклеенных между собой половинок. Они несут на себе большое количество мелкоразмерных отверстий диаметром 1,6–2 мм для поглощения шума. Звукопоглощающая панель имеет множество воздушных камер, препятствующих распространению звуковых волн. Мелкоразмерные отверстия, выполненные на финишных операциях обработки панелей, усиливают шумопоглощающий эффект.

К инструменту для механической обработки ПКМ предъявляются высокие и разнообразные требования. В процессе обработки этих материалов технологи сталкиваются с такими проблемами как расслоение материала, перегрев, образование заусенцев, абразивный износ режущего инструмента. Сверление отверстий диаметром до 3 мм связано с рядом трудностей, главной из которых считается поломка режущего инструмента $\surd 2 \searrow$, и кроме этого, обработка ПКМ осложняется рядом других проблем, которые можно свести к следующему:

- высокая твердость наполнителя и его абразивное воздействие на режущий инструмент;
- ярко выраженная анизотропия свойств обрабатываемого материала;
- относительная сложность получения высококачества поверхности из-за слоистой структуры материала;
- высокие упругие свойства композиционных материалов, что вызывает повышенный износ инструмента по задней поверхности;

– низкая теплопроводность композитов, что вызывает повышенный перегрев режущего инструмента и препятствует нормальному распределению теплового баланса при резании;

– возникающая деструкция полимерного связующего способствует адсорбционному износу инструмента;

– невозможность применения СОЖ для определённого класса полимерных материалов.

В связи с этим, получение деталей из ПКМ с заявленными конструкторскими требованиями и гарантированным качеством является актуальной задачей для современного авиационного производства.

1. Цель работы

Обобщение практического опыта обработки деталей из полимерных композиционных материалов на обрабатывающих центрах с ЧПУ с достижением требуемого качества и точности обработанных поверхностей.

2. Содержание и результаты работ

Панели шумоглушения представляют собой оболочки, которые конструктивно охватывают корпус двигателя, создавая шумозащитный барьер (рис. 1). Панели, собранные и закрепленные по внешнему диаметру корпуса двигателя, охватывают зоны, отличающиеся повышенным шумом. Детали выполнены из стеклотекстолита, имеющего в основе мелкоячеистую стеклоткань, что позволяет получать рельефные детали мелких размеров при прессовании.

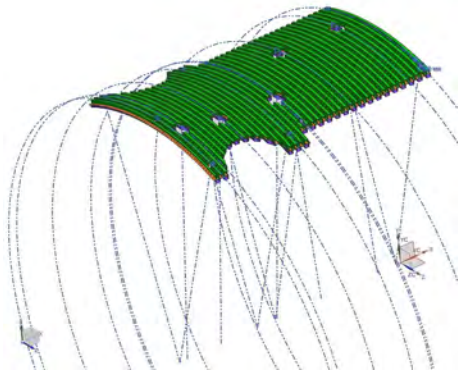


Рис. 1. Панель шумоглушения на корпусе двигателя

Конструктивно панели шумоглушения имеют прямую и обратную кривизну. Отверстия диаметром от 2,5 мм до 4 мм располагаются по нормали к криволинейной поверхности основания (как правило цилиндрической или конической формы) и выполнены с двух сторон деталей. Максимальное количество

отверстий в панели с прямой кривизной составляет 2500 единиц (рис. 2).

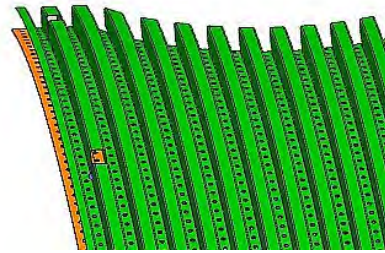


Рис. 2. Расположение отверстий в панели шумоглушения

Механическую обработку панелей шумоглушения в АО "Мотор Сич" выполняют на высокоскоростном 5-ти координатном обрабатывающем центре с ЧПУ KX-200 (HURON), оснащённом системой ЧПУ Sinumerik-840D. Станок имеет высокие технические характеристики (рис. 3).

1. Максимальные обороты – 18000 об/мин.
2. Точность станка по линейным осям X, Y, Z составляет 0,001 мм и по круговым осям 0,001°.

Кинематика станка позволяет обеспечить расположение осей мелкогабаритных отверстий по нормали к сложной поверхности панелей. На станке также выполняется фрезерование контура детали концевыми фрезами.



Рис. 3. 5-ти координатный обрабатывающий центр KX-200

Для сверления отверстий деталь устанавливают на приспособление и сверху прижимают плитой, имеющей координатную сетку отверстий, совпадающую с будущей координатной сеткой отверстий на детали (рис. 4). Прижимная плита создает дополнительную жесткость детали при закреплении и исключает деформирование заготовки во время обработки. Для панелей больших габаритов вместо плиты применялись обжимные резиновые ремни.

Ряд панелей конструктивно требуют сверления отверстий с двух сторон. Для этого панель после выполнения сверления с одной стороны переворачивали на другую сторону, устанавливали в другое приспособление и операция сверления продолжалась.

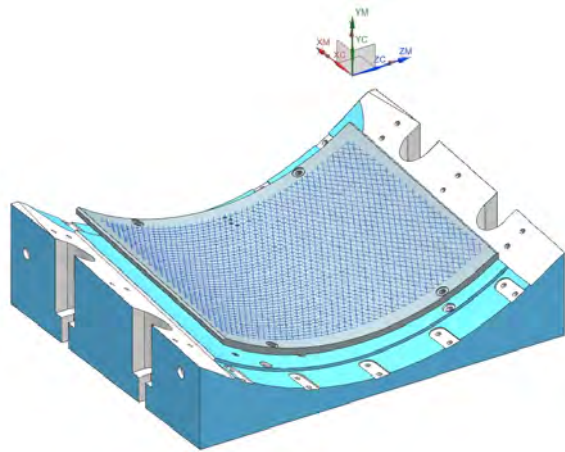


Рис. 4. Приспособление для крепления панели на станке

Как отмечено в работе [4], процесс сверления мелкоразмерных отверстий до 3 мм в деталях из ПКМ трудно поддается управлению. Обычный концевой инструмент из быстрорежущей стали и твердых сплавов быстро ломается. А после отработавшего инструмента на поверхности остаются заусенцы или наволакивание материала, которые приходится удалять вручную.

Мелкоразмерный режущий инструмент из быстрорежущей стали для обработки ПКМ малопригоден, в связи с преждевременным выкрашиванием режущих кромок и, как следствие – поломкой. Эта особенность связана с сильно развитой карбидной неравномерностью быстрорежущей стали [3]. Другим немаловажным фактором является пересечение отверстий со скрытыми ребрами жесткости детали. При пересечении во время рабочего хода происходит увод сверла, деформирование инструмента и, как правило, его поломка.

Часто происходит заклинивание сверла при обратном ходе от пружинения заготовки. В этом случае, как правило, также происходит поломка инструмента.

Универсальные сверла для обработки металлов имеют слишком большой угол при вершине, что негативно сказывается на процессе сверления. Режущие кромки сверла неспособны срезать волокна без образования заусенцев.

В качестве режущего инструмента для обработки ПКМ известные инструментальные фирмы предлагают большую номенклатуру цельнотвердосплавных сверл и фрез с мехкреплением. Так, компания Taegu Tec предлагает инструмент для обработки композитов. В нее вошли мелкоразмерные сверла с алмазным покрытием, фрезерные пластины из поликристаллического алмаза (PCD), концевые твердосплавные фрезы. Компания Hoffmann Group для обработки пластиков и композитных материалов

предлагает специальные инструментальные материалы, обладающие высокой устойчивостью к абразивному износу – кубический нитрид бора (КНБ) и поликристаллические алмазы (ПКД). Альтернативу им составляют твердосплавные инструменты с алмазным покрытием. Конструкция инструментов отличается наличием разнонаправленных зубьев – правой или левой спирали и специальной геометрии, препятствующей расслоению материала. Разнонаправленность спирали обеспечивает необходимое направление схода стружки при обработке.

Перечень фирм, предлагающих новый инструмент не исчерпывается упомянутыми. Предложения многих других фирм по режущему инструменту находят свою нишу в реальном массовом или крупносерийном производствах.

Основным препятствием для применения предлагаемого инструмента в серийном или мелкосерийном производствах является его цена и невозможность полного восстановления режущих свойств инструмента после самостоятельной переточки.

Для обработки деталей из ПКМ на АО "Мотор Сич" был разработан комплекс мероприятий по оптимизации сверления мелкоразмерных отверстий в сэндвичевых панелях, включающий разработку конструкции специального сверла и подбор оптимальных режимов резания (рис. 5).

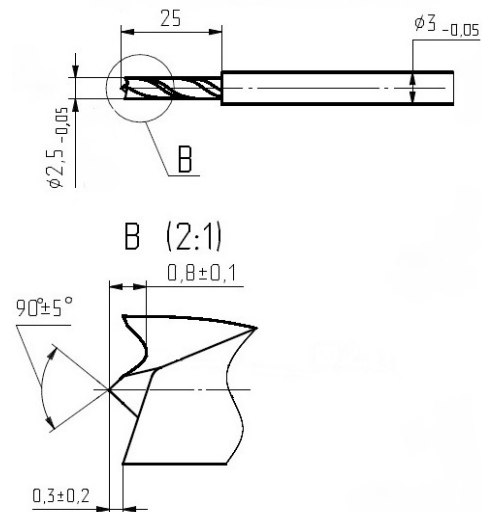


Рис. 5. Роутер диаметром 2,5 мм

За критерий технологической стойкости инструмента была принята ширина фаски износа инструмента по задней поверхности. Превышение износа свыше 0,35 мм ведет к ухудшению качества обработанной поверхности и росту мощности резания [4]. Это было положено в основу собственной конструкции роутера диаметром 2,5 мм.

Запроектированный роутер (см. рис. 5) для сверления отверстий диаметром 2,5 мм был изго-

товлен из твердого сплава H10F (SANDVIK) и альтернативного сплава DK-460UF. Инструмент изготавливался на 5-ти координатном заточном станке с ЧПУ GEMINI. Допуск осевого биения режущих кромок относительно оси хвостовика составлял не более 0,01 мм. Допуск радиального биения по ленточке относительно оси хвостовика – не более 0,01 мм. Учитывая то, что сверло работает с большими оборотами, инструмент был динамически отбалансирован до 0,5 г·мм.

Особенностью конструкции роутера является угол при вершине 90° и наличие по торцу инструмента режущих кромок, которые при вращении инструмента подрезают вытягивающиеся волокна стеклопластика. За счет этого удалось существенно уменьшить наволакивание материала при выходе инструмента из материала, что дало возможность значительно сократить долю ручного труда на слесарных операциях, а в некоторых случаях и вообще отказаться от них (рис. 6).

Режимы резания при обработке отверстий составили – $n=12000$ об/мин, $S_m=600$ мм/мин. Соответственно, скорость резания – $V=92$ м/мин. В отверстиях удалось добиться практически полного отсутствия заусенцев и наволакивания материала.

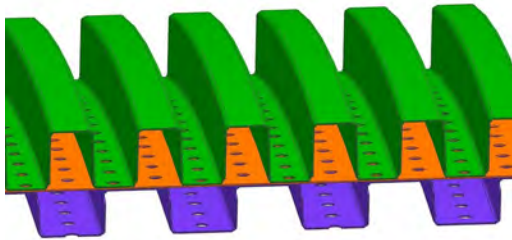


Рис. 6. Просверленные роутером отверстия в панели

Стойкость роутера составила около 120 мин. В процессе работы происходил естественный износ инструмента. Для восстановления режущих свойств проводилась переточка сверла.

Для сверления в стеклопластиковой панели отверстий большого диаметра были запроектированы и изготовлены специальные чашечные зенкеры. Диаметр рабочей части инструмента соответствовал диаметру обрабатываемого отверстия в панели. Были изготовлены шесть градаций зенкеров на диаметры 12, 32,5, 34,5, 42,5, 46, 177,6 мм (рис. 7). Зенкер с рабочим диаметром 177,6 мм был изготовлен сборным. За один рабочий ход зенкера получалось одно отверстие в детали. В качестве отходов материала выходил вырезанный круг стеклопластиковой панели. Инструмент был выполнен из быстрорежущей стали P12M3ФЗК10-МП с последующей закалкой до 68...70 HRC. Допуск осевого биения режущих кро-

мок относительно оси хвостовика составлял не более 0,02 мм. Допуск радиального биения относительно оси хвостовика – не более 0,01 мм.

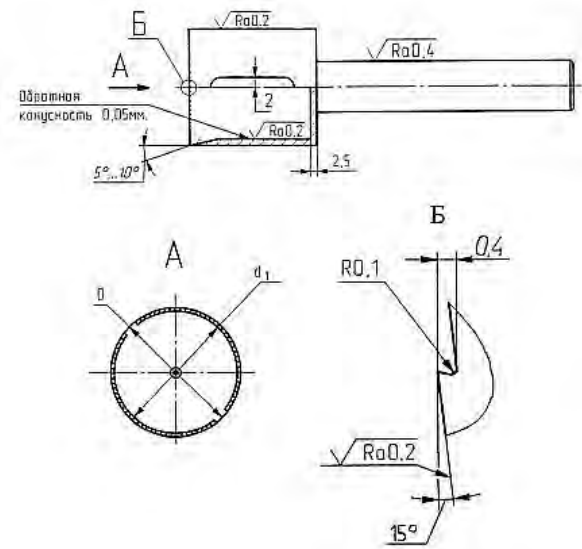


Рис. 7. Чашечный зенкер для обработки отверстий среднего и большого диаметра

Чашечный зенкер во время работы совершает вертикальные движения по оси "Z" станка так, что за один ход формируется готовое отверстие. Режимы резания при обработке чашечным зенкером составили: $n=10000$ об/мин, $S_m=800$ мм/мин. Соответственно, средняя скорость резания составила $V=690$ м/мин. Конструкция зенкера позволяет производить переточку инструмента на заточных станках с полным восстановлением режущих свойств инструмента.

Одним из широко применяемых методов механической обработки композиционных материалов является фрезерование. Фрезерованием формируют внешний контур панелей для обеспечения их взаимной собираемости на двигателе, выполняют различного рода поднутрения и пазы. Как отмечено в работе [2], фрезерование полимерных композиционных материалов рекомендуется выполнять фрезами из твердого сплава ВК8. При этом, инструмент должен отвечать следующим критериям:

- передний угол – $\gamma=20-25^\circ$, задний – $\alpha=10-12^\circ$;
- подача на зуб – $S_z=0,15-0,17$ мм/зуб;
- глубина резания – $t=0,5-0,6$ мм.

Исследованиями также установлено, что неоправданное увеличение подачи S_z и глубины резания t приводит к резкому снижению работоспособности режущего инструмента, даже оснащенного твердым сплавом ВК8 [2]. При увеличении S_z и t начинается интенсивное расслоение композиционного материала, разрушается связка, и волокна упрочнителя вырываются с поверхности под действие сил реза-

ния. Это ведёт к наволакиванию материала и ухудшению качества обработанной поверхности.

Инструментальные фирмы наряду с фрезами с режущими кромками из поликристаллических алмазов предлагают твердосплавные фрезы с алмазным покрытием. Скорости резания при этом рекомендуются в диапазоне от 150 до 350 м/мин, подача – от 0,06 до 0,1 мм/зуб $\angle 5^\circ$. Особенностью предлагаемых фрез является специальная вогнутая форма режущей кромки, препятствующая расслоению материала.

Для решения задачи по подрезке торцов панелей шумоглушения и выполнению фрезерных переходов на АО "Мотор Сич" была запроектирована и изготовлена цельнотвердосплавная концевая фреза (рис. 8).

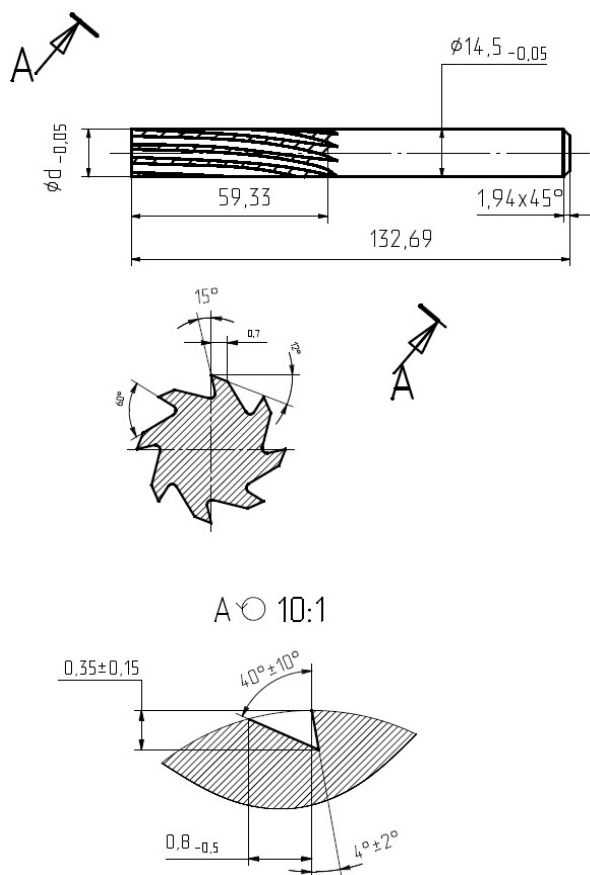


Рис. 8. Цельнотвердосплавная фреза для подрезки панелей шумоглушения

Режимы резания при фрезеровании панелей составили $V_{рез}=175$ м/мин, $n=8000$ об/мин, $S_m=1075$ мм/мин, подача при врезании составила $S_m=540$ мм/мин. Испытания показали, что по сравнению с технически обоснованными режимами резания для фрез инструментальных фирм, заводские режимы резания находились в рекомендуемом диапазоне и

отвечали требованиям по точности и шероховатости обрабатываемых поверхностей. Обработка проводилась без применения рабочей охлаждающей жидкости.

В процессе дальнейшей эксплуатации оборудования и обработки деталей, выполненных из полимерных материалов, в том числе и из стеклопластика, подтвердился правильный выбор решения производственной задачи.

Заключение

Достигнутые результаты могут быть использованы в практической работе технологами-программистами при изготовлении деталей из композиционных материалов. Накопленный опыт расширит область применения таких материалов, позволит повысить производительность обработки и качество выпускаемой продукции

Литература

1. Дорошенко, Н. И. Эволюция материалов для лопастей вертолётов [Текст] / Н. И. Дорошенко, Л. В. Чурсова // *Авиационные материалы и технологии*. – 2012. – № 2. – С. 16–18.
2. Особенности фрезерования полимерных композиционных материалов [Текст] / А. С. Янюшкин и др. // *Системы. Методы. Технологии*. – 2013. – № 2(18). – С. 88–90.
3. Дударев, А. С. Способы исключения разрушения мелкогабаритного режущего инструмента при сверлении отверстий в многослойных сэндвичевых конструкциях из полимерных композиционных материалов [Текст] / А. С. Дударев, В. И. Свиричев // *Изв. ТулГУ. Технические науки*. – 2012. – № 5. – С. 66–74.
4. Холмогорцев, Ю. П. Оптимизация процессов обработки отверстий [Текст] / Ю. П. Холмогорцев. – М.: Машиностроение, 1984. – 184 с.
5. Режущий инструмент GARANT для обработки композитных материалов [Текст] // *Композитный мир*. – 2016. – № 2. – С. 54–55.

References

1. Dorochenko, N. I., Chursova, L. V. Evoljucija materialov dlja lopastej vertoljotov [Evolution materials for blades of helicopters]. *Aviacionnye materialy i tehnologii*, 2012, vol. 2, pp. 16–18.
2. Janjushkin, A. S. Osobennosti frezerovaniya polimernyh kompozicionnyh materialov [Features milling of polymeric composite materials]. *Sistemy. Metody. Tehnologii*, 2013, no. 2 (18), pp. 88–90.
3. Dudarev, A. S., Svirshchev, V. I. Sposoby iskljuchenija razrushenija melkorazmernogo rezhushhego instrumenta pri sverlenii otvorstij v mnogoslajnyh sjendvicevyh konstrukcijah iz polimernyh kom-

pozicionnyh materialov [Ways exception of destruction fine-grain cutting tool at drilling of apertures in multi-layered sandwich designs and polymeric composite materials]. *Izvestija TulGU. Tehnicheskie nauki*, 2012, no.5, pp. 66–74.

4. Holmogorsev, J. P. *Optimizacija processov obrabotki otverstij* [Optimization of processes machin-

ing of holes]. Moscow, Mashinostroenie Publ., 1984. 184 p.

5. Rezhushhij instrument GARANT dlja obrabotki kompozitnyh materialov [Cutting tools GARANT for processing composit materials]. *Kompozitnyj mir*, 2016, no. 2, pp. 54–55.

Поступила в редакцию 15.05.2017, рассмотрена на редколлегии 9.06.2017

Рецензент: д-р техн. наук, проф., директор Л. И. Ивченко, Машиностроительный институт Запорожского национального технического университета, Запорожье.

ОСОБЛИВОСТІ ОБРОБКИ ПАНЕЛЕЙ ШУМОГЛУШІННЯ ІЗ КОМПОЗИЦІЙНИХ МАТЕРІАЛІВ НА ВЕРСТАТАХ З ЧПК

В. Ф. Мозговой, О. Я. Качан, В. О. Панасенко, М. К. Бірук

Узагальнено практичний досвід свердління дрібнорозмірних отворів та фрезерування панелей шумоглушіння авіаційних двигунів, виконаних з композиційних матеріалів. Представлено спеціальний ріжучий інструмент заводської конструкції для забезпечення вимог шорсткості поверхонь та досягнення максимальної продуктивності. На основі підібраних режимів різання зроблено зрівнювальний аналіз отриманих результатів обробки з описаними в літературі іншими відомими методами формоутворення деталей із композиційних матеріалів. Описані шляхи скорочення машинного часу при розрахунку керуючих програм на верстатах з ЧПК.

Ключові слова: панель шумоглушіння, авіаційний двигун, полімерний матеріал, зношування, швидкість різання, верстат з ЧПК, фреза, свердло, шорсткість, подача, відхилення, вуглепластик, емульсія, інструмент, роутер, розшарування композиційного матеріалу, подача на зуб, твердий сплав, швидкоріжуча сталь.

FEATURES OF PROCESSING PANELS SOUND-SUPPRESSING FROM COMPOSITE MATERIALS ON MACHINES CNC

V. F. Mozgovoj, A. Y. Kashan, V. A. Panasenko, M. K. Birykh

Practical experience of the decision of a technological problem of drilling fine-grain holes and milling of panels sound-suppressing the aviation engines executed from composite materials is presented. Experience of application of the special cutting tool of own design for maintenance of requirements of a roughness of surfaces and achievement of the maximum productivity is considered. On the basis of the picked up modes of cutting the comparative analysis of the received results of processing with other known methods described in the literature shaping details from composite materials is made. Consider a ways reduction time of machine processing are described at calculation of operating programs on CNC machines.

Keywords: the panel sound-suppressing, the aviation engine, a polymeric material, deterioration, speed of cutting, the machine CNC, a mill, a drill, a roughness, giving, a mill, a deviation, coal plastic, emulsion, the tool, a router, stratification of a composite material, giving on tooth, a firm alloy, a fast-cutting steel.

Мозговой Владимир Фёдорович – канд. техн. наук, главный технолог АО “Мотор Сич”, Запорожье, Украина, e-mail: ugt@motorsich.com.

Качан Алексей Яковлевич – д-р техн. наук, проф., зав. кафедрой ЗНТУ, ЗНТУ, Запорожье, Украина, e-mail: ugt@motorsich.com.

Панасенко Валерий Александрович – начальник отдела программирования станков с ЧПУ УГТ АО “Мотор Сич”, Запорожье, Украина, e-mail: ugt@motorsich.com.

Бірук Михайл Карпович – інженер-программіст УГТ АО “Мотор Сич”, Запорожье, Украина, e-mail: ugt@motorsich.com.

Mozgovoy Vladimir Fedorovich – Candidate of Technical Science, Chief Process Tehnology JSC "Motor Sich", Zaporozhie, Ukraine, e-mail: ugt@motorsich.com.

Kachan Alexey Yakovlevich – Doctor of Technical Science, professor of Dept. of ZNTU, ZNTU, Zaporozhie, Ukraine, e-mail: ugt@motorsich.com

Panasenko Valerij Aleksandrovich – Chief of Department CNC Machines JSC "Motor Sich", Zaporozhie, Ukraine, e-mail: ugt@motorsich.com.

Biruk Mikhaylo Karpovich – engineer-programmer, JSC "Motor Sich", Zaporozhie, Ukraine, e-mail: ugt@motorsich.com.