

УДК 621.914.1

Д-р техн. наук Ю. Н. Внуков¹, А. И. Гермашев¹, канд. техн. наук В. Ф. Мозговой²,
канд. техн. наук К. Б. Балушок², канд. техн. наук Э. В. Кондратюк³

¹ Запорожский национальный технический университет, ² ОАО «Мотор Сич»,

³ ГП «Ивченко Прогресс»; г. Запорожье

ОПРОБОВАНИЕ УСОВЕРШЕНСТВОВАННОЙ ТЕХНОЛОГИИ ПОДГОТОВКИ И НАНЕСЕНИЯ ДЕМПФИРУЮЩЕЙ СРЕДЫ НА МОНОКОЛЕСА ГТД ПРИ КОНЦЕВОМ ФРЕЗЕРОВАНИИ

В данной статье описана улучшенная технология подготовки и нанесения демпфирующей среды, применяемой на АО «Мотор Сич» для финишного фрезерования моноколес ГТД. Показаны предварительные результаты использования разработанной технологии при фрезеровании осевого моноколеса ГТД.

Ключевые слова: демпфирующая среда, тонкостенная деталь, моноколесо ГТД, фрезерование, обработанная поверхность.

В авиационной отрасли значительной проблемой при финишном фрезеровании тонкостенных элементов деталей (например, лопаток осевых и центробежных моноколес) является возбуждение вибраций, которые снижают качество обработанной поверхности, стойкость инструмента и ведут к преждевременному изнашиванию шпиндельных узлов станка. Одним из эффективных технологических приемов гашения вибраций, который уже хорошо зарекомендовал себя в производстве, является применение демпфирующих сред (заполняющих межлопаточное пространство моноколес) во время полустойковой и чистовой обработки. Использование подобных вспомогательных материалов для обработки тонкостенных деталей является новым и недостаточно изученным направлением. В связи с этим предприятия отрасли используют различные составы материалов-заполнителей. На данный момент не существует единого общепризнанного состава демпфирующей среды, который обеспечивал бы оптимальные параметры при обработке.

Для выявления возможностей повышения качества, размерной точности моноколес ГТД, изготавливаемых на АО «Мотор Сич», были проведены совместные с ЗНТУ исследования. Работы проводили на стенде для исследования вязкоупругих демпфирующих сред, применяемых для финишного фрезерования лопаток моноколес ГТД [1]. Для сравнения были выбраны составы демпфирующих сред, которые применяются на трех авиадвигателестроительных предприятиях: АО «Мотор Сич», ГП ЗМКБ «Ивченко Прогресс» и смесь «Rigidax», которую использует компания «Rolls Roys».

В ходе проведения сравнительных исследований была установлена возможность существенного улучшения качества поверхности и размерной точности путем изменения технологии подготовки и заполнения межлопаточного пространства демпфирующей средой, которая применяется на АО «Мотор Сич» для финишного фрезерования моноколес ГТД. Предлагаемая технология подготовки и заполнения в межлопаточное пространство среды позволяет максимально использовать ее достоинства и свести к минимуму недостатки.

Демпфирующая среда, применяемая на АО «Мотор Сич», является термопластичной, то есть при повышении температуры она переходит из твердого (при комнатной температуре) в высокопластичное и далее – в вязкотекучее состояние, что обеспечивает возможность ее формирования при заполнении различными методами. Эти переходы обратимы и могут повторяться многократно, что позволяет производить переработку и повторное использование среды.

В настоящее время заполнение демпфирующей среды в межлопаточное пространство осуществляется при ее пластичном состоянии. Рабочий вручную заполняет пространство отдельными небольшими пластичными объемами среды. Далее следует процесс ее охлаждения. Когда среда приобретает твердое состояние, начинается обработка моноколеса. При таком варианте заполнения демпфирующей среды конечная ее структура состоит из множества скрепленных между собой фрагментов (рис. 1, а). На границах соединения между этими фрагментами имеются несплошности (рис. 2, а), которые ухудшают прочностные характеристики среды.

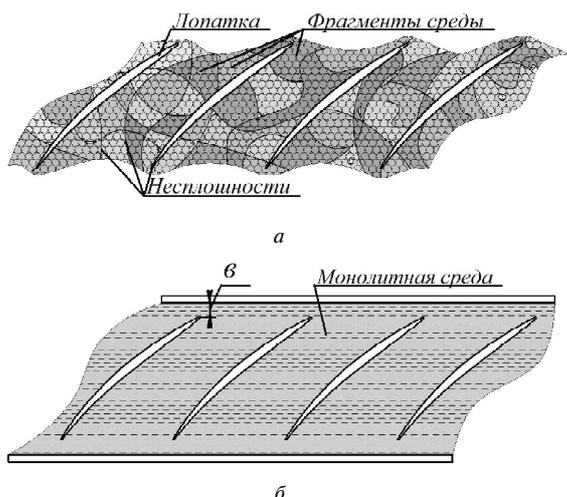


Рис. 1. Схема заполнения межлопаточного пространства демпфирующей средой:
 а – заполнение пластичных фрагментов вручную;
 б – заливка вязкотекучей средой в форму

Предлагается альтернативная технология подготовки среды, которая заключается в ее нагреве до вязкотекучего состояния. В этом случае демпфирующая среда заливается в межлопаточный канал и после процесса полимеризации образует монолитную структуру (рис. 1, б). Это существенно улучшает ее прочностные характеристики (рис. 2, б).

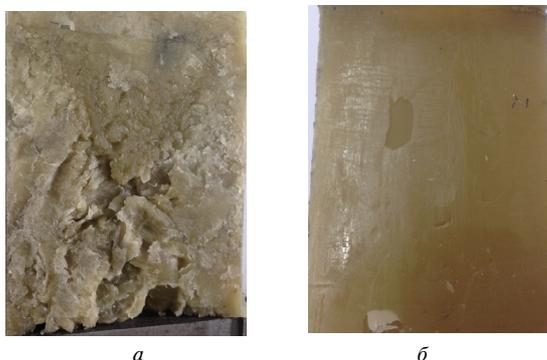


Рис. 2. Макроструктура демпфирующей среды в межлопаточном пространстве: а – заполнение пластичных фрагментов среды вручную, б – заливка вязкотекучей среды

Важной особенностью альтернативной технологии заполнения межлопаточного канала является заливка демпфирующей среды с увеличенными границами относительно габаритных размеров детали. Заполняется не только межлопаточное, но и боковое пространство. Таким образом, лопатка полностью окружена материалом демпфирующей среды, который должен превышать боковые границы детали (входную и выходную кромку) на определенное значение – v (рис. 1, б). Величина этого превышения зависит от уровня статической жесткости обрабатываемых лопаток. При такой технологии заполнения меж-

лопаточных каналов весь материал среды неразрывно связан друг с другом и образует единый подпорный каркас, который окружает и армирует деталь во время обработки. Новый подход изменяет принцип работы демпфирующей среды, по сравнению с ныне применяемым. При использовании заводской технологии среда выступает в качестве только демпфирующей прокладки между лопатками (рис. 1, а). При технологии заливки демпфирующая среда жестко фиксирует каждую лопатку до того момента пока она не будет полностью обработана. При этом устраняется главный недостаток демпфирующей среды – плохое сцепление с материалом лопатки. Реализация технологии применения демпфирующей среды путем заливки предполагает заполнение моноколеса демпфирующей средой вне станка, что способствует снижению времени его простоя.

После проведения исследований на экспериментальном стенде [1] данная технология была апробирована в производственных условиях АО «Мотор Сич» при фрезеровании пера лопатки колеса вентилятора первой ступени двухконтурного газотурбинного двигателя АИ-222-25. Предварительные исследования показали, что использование технологии заливки демпфирующей среды до 2 и более раз увеличивает жесткость системы, по сравнению с заводской технологией. Поэтому, при использовании на производстве концевых фрез с большим вылетом ($l = 195$ мм), необходимо было проверить условия влияния среды на точность прохождения инструмента по заданной траектории движения. В связи с этим была выбрана полуставовая операция, так как на данном этапе обработки моноколеса отклонение инструмента от траектории не влечет за собой появления неисправимого брака.

Для проведения исследования один сектор моноколеса был заполнен по предложенной технологии заливки среды, а другой – по традиционной технологии заполнения вручную, применяемой АО «Мотор Сич» (рис. 3).



Рис. 3. Обработка первого уровня пера лопатки моноколеса ГТД при заполнении межлопаточного канала по технологии заливки

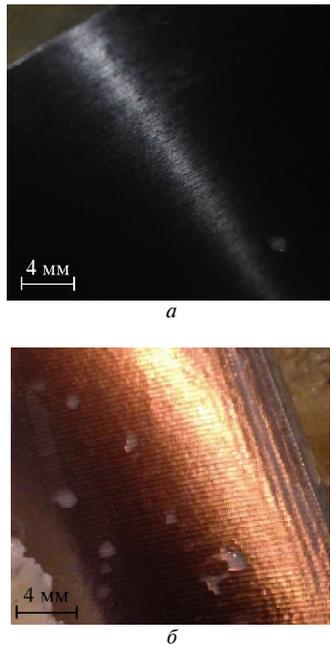


Рис. 4. Внешний вид обработанной поверхности: *а* – при использовании технологии заливки демпфирующей среды, *б* – при использовании заводской технологии заполнения среды вручную

Использование альтернативной технологии подготовки и заливки среды при получистовой обработке первого уровня пера лопатки моноколеса ГТД привело к значительному улучшению качества обработанной поверхности (рис. 4, *а*). Необходимо отметить, что данная обработка велась на максимальном вылете лопатки, где ее жесткость наименьшая. Внешний вид обработан-

ной поверхности (рис. 4, *а*) свидетельствует о резании без вибраций. Обработанная поверхность, полученная после фрезерования с использованием заводской технологии, имеет волнистый характер, подтверждая присутствие вибраций (рис. 4, *б*). Следов зарезов на обработанной поверхности не обнаружено. То есть увеличение жесткости системы в результате заливки среды не вызывает недопустимых отгибов инструмента.

Результаты первоначальных испытаний свидетельствуют о перспективности использования альтернативной технологии заливки демпфирующей среды, которая применяется на АО «Мотор Сич» для фрезерования лопаток моноколес ГТД. Реализация предлагаемой технологии позволит увеличить эффективность обработки путем снижения времени на получистовых операциях и улучшить качество и размерную точность на чистовых. Выполнение поставленных задач требует комплексного решения, как в корректировке режимов резания, так и программы обработки детали.

Список литературы

1. Пат. UA 88683 МПК (2006) F16F15/00; G01M7/02, Стенд для дослідження в'язкопружних демпфуючих середовищ, призначених для фінішного фрезерування лопаток моноколес ГТД / Гермашев А. І., Логомінов В. О., Кондратюк Е. В., Мозговий В. Ф., Козлова О. Б.; заявник та патентовласник Запорізький національний технічний університет. — u201312754; заявл. 01.11.2013; опубл. 25.03.2014.

Поступила в редакцию 04.06.2015

Внуков Ю.М., Гермашев А.І., Мозговий В.Ф., Балушок К.Б., Кондратюк Е.В. Оп-робування вдосконаленої технології підготовки та нанесення демпфуючого середовища на моноколеса ГТД при кінцевому фрезеруванні

У даній статті описана вдосконалена технологія підготовки та нанесення демпфуючого середовища, яке застосовується АТ «Мотор Січ» для фінішного фрезерування моноколес ГТД. Показані попередні результати використання розробленої технології при фрезеруванні осьового моноколеса ГТД.

Ключові слова: демпфуюче середовище, тонкостінна деталь, моноколесо ГТД, фрезерування, оброблена поверхня.

Vnukov Yu., Germashev A., Mozgovi V., Balushok K., Kondratuk E. Improved technology application of filler material utilization for end milling of the blisks and impellers

This article show improved technology application of filler material, which use MOTOR SICH JSC for finish milling of the blisks and impellers. The milling tests of the blisk on five-access machine are also presented.

Key words: fixturing filling material, thin-walled detail, milling, blisks, impellers, surface finish.