

УДК 621.452.3:539.3

Д-р техн. наук А. Я. Качан, С. А. Уланов*Запорожский национальный технический университет, г. Запорожье*

КОНТАКТНЫЕ ТЕМПЕРАТУРЫ ПРИ ШЛИФОВАНИИ ДЕТАЛЕЙ ГТД И ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОБЛАСТИ БЕСПРИЖОГОВОЙ ОБРАБОТКИ

В работе представлены результаты экспериментальных исследований контактной температуры в зоне шлифования деталей ГТД различными технологическими методами. Установлено, что наиболее теплонапряженным процессом является электроалмазное шлифование титановых сплавов, где в зоне обработки наблюдаются высокие значения контактной температуры. Определено, что при контактной температуре, равной 700°С, на поверхности деталей из титановых сплавов прижоги не наблюдаются. Определена бесприжоговая область режимных параметров и условий электроалмазного шлифования деталей ГТД из титановых сплавов.

Ключевые слова: детали ГТД, контактная температура, бесприжоговая обработка, полусинтетическая микротермопара, режимные параметры, электроалмазное шлифование, ленточное шлифование.

Наиболее распространенным методом окончательной обработки деталей является шлифование, обеспечивающее высокую точность их изготовления [1]. При шлифовании деталей на качество их поверхностного слоя влияет контактное взаимодействие в системе абразивное зерно – деталь – рабочая среда и температурно-силовые условия.

Поэтому для повышения качества поверхностного слоя деталей после шлифования необходимо экспериментально исследовать тепловые явления, возникающие в зоне обработки, особенно контактные температуры, которые достигают высоких значений. С высокими контактными температурами связано появление в поверхностном слое прижога (изменение структуры), растягивающих напряжений и трещин [1, 2].

Цель работы – экспериментальное исследование контактной температуры при шлифовании деталей ГТД и определение области бесприжоговой обработки.

Измерение контактных температур при шлифовании полусинтетической термопарой

Контактная температура в зоне шлифования детали определяет качество поверхностного слоя, в особенности для титановых сплавов, которые склонны к образованию прижогов. Поэтому величина контактной температуры является одним из основных факторов при назначении режимных параметров и условий шлифования.

При исследовании применялись образцы из материалов (ВТЗ-1; ВТ-8, ЭИ 598, ЭП718-ИД) в виде двух прямоугольных пластин.

В пластине 1, толщина которой равнялась 4 мм,

выполнялся паз 15×15 мм с глубиной 0,55 мм, а пластина 2 имела толщину 0,5 мм и размеры указанного паза.

В качестве термоэлектрода 3 использовалась константановая проволока диаметром 0,02–0,03 мм, которая методом прессования утонялась до 0,005–0,007 мм.

Полученный проволоочный электрод укладывался между двумя слюдяными прокладками 4 и 5 толщиной 0,088–0,01 мм и закреплялся клеем типа БФ.

К электроду 3 припаивался удлинитель из манганиновой проволоки диаметром 0,3 мм и длиной 200 мм.

Пластины 1 и 2 соединялись между собой контактной сваркой.

При шлифовании пластин создавался надежный контакт между электродами микротермопары (горячий спай), на которой фиксировали контактную температуру (рис. 1) [3].

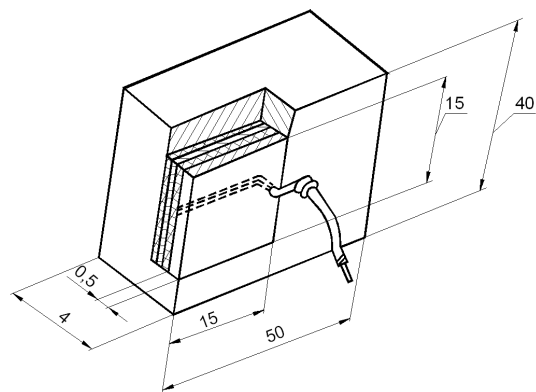


Рис. 1. Экспериментальный образец с микротермопарой

Осциллограммы контактных температур в зоне шлифования труднообрабатываемых материалов различными технологическими методами

Осциллограмма контактной температуры в зоне шлифования титановых сплавов алмазным кругом имеет крутую восходящую ветвь теплового импульса с большим значением максимальной контактной температуры, достигающей величины 800...1000 °С (рис. 2) [4, 5].

Крутая характеристика подъема контактной температуры до указанной максимальной ее величины в тепловом импульсе является следствием активного врезания на большую глубину алмазных зерен в тело образца.

Ниспадающая ветвь кривой контактной температуры более пологая. Снижение контактной температуры происходит до температуры образца, которую он приобретает в результате последовательного воздействия тепловых импульсов, возникающих в зоне шлифования, в процессе обработки.

Поэтому алмазное шлифование титановых сплавов является теплонапряженным процессом с высокими значениями контактной температуры в поверхностном слое обрабатываемой детали, что обуславливает необходимость определения рационального диапазона режимных параметров и технологических условий шлифования, обеспечивающих высокие параметры качества поверхностного слоя.

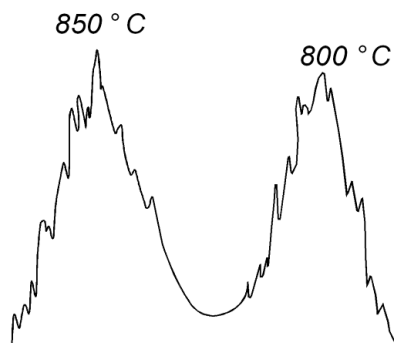


Рис. 2. Осциллограмма контактной температуры в зоне шлифования титановых сплавов алмазным кругом

При ленточном шлифовании с эластичным контактным роликом осциллограмма контактной температуры отличается от предыдущей осциллограммы алмазного шлифования, где контакт между алмазным кругом и обрабатываемой деталью более жесткий.

На осциллограмме теплового импульса нарастающая ветвь более растянута во времени, причем на этой ветви наблюдается большое количество последовательных скачков с различным амплитудным значением, что свидетельствует о большом количестве абразивных зерен, взаимодействующих с термопарой (рис. 3).

Ниспадающая ветвь теплового импульса также более растянута по времени и имеет участки с последовательно чередующимися тепловыми импульсами меньшей интенсивности чем основной, которые также фиксирует термопара.

При этом в зоне шлифования увеличивается количество тепловых импульсов, но интенсивность их снижается до максимальных значений контактной температуры от 250 до 300 °С.

Максимальная величина контактной температуры значительно ниже максимальной величины контактной температуры, возникающей при шлифовании алмазным кругом, что благоприятней сказывается на теплонапряженности поверхностного слоя обрабатываемой детали.

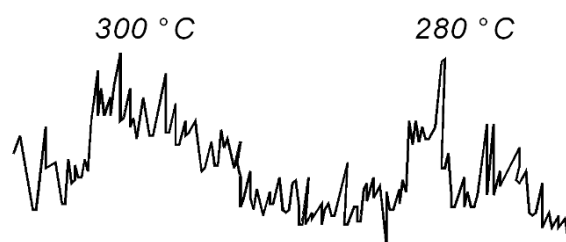


Рис. 3. Осциллограмма контактной температуры в зоне ленточного шлифования титановых сплавов эластичным контактным роликом

Характерной особенностью ленточного шлифования корневых участков пера лопаток по методу непосредственного копирования является то, что шлифование производится с постоянным и жестким контактом ленты с одним и тем же участком обрабатываемой поверхности лопатки.

Поэтому, при этом методе шлифования возможно повышение температуры в зоне резания, а сам процесс является более теплонапряженным.

Осциллограммы контактных температур имеют импульсный характер. Значения величин контактной температуры равны 375...500 °С при шлифовании без охлаждения и 30...50 °С при шлифовании с охлаждением.

Независимо от способа охлаждения зоны шлифования контактная температура практически линейно зависит от давления в зоне обработки в большом диапазоне скоростей шлифовальной ленты (рис. 4) [6].

При резком переходе от шлифования без охлаждения к шлифованию с охлаждением зоны обработки контактная температура практически мгновенно снижается. При этом некоторое мгновение наблюдается переходный процесс изменения амплитуды контактной температуры, а затем она стабилизируется в диапазоне 30...50 °С и практически остается постоянной (рис. 5), что свидетельствует о снижении и стабилизации величины потребной мощности шлифования.

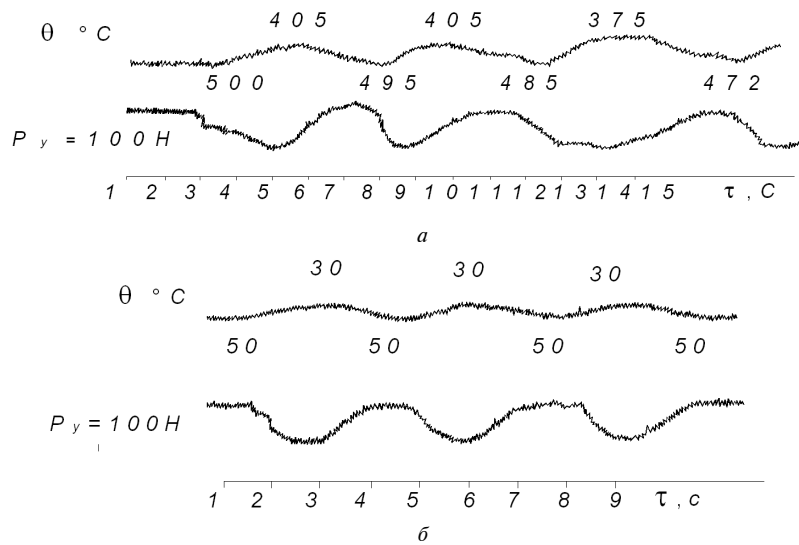


Рис. 4. Осциллограммы изменения контактной температуры в зоне ленточного шлифования методом непосредственного копирования при изменении давления поджима:
 а – без охлаждения; абразивная лента 51С40; $V = 14$ м/с; б – охлаждение СОЖ ОР-18; абразивная лента 51С40; $V = 8$ м/с; обрабатываемый материал – сплав ВТЗ-1

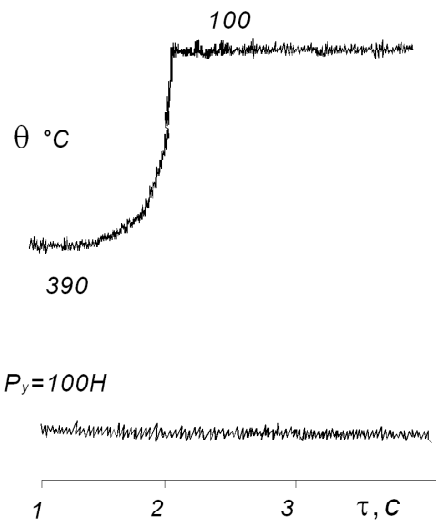


Рис. 5. Осциллограммы изменения контактной температуры в зоне ленточного шлифования методом непосредственного копирования в момент перехода от обработки без охлаждения к обработке с охлаждением абразивная лента 51С40; $V = 8$ м/с; СОЖ ОР-18; обрабатываемый материал – сплав ВТЗ-1

Следовательно, наряду с режимными параметрами, охлаждение зоны обработки для данного способа шлифования является важным фактором снижения теплонапряженности поверхностного слоя обрабатываемой лопатки.

При скруглении кромок пера лопаток ленточным шлифованием каждый участок обрабатываемой поверхности кромки периодически контактирует с режущей поверхностью шлифовальной ленты.

Осциллограммы контактных температур в зоне обработки кромок пера лопаток свободной

ветвью шлифовальной ленты имеют также периодический характер с ярко выраженными нарастающей и ниспадающей ветвями. Увеличение температуры следует мгновенно по нарастающей ветви с ярко выраженным максимумом, что свидетельствует об активном врезании абразивных зерен.

Снижение контактной температуры в каждом тепловом импульсе происходит также мгновенно по ниспадающей ветви, но ее кривая более пологая, чем кривая нарастающей ветви теплового импульса.

При этом контактная температура снижается до средней температуры образца, которую он приобретает за время контактирования с абразивной лентой.

Средняя температура образца за этот период времени постепенно нарастает до величины насыщения, при котором наблюдается равенство притока и оттока теплового потока в образец.

Амплитуда контактной температуры различна и изменяется в диапазоне 50...150 °С, при шлифовании без охлаждения (рис. 6) [4]. Частота тепловых импульсов определяется частотой врезания контактирующих с термопарой абразивных зерен шлифовальной ленты.

Таким образом, проведенный анализ осциллограмм контактных температур, наблюдаемых при шлифовании различными способами, показывает, что в зоне обработки возникают тепловые импульсы различной интенсивности и с различным характером подъема и снижения кривых контактной температуры в единичном импульсе.

Указанные характеристики осциллограмм в основном определяются как самими способами

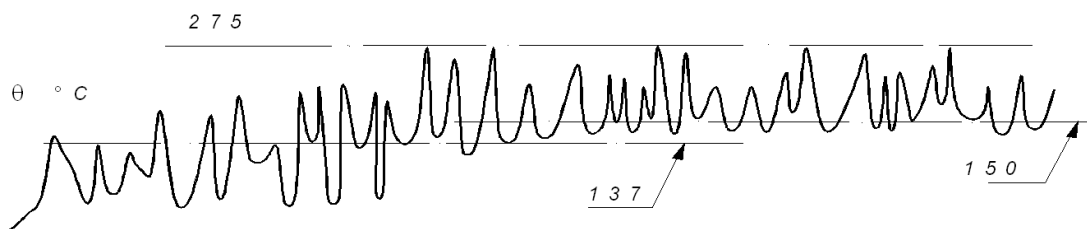


Рис. 6. Осциллограмма контактных температур в зоне скругления кромки свободной ветвью абразивной ленты при обработке сплава ЭИ598 без охлаждения и без продольной подачи $V = 10$ м/с; $H_0 = 0,5$ даН/см

шлифования, так и диапазоном их режимных параметров, а также технологическими условиями ведения процесса обработки.

Поэтому, с целью обеспечения возможности технологического управления теплонапряженностью поверхностного слоя на этапе изготовления деталей ГТД при их финишной обработке различными способами, важным является изучение влияния технологических факторов и условий шлифования на контактную температуру в зоне обработки.

Контактная температура при электроалмазном шлифовании и определение области бесприжоговой обработки

Экспериментальные исследования влияния режимных параметров на контактную температуру в зоне шлифования проводились на плоскошлифовальном станке модели ЗГ71, где в качестве режущего инструмента применялся алмазный круг (АПП 300×16×75×5 АСБ 400/315 МВ1 100 %) [5].

Измерение температуры производилось искусственной термопарой, состоящей из константановой пластинки толщиной 10 мкм и титанового сплава ВТЗ-1, из которого был изготовлен образец.

Электрод из константана помещался между двумя пластинками слюды толщиной 5 мкм. Замыкание константанового электрода с материалом образца происходило в процессе обработки. Возникающая при шлифовании в точке замыкания электродвижущая сила, подавалась на гальванометр М004-0,6 осциллографа Н115, где фиксировалась на фото пленке УФ-67. Для расшифровки осциллограмм использовался график тарировки термопары «константан-титановый сплав ВТЗ-1» и тарировка гальванометра М004-0,6.

В качестве СОЖ и электролита применялся состав, который используется в серийном производстве при алмазном шлифовании лопаток из титанового сплава ВТЗ-1.

Состав в %

триэтанолламин МРТУ 6-02-404-67.....0,7
нитрит натрия ГОСТ 19906-740,9
эмульгатор0,1
водаостальное

Очистка алмазного круга и обновление его режущей поверхности производились во время шлифования подачей постоянного тока напряжением 10 В на круг и образец.

Экспериментальные исследования показали, что с увеличением глубины шлифования от 0,02 до 0,18 мм контактная температура для диапазона поперечной подачи 0,21,0 мм/ход увеличивается от 500...800 °С до 800...1050 °С, то есть изменяется в широком диапазоне (рис. 7).

Влияние скорости шлифования на величину контактной температуры определяли для наиболее производительных режимов обработки: продольной подачи 12 м/мин и глубины шлифования 0,12...0,18 мм. Установлено, что контактная температура имеет более высокое значение 850...1050 °С при скорости шлифования 42 м/с и меньшее значение 675...975 °С при скорости шлифования 35 м/с (рис. 8).

Поэтому для электроалмазного шлифования пера лопаток из титановых сплавов необходимо принимать скорость шлифования, равную 35 м/с.

Контактная температура увеличивается от 500 °С до 900 °С для глубины шлифования, равной 0,02 мм, и от 725 °С до 975 °С для глубины шлифования, равной 0,18 мм, при увеличении поперечной подачи от 0,2 до 1,0 мм/ход (рис. 9).

С увеличением продольной подачи от 5 м/мин до 12 м/мин при глубине шлифования 0,02 мм контактная температура в зоне шлифования находится в диапазоне от 500 до 900 °С, причем меньшее ее значение наблюдается при поперечной подаче, равной 0,2 мм/ход, а большее — при поперечной подаче — 1,0 мм/ход (рис. 10).

Для глубины шлифования, равной 0,18 мм, величина контактной температуры имеет меньшее значение 700...725 °С для величины продольной подачи 8 и 12 м/мин при поперечной подаче, равной 0,2 мм/ход, и большее значение 925...1050 °С для продольной подачи — 5 м/мин при поперечной подаче 0,5...1,0 мм/ход (см. рис. 9).

Следовательно, меньшее значение контактной температуры наблюдается при скорости шлифования, равной 35 м/с, продольной подаче 8 и 12 м/мин и поперечной подаче 0,2 мм/мин на глубинах шлифования от 0,02 до 0,18 мм.

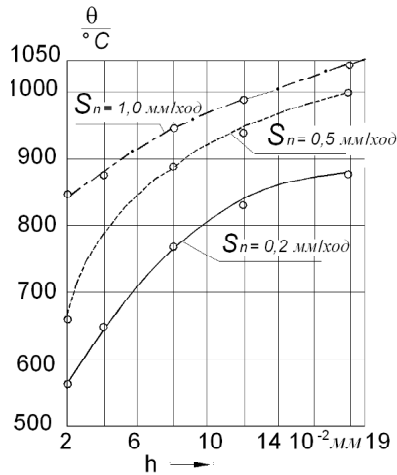


Рис. 7. Зависимость контактной температуры от глубины шлифования: $V = 42$ м/с, $S = 12$ м/мин

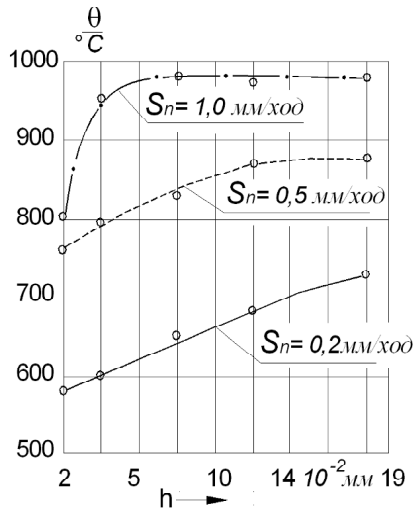


Рис. 8. Зависимость контактной температуры от глубины шлифования: $V = 35$ м/с, $S = 12$ м/мин

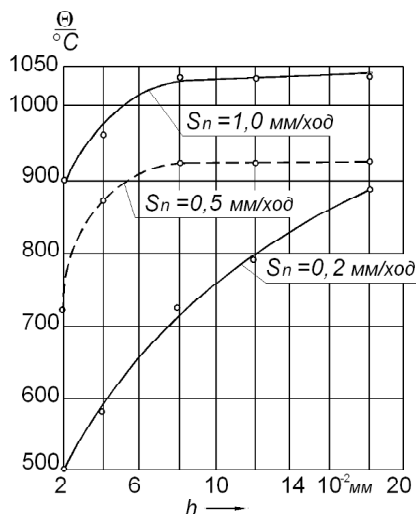


Рис. 9. Зависимость контактной температуры от глубины шлифования: $V = 35$ м/с, $S = 5$ м/мин

Таким образом, электроалмазное шлифование титановых сплавов является теплонапряженным процессом, где в зоне шлифования наблюдаются высокие значения контактной температуры, то есть при определенных условиях обработки преобладающим фактором может стать температурный, воздействие которого отрицательно сказывается на эксплуатационных свойствах поверхностного слоя детали (прижоги, растягивающие напряжения).

Поэтому для технологического обеспечения бесприжогового электроалмазного шлифования и преобладания в зоне обработки воздействия от силового фактора, обеспечивающего необходимое качество поверхностного слоя, целесообразно экспериментально определить рациональную область режимных параметров и условий шлифования.

Для установления области режимных параметров и условий шлифования, исключающих прижоги на обработанной поверхности, определялась величина контактной температуры, при которой наблюдаются прижоги на обрабатываемой поверхности.

Для этого производилось травление и контроль образцов – свидетелей, на поверхности которых подбором режимов создавались температуры 500, 600, 700, 800, 900 и 950 °С. Экспериментально установлено, что при контактной температуре 700 °С прижоги на поверхности не наблюдаются, а при температуре 800 °С наблюдаются отдельные места с прижогами.

Следовательно, на чистовых режимах контактная температура не должна превышать 700 °С. Определено, что эти режимы обеспечиваются при поперечной подаче 0,2 мм/ход и глубине шлифования 0,02...0,04 мм.

С целью определения припуска для чистового режима, шлифовались образцы на черновых режимах, при которых контактная температура составляла 950 °С, а затем на чистовом режиме снимался слой 0,02 мм на одном образце и 0,04 мм на другом.

Контроль этих образцов показал, что на обработанных поверхностях прижогов нет.

Таким образом, минимальный припуск, который должен сниматься после чернового режима, составит 0,02 мм.

Экспериментально также установлено, что подвод постоянного тока к обрабатываемой детали и алмазному кругу на чистовых режимах обеспечивает стабильное обновление режущей поверхности инструмента.

Выводы

1. Применение полуискусственной микротермомпары при шлифовании деталей ГТД с малой массой горячего слоя позволяет с высокой ста-

бильностью, надежностью и малой динамической погрешностью определять в тепловом импульсе контактные температуры.

2. При шлифовании деталей возникают тепловые импульсы, частота которых определяется частотой врезания абразивных зерен.

Контактная температура при шлифовании имеет периодический характер.

В единичном импульсе наблюдается нарастающая ветвь, максимум и ниспадающая ветвь контактной температуры, амплитуда которой в импульсе определяется применяемым технологическим методом шлифования, режимными параметрами и условиями шлифования.

3. Наиболее теплонапряженным процессом является электроалмазное шлифование титановых сплавов, где в зоне шлифования наблюдаются высокие значения контактной температуры, что требует определения рациональной области режимных параметров и условий шлифования, исключающей прижоги на обработанной поверхности.

4. Установлено, что при контактной температуре 700 °С прижоги на поверхности не наблюдаются, что определяет область режимных параметров и условий электроалмазного шлифования деталей ГТД из титановых сплавов.

5. Определена бесприжоговая область режимных параметров и условий электроалмазного шлифования деталей ГТД из титановых сплавов.

Список литературы

1. Якимов А. В. Оптимизация процесса шлифования / А. В. Якимов. — М. : Машиностроение. — 175 с.
2. Чеповецкий И. Х. Основы финишной алмазной обработки / И. Х. Чеповецкий. — К. : Наукова думка, 1980 — 408 с.
3. Титаренко В. В. Особенности измерения температур в процессе шлифования / В. В. Титаренко // Абразивы. — 1971. — № 8.
4. Технологическое обеспечение эксплуатационных характеристик деталей ГТД. Лопатки компрессора и вентилятора : моногр. / В. А. Богуслаев, Ф. М. Муравченко, П. Д. Жеманюк, А. Я. Качан и др. — Часть 1. — Запорожье : изд. АО «Мотор Сич», 2003 г. — 396 с.
5. Качан А. Я. Контактная температура при формообразовании аэродинамических поверхностей лопаток ГТД : сб. науч. тр. / А. Я. Качан. — Харьков : ХГПУ, 1999. — Вып. 36. — С. 21–25.
6. Мигунов В. М. Исследование влияния сил резания на контактную температуру при ленточном шлифовании / В. М. Мигунов // Повышение надежности и долговечности изделий машиностроения : сб. науч. тр. — Пермь : ППИ, 1972.

Поступила в редакцию 12.01.2016

Качан О.Я., Уланов С.О. Контактні температури при шліфуванні деталей ГТД і визначення області обробки без припикання

У роботі представлено результати експериментальних досліджень контактної температури в зоні шліфування деталей ГТД різними технологічними методами.

Установлено, що найбільш теплонапруженим процесом є електроалмазне шліфування титанових сплавів, де в зоні обробки спостерігаються високі значення контактної температури. Визначено, що при контактній температурі 700 °С на поверхні деталей з титанових сплавів припикання не спостерігається. Визначено область режимних параметрів і умов електроалмазного шліфування деталей ГТД з титанових сплавів без припикання.

Ключові слова: деталі ГТД, контактна температура, обробка без припикання, напівштучна термонара, режимні параметри, електроалмазне шліфування, стрічкове шліфування.

Kachan A., Ulanov S. Contact temperatures during grinding of parts of the gas turbine engine and determination of area of machining without burning

The paper describes results of the experimental investigation of the contact temperature in area of grinding of parts of the gas turbine engine by using various manufacturing methods.

It was determined that electric powered diamond grinding of the titanium alloys is the most heat-stressed process when high contact temperature values are exhibited. It was determined that if contact temperature equals 700 °C then the surface of parts made of titanium alloys does not exhibit burns. The area of machining without burning as well as operating parameters and conditions of the gas turbine engine parts made of titanium alloys by using electric powered diamond grinding was determined.

Key words: gas turbine engine parts, contact temperature, machining without burning, semi-artificial micro thermocouple, operating parameters, electric powered diamond grinding, abrasive-belt grinding.