

ОПРЕДЕЛЕНИЕ УСЛОВИЙ ПОВЫШЕНИЯ КАЧЕСТВА ОБРАБОТКИ ДЕТАЛЕЙ ГИДРОАППАРАТУРЫ НА ФИНИШНЫХ ОПЕРАЦИЯХ

Современный уровень развития авиационной техники требует решения сложных технологических задач по обеспечению высокого качества и точности обработки ответственных деталей гидроаппаратуры, изготовленных из высокопрочных сталей твердостью HRC 60...64 [1, 2]. Так, при обработке сепаратора необходимо обеспечить плоскостность обработки – до 0,005 мм, шероховатость поверхности $R_a = 0,16$ мкм. При обработке плунжера необходимо обеспечить конусность и овальность – не более 0,003 мм, шероховатость поверхности – на уровне 11-го класса чистоты. Согласно действующего технологического процесса, финишная обработка торцовой поверхности сепаратора производится по схеме доводки абразивным порошком, однако при этом не обеспечивается требуемая плоскостность вокруг всех 9-ти отверстий и наружной кромки сепаратора. Поэтому вместо доводки абразивным порошком предложено использовать шлифование торцовой поверхности вращающегося сепаратора торцом круга. Как показывает практика, этим достигается повышение точности обработки, однако на обрабатываемых поверхностях образуются прижоги, чего не наблюдалось при доводке.

Обработка цилиндрической поверхности плунжера производится с использованием метода бесцентрового шлифования. В этом случае на обрабатываемых поверхностях также образуются прижоги и отдельные риски-царапины. Для их устранения предусмотрено выполнение достаточно трудоемких операций доводки на плите последовательно пастой и войлочным кругом. В связи с этим актуальны задачи по повышению качества и производительности на финишных операциях шлифования деталей гидроаппаратуры. Целью работы является обоснование условий повышения качества обработки деталей гидроаппаратуры авиационного назначения на финишных операциях шлифования.

Чтобы уменьшить температуру шлифования без снижения производительности обработки, как установлено теоретически, целесообразно использовать схему шлифования с пульсирующей радиальной подачей круга (рис. 1), основанную на периодическом создании в технологической системе натяга определенной величины. Данный вывод вытекает из решения задачи по определению основного времени обработки при шлифовании с уменьшающейся во времени скоростью радиальной подачи $V_{рез}$. Температура шлифования θ в данном случае аналитически описывается зависимостью [3]:

$$\theta = \sigma \cdot V_{рез} \cdot \sqrt{\frac{2}{c \cdot \rho \cdot \lambda} \cdot \tau_1}, \quad (1)$$

где σ – условное напряжение резания, Н/м²; c – удельная теплоемкость материала, Дж/(кг·К); ρ – плотность материала, кг/м³; λ – коэффициент теплопроводности материала, Вт/м·К; τ_1 – время обработки, с.

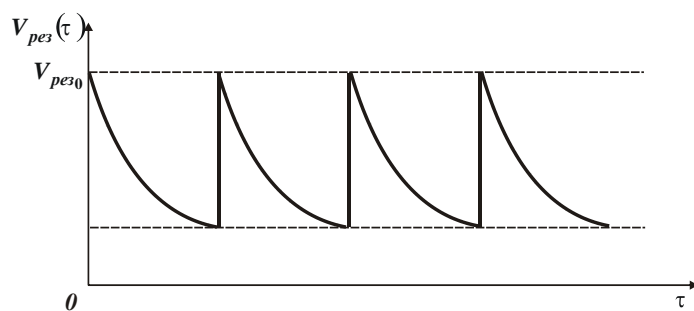


Рис. 1. Характер изменения скорости $V_{рез}(\tau)$ с течением времени обработки τ .

Для обеспечения в процессе шлифования заданной температуры θ с увеличением времени обработки τ_1 скорость $V_{рез}$, исходя из зависимости (1), необходимо уменьшать по закону:

$$V_{рез} = \sqrt{\frac{A}{\tau_1}}, \quad (2)$$

где $A = \left(\frac{c \cdot \rho \cdot \lambda}{2}\right) \cdot \left(\frac{\theta}{\sigma}\right)^2$.

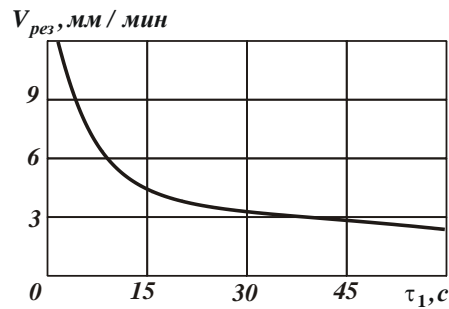


Рис. 2. Зависимость скорости $V_{рез}$ от времени обработки τ_1 .

Графически характер изменения скорости $V_{рез}$ с течением времени обработки τ_1 при шлифовании твердого сплава ВК8 ($c=175,9$ Дж/кг·К; $\rho=15 \cdot 10^3$ кг/м³; $\lambda=50$ Вт/м·К; $\sigma=26,7 \cdot 10^9$ Н/м²; $\theta=1000$ К; $A=9,25 \cdot 10^{-8}$ м²/с) показан на рис. 2. За время τ_1 с образца, движущегося по нормали к кругу, будет сошлифован слой материала Π , определяемый из зависимости

$$\Pi = \int_0^{\tau_1} V_{рез} \cdot d\tau_1. \quad (3)$$

С учетом зависимости (2) величина Π окончательно выразится

$$\Pi = 2 \cdot \sqrt{A \cdot \tau_1}. \quad (4)$$

Время τ_1 , необходимое для съема припуска величиной Π , равно

$$\tau_1 = \frac{\Pi^2}{4 \cdot A}. \quad (5)$$

Сравним τ_1 с τ при шлифовании с постоянной скоростью $V_{рез} = A / \Pi$:

$$\tau = \frac{\Pi}{V_{рез}} = \frac{\Pi^2}{A}. \quad (6)$$

Из зависимостей (5) и (6) вытекает, что τ_1 меньше τ в 4 раза, т.е. шлифование с переменной (уменьшающейся) во времени скоростью $V_{рез}$ позволяет в 4 раза увеличить производительность обработки при обеспечении заданной температуры θ . Характер изменения Π во времени при шлифовании твердого сплава ВК8 с переменной и с постоянной скоростью $V_{рез}$ показан на рис. 3.

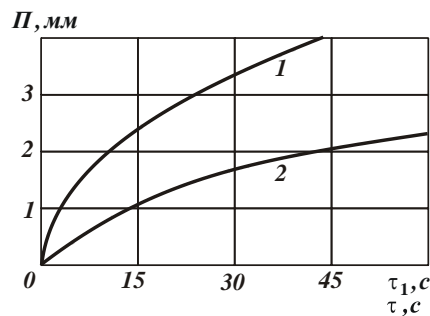


Рис. 3. Зависимость величины Π от времени обработки (τ_1 и τ) при шлифовании твердого сплава ВК8 с переменной (1) и с постоянной (2) во времени скоростью $V_{рез}$.

Реализовать переменную (уменьшающуюся) во времени скорость $V_{рез}$ можно при выхаживании, обеспечивая при этом также повышение точности обрабатываемой поверхности [4] при одной и той же температуре шлифования. Для осуществления данной схемы использован шлифовальный станок "Теленхауз" с вертикальным расположением шпинделя, обеспечивающим вращение обрабатываемого кольца (сепаратора) в плоскости стола станка. В связи с этим был проведен комплекс экспериментальных исследований торцевого шлифования торцевой поверхности сепаратора по установлению возможности эффективного перехода от доводки абразивным порошком к шлифованию. Оценивалось влияние характеристик абразивных кругов и режимов шлифования на основные технологические показатели шлифования: плоскостность и шероховатость обработки, наличие на обрабатываемых поверхностях прижогов, микротрещин и других температурных дефектов. В результате экспериментальных исследований установлено, что при создании в технологической системе натяга, превышающего 0,01 мм, возможно появление на обрабатываемой поверхности прижогов, а плоскостность и шероховатость обработки превышают допустимые значения. Следовательно, для обеспечения требуемых показателей плоскостности и шероховатости обработки необходимо, во-первых, величину натяга в технологической системе создавать не более

0,01 мм и, во-вторых, шлифование производить в два перехода: черновое и чистовое шлифование. Исходя из этого, определены оптимальные условия обработки. Снимаемый припуск (до 0,08 мм) удалялся по упругой схеме, для чего в технологической системе периодически создавался натяг величиной 0,01 мм, т.е. фактически реализовалась схема выхаживания, рис. 1. Опыты выполнялись с использованием чашечных цилиндрических абразивных кругов размером 36x50x12 зернистостью 4 и твердостью Т3 (при черновом шлифовании) и кругов зернистостью М7 (при чистовом шлифовании). В качестве СОТС применялось трансформаторное масло. Экспериментально установлено, что достигается плоскостность обработки в пределах 0,005 мм, шероховатость поверхности $R_a = 0,16$ мкм, исключаются прижоги на обрабатываемой поверхности.

Одной из ответственных деталей гидроаппаратуры также является плунжер, который входит в отверстие ротора, образуя пару трения. Поэтому к качеству и точности его обработки предъявляются высокие требования (указанные выше), выполнить которые на операции бесцентрового шлифования сложно. Более эффективным методом обработки в этом плане является метод круглого наружного шлифования, реализуемый на современных шлифовальных станках. В связи с этим были проведены экспериментальные исследования параметров круглого наружного шлифования плунжера на современном круглошлифовальном станке "Okamoto". Применялся абразивный круг размером 300x25x27 64С 40СМ 25. Режимы шлифования: $n_{кр} = 1778-2145$ об/мин; $n_{дет} = 150$ об/мин; $S_{прод} = 3$ м/мин (при черновом шлифовании); $S_{прод} = 1,1$ м/мин (при чистовом шлифовании). Данный круг обладает высокой режущей способностью и исключает образование прижогов и отдельных рисок-царапин на обрабатываемой поверхности. При этом обеспечиваются высокие требования по точности и шероховатости поверхности, что позволило исключить последующие трудоемкие операции ручной доводки.

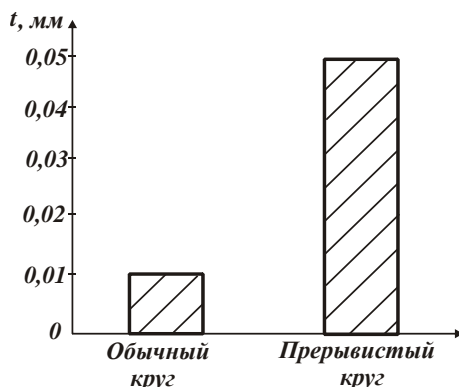


Рис. 4. Значения глубин шлифования, исключающих образование температурных дефектов на обрабатываемых поверхностях, при обычном и прерывистом алмазном шлифовании.

Полученные теоретические решения были также использованы для разработки эффективных операций шлифования изделий из твердых сплавов с целью повышения качества и производительности обработки. Были проведены экспериментальные исследования торцевого шлифования прерывистым алмазным кругом 12А2 45° 150x42x10x5x32 АС6 160/125 4 В1-13 производства ИСМ им. В.Н. Бакуля НАН Украины и обычным алмазным кругом 12А2 45° 150x10x5x32 АС6 125/100 4 В2-01. Обрабатывались плоские поверхности пластин из твердого сплава Т30К4, которыми оснащаются резцы 16x16x140. Обработка производилась на заточном станке без применения СОТС, т.е. "всухую". Скорость круга устанавливалась равной 30 м/с. В результате проведенных исследований установлено, что в широком диапазоне изменения глубины шлифования – до $t = 0,05$ мм при использовании прерывистого алмазного круга прижоги и микротрещины на обрабатываемых поверхностях не образуются, рис. 4. При шлифовании этих же пластин обычным алмазным кругом со сплошной рабочей поверхностью при $t \leq 0,01$ мм имеют место прижоги и микротрещины. Так, из 10 обработанных пластин 3-4 пластины уходят в брак в связи с образованием на них температурных дефектов. Таким образом установлено, что при шлифовании прерывистым кругом теплонапряженность процесса ниже. Это свидетельствует о достоверности полученных теоретических результатов, а также о возможности повышения производительности обработки при прерывистом шлифовании. По сравнению с обычным алмазным шлифованием производительность может быть увеличена в 5 раз (рис. 4) при требуемом качестве обработки. Прерывистые алмазные круги были также использованы при шлифовании передней поверхности лезвий ружейных сверл диаметром 22 мм, изготовленных из твердого сплава ВК8. Опытами установлено, что при съеме припуска 3 мм прерывистое шлифование обеспечивает производительность обработки, в 5 раз превышающую производительность обычного алмазного шлифования (при условии отсутствия на обрабатываемых поверхностях температурных дефектов). Обработку можно производить с глубиной шлифования 0,05 мм, тогда как при обычном алмазном шлифовании она ниже и изменяется в пределах 0,005–0,01 мм. Эффект достигнут за счет снижения температуры шлифования θ (исключения прижогов) и градиента температуры $grad\theta = q/\lambda$ (исключения микротрещин) в результате уменьшения плотности теплового потока q и времени контакта круга с обрабатываемым материалом τ в соответствии с зависимостью (1). Следовательно, применение прерывистого круга снижает теплонапряженность процесса, исключает температурные дефекты и увеличивает производительность.

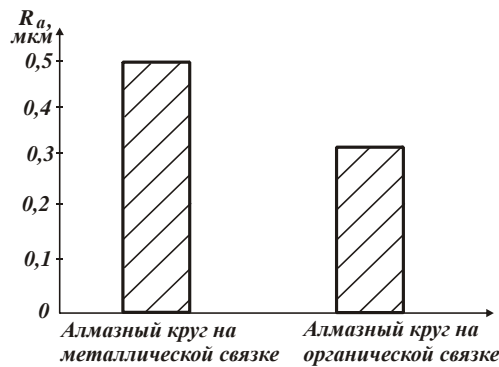


Рис. 5. Значения шероховатости поверхности R_a при шлифовании алмазными кругами на металлической и органической связках ($V_{кр} = 30$ м/с; $t = 0,02$ мм).

Произведена оценка технологических возможностей шлифования твердосплавных изделий алмазными кругами на металлических связках с применением электроэрозионной правки. Для этого заточной станок мод. 3В642 был модернизирован и укомплектован источником постоянного тока мощностью 4 кВт. Использовался алмазный круг 12А2 45° 150x10x3 АС6 100/80 М1-01 4 при шлифовании пластин из твердого сплава ВК8 с режимами: $V_{кр} = 30$ м/с; $t = 0,01-0,05$ мм. Установлено, что шлифование данным кругом исключает образование на обрабатываемых поверхностях температурных дефектов. Это связано с тем, что электроэрозионной правкой достигается увеличенное выступание алмазных зерен над уровнем связки круга, а это снижает силовую и тепловую напряженность шлифования. При этом установлено, что шлифование данным кругом приводит к более высокой шероховатости поверхности, чем при шлифовании алмазным кругом на органической связке 12А2 45° 150x10x3 АС6 100/80 В2-01 4, рис. 5. Кроме того, на краях обрабатываемой пластины образуются микросколы, что снижает остроту ее режущей кромки. Это связано с тем, что металлическая связка круга прочно удерживает алмазные зерна, обеспечивая их больший износ до момента разрушения и выпадения из связки.

Для оценки уровня остаточных напряжений, возникающих в поверхностном слое обрабатываемого материала, были проведены экспериментальные исследования круглого наружного шлифования твердосплавных пластин из ВК8, установленных в специальную оправку, с использованием алмазного круга на металлической связке 1А1 300x25x6 АС6 125/100 М1-01 4 с режимами шлифования: скорость круга $V_{кр} = 30$ м/с, скорость вращения детали $V_{дет} = 12$ м/мин, поперечная подача $S_{поп} = 0,02$ мм/дв.ход, снимаемый припуск – 6 мм. Обработка производилась в трех вариантах: обычного шлифования, электроэрозионного шлифования (с введением в зону резания постоянного электрического тока) и шлифования алмазным кругом после его электроэрозионной правки. Установлено, что применение электроэрозионной правки алмазного круга позволяет получить отрицательные (сжимающие) остаточные напряжения вследствие преобладания силового фактора над температурным. Это благоприятно сказывается на эксплуатационных свойствах обработанной поверхности. При алмазном электроэрозионном шлифовании (сила тока $I = 20$ А) формируются незначительные растягивающие напряжения + 24 кгс/мм², что объясняется термическим воздействием электрических разрядов на поверхность пластины. При этом возникают лунки глубиной около 18 мкм.

При обычном алмазном шлифовании на поверхности отчетливо видны микротрещины, которые являются результатом релаксации внутренних напряжений и характерны для хрупких и твердых материалов. Наличие растягивающих остаточных напряжений свидетельствует о преобладании температурного фактора. Глубина лунок при этом составляет 8 мкм. Как видно, качество пластины, прошлифованной алмазным кругом после его электроэрозионной правки, является наилучшим, поскольку на ее поверхности отсутствуют задиры и микротрещины, а остаточные напряжения – отрицательны. Эффект обусловлен высокой режущей способностью алмазного круга, обеспечивающей снижение энергоемкости обработки.

Список литературы: 1. Технологические процессы изготовления высокоточных деталей гидро- и пневмоаппаратуры: Учеб. пособие / А.В. Якимов, Ф.В. Новиков, Е.В. Грисенко, В.П. Ларшин, А.А. Якимов, Г.В. Новиков. Под общ. ред. проф. А.В. Якимова. – Одесса: ОНПУ, 2006. – 328 с. 2. Рябенков І.О. Підвищення ефективності фінішної обробки деталей гідроапаратури на основі вибору раціональної структури і параметрів операцій: автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук : спец. 05.02.08 “Технологія машинобудування” / І.О. Рябенков. – Одеса, 2009. – 21 с. 3. Новиков Ф.В. Оптимизация параметров операций шлифования с учетом ограничений по температуре резания / Ф.В. Новиков, О.С. Кленов // Вісник НТУ “ХПІ”. Збірник наукових праць. Тематичний випуск: Технології в машинобудуванні. – Харків: НТУ “ХПІ”. – 2009. – № 2. – С. 45-53. 4. Физико-математическая теория процессов обработки материалов и технологии машиностроения / Под общ. ред. Ф.В. Новикова и А.В. Якимова. В десяти томах. – Т. 7. “Точность обработки деталей машин” – Одесса: ОНПУ, 2004. – 546 с.

Поступила в редколлегию 16.04.2010