

УДК 621.923

В.И. БЕЛОУС, С.Е. МАРКОВИЧ

Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «ХАИ», Украина

ВЛИЯНИЕ СПОСОБОВ ВЫСОКОПРОИЗВОДИТЕЛЬНОГО ШЛИФОВАНИЯ НА КАЧЕСТВО ПОВЕРХНОСТНОГО СЛОЯ ДЕТАЛЕЙ ИЗ ТРУДНООБРАБАТЫВАЕМЫХ МАТЕРИАЛОВ

Рассмотрены современные высокопроизводительные процессы абразивной обработки деталей авиационных двигателей, изготовленных из труднообрабатываемых материалов. Проведено сравнение и определены преимущества и недостатки высокоскоростного и глубинного способов шлифования. Проанализировано влияние энергетических параметров процессов высокопроизводительной абразивной обработки на комплекс характеристик поверхностного слоя, зависимость показателей шероховатости и остаточные напряжения от режимов резания. Определена задача создания комплексной системы, учитывающей влияние технологических факторов на характеристики системы станок-инструмент-деталь.

Ключевые слова: способ шлифования, абразивная обработка, энергетические параметры процесса, поверхностный слой.

Введение

Современное авиадвигателестроение характерно применением деталей и узлов, изготовленных из жаропрочных и титановых сплавов, сложнолегированных сталей и других труднообрабатываемых материалов (ТОМ). Процесс шлифования является технологией, с помощью которой можно выполнить требования, предъявляемые к точности и качеству поверхностей изготавливаемых деталей и в настоящее время ведущими двигателестроительными предприятиями ставится задача совершенствования данного метода обработки.

Актуальность направления исследований и постановка задачи. Исследованию вопроса повышения эффективности управления качеством поверхностного слоя при обработке деталей из труднообрабатываемых материалов шлифованием посвящены многие работы, однако в настоящее время универсальной методики расчёта параметров режимов резания для обеспечения заданных характеристик поверхностного слоя нет.

Поверхностный слой деталей оказывает влияние на следующие эксплуатационные свойства: прочность (статическую, циклическую, ударную), трение и износ, сопротивление коррозии, эрозии, кавитации, герметичность соединений, точность деталей и надёжность неподвижных посадок и др. Шероховатость и волнистость поверхности, структура, фазовый и химический состав поверхностного слоя поразному влияют на эксплуатационные свойства деталей. Знание закономерностей комплексного и раз-

дельного влияния параметров поверхностного слоя деталей на их эксплуатационные свойства позволяет оптимизировать технологические процессы изготовления деталей с учетом заданных условий их эксплуатации. Это, в свою очередь, выдвигает требование детального анализа существующих высокопроизводительных способов шлифования для выполнения расчёта энергетических характеристик и проведения экспериментальных исследований по определению влияния режимов шлифования на характеристики поверхностного слоя, а также разработка оптимальных режимов шлифования с использованием планетарно-шлифовальной головки.

Анализ современных способов высокопроизводительного шлифования

К высокопроизводительным процессам абразивной обработки (ВПАО) относятся высокоскоростное шлифование, глубинное шлифование, шлифование высокопористыми кругами, а так же сочетания данных методов.

Как показал факторный анализ результатов серии исследований, одними из важнейших характеристик поверхностного слоя, влияющих на предел выносливости деталей из ТОМ, являются шероховатость поверхности и остаточные напряжения (особенно их знак).

Возможности высокоскоростного шлифования по увеличению скорости съёма металла при сохранении требуемых параметров точности и качества обработки подтверждены рядом экспериментов [1].

Зависимости параметра шероховатости от скорости резания прослеживаются на рис. 1.

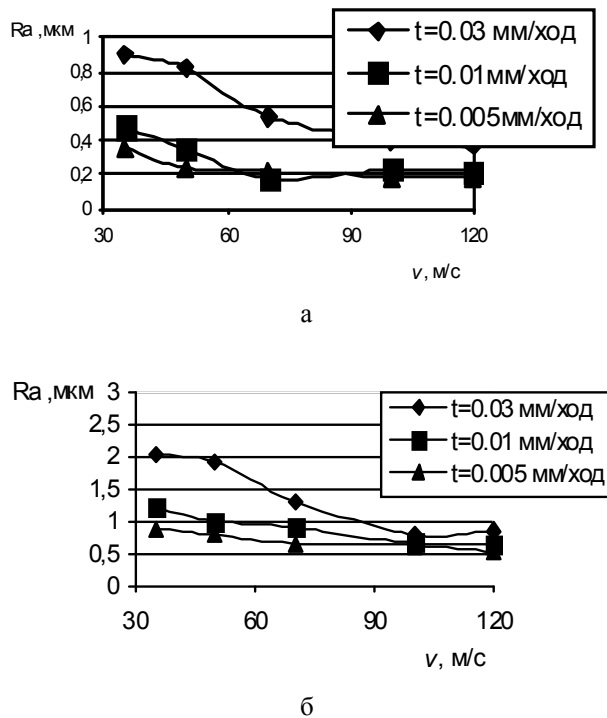


Рис. 1. Зависимости параметра шероховатости R_a шлифованных деталей от скорости и глубины шлифования: а – сталь P18 (HRC60-62), б – сталь X18H10T

Однако применению высокоскоростного шлифования должны сопутствовать:

- комплекс мероприятий, направленных на устранение негативного фактора теплового воздействия на шлифуемую поверхность;
- применение специальных кругов повышенной прочности;
- повышение жесткости технологической системы;
- более высокие требования к свойствам абразивных материалов;
- усовершенствованное станочное оборудование.

Другим прогрессивным процессом шлифования, при котором за счет резкого изменения режимных (кинематических) параметров количественно и качественно изменяются выходные параметры, является глубинное шлифование. После проведения экспериментов [2] была получена эмпирическая зависимость величины показателя шероховатости от параметров режима шлифования:

$$R_a = 2 \times 10^4 \frac{t^{0.17} v_d^{-0.6} S^{0.6}}{v_k^{0.85}}, \quad (1)$$

где t – глубина резания; v_d – скорость детали, S – подача, v_k – скорость круга.

На рис. 2 приведена графическая зависимость, характеризующая влияние на шероховатость поверхности параметров режима глубинного шлифования.

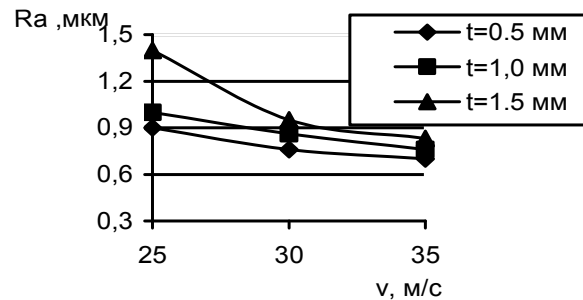


Рис. 2. Зависимости параметра шероховатости R_a деталей от скорости и глубины шлифования

Как видно из графиков (рис. 1, 2) параметр шероховатости R_a в качественной форме изменяется приблизительно идентично. С увеличением скорости круга шероховатость уменьшается. Это подтверждается результатами проведенных экспериментов [3] при шлифовании ёлочных замковых соединений лопаток турбокомпрессора.

Исследования зависимости показателей шероховатости R_a от скорости продольной подачи детали при различных глубинах шлифования показало, что с уменьшением продольной скорости перемещения детали происходит резкое увеличение шероховатости поверхности, так как при этом происходит процесс интенсивного изнашивания и объёмного разрушения абразивных зерен круга. В процессе шлифования поверхностный слой обрабатываемой детали подвергается воздействию температурно-силового фактора, в результате которого на определенной глубине от поверхности шлифования происходит разупрочнение или упрочнение металла и появление остаточных напряжений. Из-за сложности механизма образования остаточных напряжений, существующие методы аналитического расчета несовершенны. Поэтому чаще всего для оценки остаточных напряжений применяют экспериментальные методы. Если рассмотреть эпюры напряжения, полученные после круглого наружного шлифования закалённой стали 45, с вариацией скоростей вращения круга при одинаковых остальных условиях обработки, то можно отметить, что увеличение только скорости резания приводит к большему нагреву шлифуемой поверхности и соответственно к увеличению напряжений растяжения и глубины их залегания (рис. 3)

Повышение скорости резания способствует интенсификации температурного воздействия и, как следствие, рост остаточных напряжений растяже-

ния. Применение рекомендаций по уменьшению теплового воздействия на поверхностный слой детали, эффективное охлаждение, подбор оптимального отношения скорости резания и скорости детали ведет к уменьшению значений остаточных напряжений, но не к изменению знака.

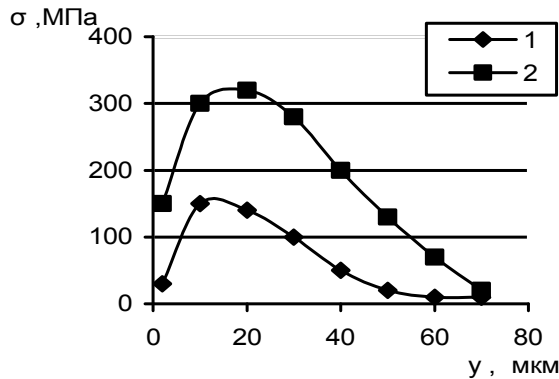


Рис. 3. Эпюры распределения остаточных напряжений: 1 - $v = 35$ м/с; 2 - $v = 60$ м/с

Решить проблему знака остаточных напряжений при шлифовании труднообрабатываемых материалов в авиадвигателестроении позволяет применение способа глубинного шлифования.

Глубинное шлифование имеет особенности:

- шлифование происходит со скоростями детали $v_d \leq 0,0033$ м/с;
- глубина шлифования от 0,1 мм и более за один проход;
- применяют высокопористые круги в совокупности с эффективным охлаждением (расход СОЖ $Q \approx 0,003$ м³/с и более при давлении до 0,7 МПа).

После обработки на модернизированном плоскошлифовальном станке клина детали из сплава ЖС6К кругом 24A40C114K5/П80-30, на режимах $v_k = 27$ м/с, $v_d = 0,0033$ м/с, с охлаждающей жидкостью Аквол-2 были исследованы характеристики поверхностного слоя. Эпюры остаточных напряжений приведены на рис. 4.

Условия шлифования обеспечивают формирование в поверхностном слое сжимающих остаточных напряжений 1-го рода [2].

Безусловно, при глубинном шлифовании следует обратить внимание на меры, применение которых позволяет снизить теплообразование и снизить его негативное влияние на поверхностный слой детали.

Кроме того, в отдельных исследованиях имеются теоретические обоснования, нашедшие экспериментальное подтверждение, что с увеличением глубины шлифования количество тепла, переходящего в заготовку, а также температура на обрабатываемой поверхности уменьшаются.

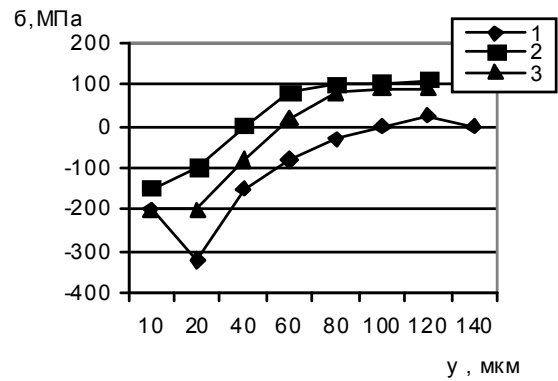


Рис. 4. Распределение напряжений в поверхностном слое 1 - $t = 0,05$ мм; 2 - $t = 0,2$ мм; 3 - $t = 1$ мм

Шлифование жаропрочных, титановых сплавов, а также высоколегированных сталей, отличающихся высокой вязкостью и пластичностью характерно «засаливанием» круга, что приводит к потере его режущих свойств. Другой проблемой при обработке данных материалов является их чувствительность к тепловому воздействию, вследствие которого в поверхностном слое часто возникают структурные дефекты – прижоги и трещины. Особенно эти недостатки проявляются при высокопроизводительном глубинном шлифовании. Для повышения эффективности шлифования применяют специальные высокопористые круги. Пористость кругов позволяет решать следующие задачи:

- создание перед абразивным зерном пространства для размещения снимаемой стружки, что уменьшает «засаливание» круга;
- улучшение подачи СОЖ непосредственно в зону контакта круга с деталью, что предотвращает появление прижогов и трещин;
- дополнительное охлаждение зоны контакта за счет вентиляционного эффекта воздушным потоком;
- уменьшение трения между поверхностями круга и детали.

Однако, поскольку прочность высокопористых кругов ниже, чем обычных, рабочая скорость при шлифовании не должна превышать 35...50 м/с.

Принципиально новым этапом развития, радикально повышающим эффективность обработки ответственных деталей авиадвигателей, является использование скоростного и высокоскоростного глубинного шлифования (ВСГШ). Аналитические и экспериментальные исследования, проведенные в Научно-исследовательском институте двигателестроения, а также ведущими фирмами Германии (Guchring Automation, Blohm, Elb-Schliff, Winter, Wendt), США (Edgetek Mashina Corp., Amplex/Norton, CCI GmbH) и Японии (Toijoda, Mashine Works, Noritake Co) вскрывают большие

потенциальные возможности технологии ВСГШ. Для процесса характерно повышение скоростей резания до 100...180 м/с. Есть основания полагать, что указанные выше скорости не являются предельными, поскольку имеется принципиальная возможность их повышения до 300...500 м/с. Кинетика резания при высоких скоростях обеспечивает не только высокую скорость съема металла, но и увеличивает точность формообразования, снижает шероховатость обрабатываемых поверхностей и уменьшает толщину слоя, несущего следы пластической деформации, которая сопровождает процесс резания. Важной особенностью процесса является сохранение практически неизменными исходных физико-химических свойств поверхностного слоя обрабатываемых материалов.

Принципиальные достоинства процесса ВСГШ имели решающее значение для проведения всесторонних исследований и широкого практического внедрения процесса на машиностроительных производствах. При обработке сталей достигнута скорость резания 180 м/с и скорость съема металла более 100 мм³/мм·с. Однако внедрение ВСГШ в технологию производства высоконагруженных деталей, в частности, в авиадвигателестроении сдерживается трудностью создания соответствующих технологических средств. Это касается оборудования, абразивного инструмента и СОЖ. Ко всему комплексу технологических средств предъявляются требования, связанные со спецификой физико-химических свойств материала деталей, а также повышенные требования к качеству формируемого поверхностного слоя.

Резервы эффективности технологии ГШ связаны также с совершенствованием характеристик абразивного и правящего инструмента, способов шлифования, правки и подачи СОЖ к абразивному кругу.

Одним из важных явлений, протекающих в зоне резания при шлифовании, следует считать [4] адсорбционно-пластифицирующий эффект (АПЭ), под которым принято понимать комплекс явлений, протекающих на микроуровне на поверхности раздела "твёрдое тело-среда" при деформировании и разрушении металлов в условиях воздействия адсорбционных сред и приводящих к изменению характера и энергосиловых параметров деформирования материала на макроуровне. Одним из методов обеспечения критериальных требований для проявления АПЭ является способ планетарно-сопряженного шлифования (ПСШ), который особенно эффективен для снятия больших припусков при обработке деталей из жаростойких и жаропрочных сплавов на хромоникелевой основе, титановых сплавов, магнитных сплавов, получаемых методом порошковой ме-

таллургии. Способ ПСШ может быть использован для обработки плоских поверхностей в режиме маятникового шлифования, плоских и плоскофасонных поверхностей в режиме глубинного шлифования на любых серийных шлифовальных станках.

Способ предполагает использование специальной планетарно-шлифовальной бабки, устанавливаемой на станке вместо серийной или планетарной шлифовальной головки (ПШГ)[5], которая устанавливается на шпинделе шлифовальной бабки абразивного круга.

Правка абразивных кругов планетарной шлифовальной головки осуществляется правящим алмазным карандашом и по существу отличается от традиционных методов, применяемых для сплошных абразивных кругов, однако не требует специальной оснастки. Преимуществом данного способа является: снижение удельной энергоёмкости процесса; использование обычных абразивных кругов на керамической основе со скоростью 45-60 м/с на всю глубину снимаемого припуска; обеспечение дополнительного упрочнения поверхностного слоя за счет формирования остаточных напряжений сжатия, снижение расхода смазочно-охлаждающей жидкости; снижение температурно-силового фактора и уменьшения вероятности брака.

Выводы

Для обеспечения максимальной эффективности рассматриваемых процессов необходимо создание комплексной системы, учитывающей влияние всех основных технологических факторов на характеристики системы станок-инструмент-деталь и позволяющей производить оптимизацию параметров процесса обработки с целью получения заданного комплекса физико-механических характеристик поверхностных слоёв, разработать единые технологические рекомендации по разработке и внедрению технологических процессов высокопроизводительной абразивной обработки. Для реализации концепции создания единой технологической системы управления процессами ВПАО необходима разработка комплексной теоретической модели процессов, позволяющей:

– определить энергосиловые параметры ПСШ и влияние на них смазочно-охлаждающих технологических сред;

– установить зависимость заданных характеристик шероховатости от сил резания;

– определить величину и характер остаточных напряжений в поверхностном слое экспериментальных образцов при изменении режимов глубинного ПСШ.

Литература

1. Кремень З.И. Технология шлифования в машиностроении / З.И. Кремень, В.Г. Юрьев, А.Ф. Бабошкин; под общ. ред. З.И. Кремня. – СПб.: Политехника, 2007. – 424 с.

2. Глубинное шлифование деталей из труднообрабатываемых материалов / С.С. Силин, А.В. Лобанов, В.А. Хрульков, Н.С. Рыкунов. – М.: Машиностроение, 1984. – 64 с.

3. Жук А.П. Повышение эффективности глубинного шлифования ёлочных замковых соединений лопаток турбокомпрессора: автореф. дис. канд. тех. наук 12.11.07 / Жук Александр Порфирьевич; Пензенский гос. ун-т. – Пенза, 2007. – 26 с.

4. Сурду М.В. Підвищення ефективності шліфування важкооброблюваних матеріалів за рахунок удосконалення кінематики процесів: автореф. дис. канд. тех. наук 14.01.06 / Сурду Микола Васильович; НТУ «ХПІ». – Х., 2006. – 22 с.

5. Пат. 2066268 Российская Федерация, В24В1/38. Способ шлифования; Заявители: Сурду Николай Васильевич; Буюкли Иван Михайлович; Тарелин Анатолий Алексеевич; Горбачев Александр Федорович. Патентообладатель: Сурду Николай Васильевич. – № 5064223/08, Заявл. 05.10.1992; опубл. 10.09.1996

Поступила в редакцию 14.05.2010

Рецензент: д-р техн. наук, профессор, директор института В.К. Борисевич, Международный институт новых технологий, Харьков, Украина.

ВПЛИВ СПОСОБІВ ВИСОКОВИРОБНИЧОГО ШЛІФУВАННЯ НА ЯКІСТЬ ПОВЕРХНЕВОГО ШАРУ ДЕТАЛЕЙ З ВАЖКООБРОБЛЮВАЄМИХ МАТЕРІАЛІВ

В.І. Білоус, С.Є. Маркович

Розглянуті сучасні високотовиробничі процеси абразивної обробки деталей авіаційних двигунів, виготовлених із важкооброблюємих матеріалів. Проведене порівняння та визначені переваги і недоліки високошвидкісного та глибинного способів шліфування. Проаналізовано вплив енергетичних параметрів процесу високотовиробничої абразивної обробки на комплекс характеристик поверхневого шару, залежність показників шорховатості та остаточних напружень від режимів різання. Визначена задача створення комплексної системи станок-інструмент-деталь.

Ключові слова: спосіб шліфування, абразивна обробка, енергетичні параметри процесу, поверхневий шар.

INFLUENCE OF THE HIGT-PRODUCTIVE GRINDINGS METHODS ON THE SURFACE LAYER'S QUALITY OF THE PARTS, MADE OF HARD-TO-CUT MATERIALS

W.I. Bilous, S.E. Markovith

The highly productive abrasive machining processes for machining of aviation engine parts, made of materials, are considered. Methods are compared, advantages and disadvantages of the higt-velocity creep feed grinding are defined. The influence of the energy parameters of the productive abrasive machining on the surface layer's characteristics is analyzed, as well as roughness influence and locked-up stresses after cutting. The problem of complex system creation is defined. This system should take into account processing factor's influence on the machine-tool-part system characteristics.

Key words: method of grinding, abrasive machining, energy parameters of the process, surface layer.

Белоус Вадим Иванович – аспирант кафедры «Технология производства авиационных двигателей», Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «ХАИ», Харьков, Украина.

Маркович Сергей Евгеньевич – кандидат технических наук, доцент кафедры «Технология производства авиационных двигателей», Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «ХАИ», Харьков, Украина, e-mail: INV Project@yahoo.com.