

ИНСТРУМЕНТ ДЛЯ ВЫСОКОСКОРОСТНОГО ГЛУБИННОГО ШЛИФОВАНИЯ ДЕТАЛЕЙ ИЗ ТРУДНООБРАБАТЫВАЕМЫХ МАТЕРИАЛОВ

Введение

Реализация преимуществ глубинного шлифования возможна при условии создания шлифовальных кругов, обеспечивающих не только необходимую прочность, но и другие условия эффективной обработки деталей: уменьшение износа и увеличение стойкости круга, обеспечение заданной точности и качества обработки и др.

1. Формулировка проблемы

При работе шлифовального круга на него действуют центробежные силы, сила закрепления фланцами на шпинделе станка, силы резания и силы, возникающие от неуравновешенных масс.

Шлифовальный круг должен иметь достаточную прочность, чтобы с гарантией выдерживать эти нагрузки. С увеличением скорости резания энергия круга увеличивается пропорционально квадрату скорости, поэтому при создании высокоскоростных шлифовальных кругов необходимо в первую очередь увеличить их прочность на разрыв, учитывая при этом действие усталостных нагрузок от сил резания и неуравновешенных масс. Кроме того, увеличение скорости и глубины резания изменяют условия работы каждого из абразивных зерен на рабочей поверхности круга и связки, удерживающей эти зерна: увеличиваются скорости и число циклов нагружения режущих кромок и связки, увеличивается число режущих зерен по дуге контакта, растут скорости нагрева и охлаждения вершины каждой режущей кромки, а также максимальные контактные температуры, уменьшается длительность теплового и силового воздействия на режущие кромки. Перечисленные факторы требуют обоснованного выбора материалов абразивных зерен и связки, зернистости и твердости круга, его структуры, способа и режимов правки.

2. Решение проблемы

Анализ напряженного состояния вращающегося круга и влияния его механических свойств на разрывную скорость позволило сформулировать следующие направления для создания конструкций высокоскоростных кругов:

а) увеличение разрывной скорости круга путем уменьшения отношения $k=D_{вн}/D$ вплоть до создания кругов без центрального отверстия ($D_{вн}=0$). Изготовление кругов без центрального отверстия позволяет в 1,4 раза увеличить их разрывную скорость (по практическим данным Х. Франка на 22%). Необходимость изготовления нескольких внецен-

тренных крепежных отверстий в круге под болты уменьшает его прочность незначительно.

б) увеличение разрывной скорости круга путем упрочнения зоны отверстия. Упрочнение может быть достигнуто несколькими способами: созданием мелкозернистой структуры или увеличением твердости в зоне отверстия круга с сохранением требуемой структуры в рабочей части; пропиткой зоны отверстия круга эпоксидными смолами или другими укрепляющими составами; установкой в зоне отверстия укрепляющих колец, стеклоткани, закладываемых в абразивную массу при изготовлении; установкой (приклейкой) в отверстие круга металлического кольца или приклейкой металлических дисков по торцам круга.

Упрочнение зоны отверстия круга мелкозернистой структурой позволяет увеличить прочность круга примерно на 20...30%, а разрывную скорость – на 10%.

Некоторое увеличение прочности круга можно получить, если форму круга в сечении плоскостью, проходящей через его ось, сделать в виде “балки равного сопротивления”.

Перечисленные методы упрочнения позволяют увеличить рабочую скорость до 80...100 м/с. Дальнейшее увеличение скорости требует коренного изменения конструкции шлифовального круга [1].

Характеристика режущего инструмента (вид абразивного материала, зернистость, твердость, структура, связка) определяется требованиями к производительности обработки и качеству шлифованной поверхности. Эти требования, как правило, должны исходить, с одной стороны, из необходимости обеспечения максимальной производительности в условиях бездефектного (бесприжогового) шлифования, с другой – из необходимости достижения высоких точности и качества шлифуемой поверхности.

При выборе абразивного материала следует стремиться к увеличению прочности абразивных зерен (особенно усталостной прочности) и их износостойкости. Таким требованиям удовлетворяют электрокорундовые материалы: циркониевый 38А, хромистые 33А, 34А, титанистый 37А, нормальные 15А, 14А, 13А и белый 24А [2]. Все эти материалы хорошо работают в диапазоне скоростей 20...160 м/с.

Химический состав абразивного материала круга определяется диффузионной и адгезионной активностью его по отношению к обрабатываемому материалу. При глубинном шлифовании сталей и жаропрочных сплавов на основе никеля необходимо использовать электрокорунд белый 24А, 25А.

Особо ответственные детали из титановых сплавов следует обрабатывать кругами из алмаза (АСК 125/100 МО16) и эльбора (ЛО 12-20 С1-СТ1 К7). При менее жестких требованиях к качеству поверхности и геометрической точности изделия экономически целесообразно приме-

нять круги 54С (63С)25 – 40СМ1 – С2Б6 из карбида кремния черного или зеленого (применение первого предпочтительнее) [3].

В последнее время в области абразивной промышленности разработано и внедрено в производство несколько принципиально новых материалов и технологических разработок. Sinterkorund (или корунд спекания) является принципиально новым шлифовальным зерном. Основным его отличием является то, что каждое отдельное зерно состоит из множества микрокристаллов размером от 0,1 до 0,2 мкм.

При работе абразивным инструментом, изготовленным из Sinterkorunda в процессе шлифования в частицах зерна, под давлением, микрозерна дробятся, происходит освобождение новых кромок среза, что вызывает постоянное самозатачивание без выкрашивания непосредственно зерна из соединения. В результате:

- профиль шлифовального круга сохраняется значительно дольше, инструмент не требует частой правки, т.к. при правильном использовании практически не засаливается;

- зерна проникают легче в жесткие материалы;

- температура в зоне обработки значительно ниже по сравнению с выплавленным зерном, что в ряде случаев позволяет работать без применения СОЖ и работать с более глубокими подачами.

Инструмент из Sinterkorunda обладает еще одним очень важным преимуществом: при высоких скоростях обработки и глубине съема металла достигаются очень высокие показатели шероховатости такие же, как после использования инструмента на основе CBN (кубический нитрид бора), т.е. в большинстве случаев инструмент на основе Sinterkorunda заменяет инструмент на основе CBN [4].

Зернистость круга определяется требованиями к точности обработки и условиями бездефектного шлифования. С уменьшением зернистости улучшаются условия микрорезания, уменьшаются силы резания единичным зерном, стойкость системы “зерно - связка”, уменьшается размерный износ круга. С другой стороны, вследствие уменьшения зернистости увеличивается число одновременно режущих зерен, благодаря чему растет средняя температура на площадке контакта круга с заготовкой, возрастает вероятность появления прижога, т.е. уменьшается стойкость круга.

Аналогичная картина наблюдается с увеличением твердости круга. С одной стороны, увеличение твердости вызывает увеличение прочности системы “зерно - связка”, уменьшение размерного износа круга. С другой стороны, увеличение прочности системы “зерно - связка” способствует меньшей самозатачиваемости круга, т.е. уменьшению его стойкости вследствие появления дефекта.

Таким образом, при назначении зернистости и твердости инструмента, используемого при глубинном шлифовании, исходят из его размерной стойкости и стойкости, ограниченной появлением дефектов. При

этом период стойкости круга, ограниченный моментом появления прижога, должен быть не менее периода его размерной стойкости.

Повышение производительности глубинного шлифования и качества поверхностного слоя могут быть обеспечены применением высокоструктурных кругов. Структура круга определяется содержанием зерна, связки и пор. Структура круга, используемого при глубинном шлифовании, должна быть такой, чтобы достигалось размещение в порах круга стружки, снимаемой за один цикл резания, и до разрушения системы “зерно - связка” обеспечивалось заполнение пор частицами стружки за счет адгезионного схватывания без засаливания круга. Кроме того, должно обеспечиваться хорошее вымывание стружки из пор режущей поверхности круга и перенос порами части жидкости в зону контакта круга с заготовкой. Такими свойствами обладают круги открытой структуры, поэтому круг для глубинного шлифования должен иметь 9...12-ю структуру.

Пористость абразивного инструмента образуется в результате сцепления абразивных зерен в местах их контакта со связующим веществом. Связка, располагаясь вокруг зерен в виде пленки, образует между зернами открытые поры. Размер пор и открытая пористость (отношение суммарного объема пор и капилляров, сообщающихся между собой и с поверхностью инструмента к его объему) являются основной характеристикой, определяющей проницаемость пористого материала и механическую прочность.

Внедрение новейшей технологии изготовления высокопористых кругов стало возможным в связи с изобретением технологии образования в абразивной массе корундовых микросфер, имеющих геометрически правильную форму шара со стенкой толщиной 1...5 мкм в зависимости от состава массы. Микросферы хорошо выдерживают нагрузку при прессовании инструмента, участвуя в создании прочного каркаса “зерно - микросферы - связка – воздух”.

Высокопористые шлифовальные круги, изготовленные по новой технологии, позволяют существенно расширить эксплуатационные возможности аналогичных кругов при обработке различных материалов, что доказано в ходе проведения ряда испытаний и длительного промышленного применения [5].

Поры способствуют дополнительному охлаждению, лучшему пропитыванию круга и проникновению СОЖ в зону резания. Применение пористых кругов уменьшает плотность зерен и силу резания, приходящуюся на одно зерно, облегчает правку и обеспечивает эффективное использование СОЖ.

Высокая пористость кругов достигается путем применения различных порообразующих веществ, выгорающих или выплавляемых в процессе изготовления кругов. В качестве порообразующих наполнителей применяют олово, пирит, полистирол синтетический, малосернистый

нефтяной кокс и др. В качестве наполнителей абразивного инструмента можно использовать поверхностно-активные вещества (ПАВ). Постепенное расплавление наполнителей при шлифовании и их взаимодействие с обрабатываемым материалом обеспечивают эффект, способствующий уменьшению общего тепловыделения и увеличению теплоотвода в круг [6].

Обработка глубинным шлифованием, характеризующаяся значительными теплонапряженностью, мощностью шлифования и силами, деформирующими систему “станок - приспособление - инструмент - заготовка”, подачей СОЖ под давлением с большим расходом, требует от круга высокой теплостойкости, жесткости, химической стойкости и водостойкости. Все эти свойства придают кругу керамические связки КЗ, К5. Наряду с этими связками при изготовлении инструментов для глубинного шлифования можно применять керамические боросодержащие, огнеупорные, химические и водостойкие связки, легированные оксидами лития, бария, меди.

В соответствии с указанными рекомендациями, явившимися результатом комплексных теоретических и экспериментальных исследований, были разработаны и внедрены в производство высокопористые круги на керамической связке. В качестве порообразующих наполнителей для кругов из электрокорунда 24А, 25А применяют классифицируемый по размеру фракции полистирол ПСС 40-15 или пирит П 40-15. Размер фракции 40 порообразователя соответствует 630...315 мкм. В качестве порообразователя для кругов из зеленого 64С и черного 54С карбидов кремния используется малосернистый нефтяной кокс НК с размерами фракции 400...250 мкм.

Бакелитовая связка, обладая низкими теплопроводностью и теплостойкостью (не более 400°C), при шлифовании интенсивно выгорает, и в результате обнажаются новые острые абразивные зерна. Это способствует лучшему самозатачиванию кругов, снижению силы и температуры шлифования. Кроме того, увеличивает стойкость круга до появления прижога.

Равная степень твердости достигается при содержании бакелитовой связки в 1,5...2 раза меньшем, чем керамической, что также способствует лучшему самозатачиванию кругов. Остаточные напряжения, формирующиеся в поверхностном слое детали после шлифования кругом на бакелитовой связке, в 1,3...1,5 раза меньше, а усталостная прочность образцов на 17...30% выше, чем после шлифования кругом на керамической связке.

Круги на вулканитовой связке имеют более высокую плотность структуры, большую упругость и эластичность, и меньшую хрупкость. При высокой температуре в зоне шлифования абразивные зерна вдавливаются в связку. Условия резания при этом ухудшаются, увеличивается работа трения, возрастают сила резания и температура. Это приво-

дит к появлению вибраций и прижогов шлифованной поверхности на первых же проходах. Поэтому для шлифования титановых и жаропрочных сплавов следует применять пульвербакелитовую связку [7].

Реализация оптимальных условий правки при глубинном шлифовании не должна вызывать серьезных затруднений в производстве. Большинство станков для глубинного шлифования, как в СНГ, так и за рубежом выпускают с программным управлением. Все параметры, управляющие шлифованием, в том числе и режимы правки, заносятся в программу и реализуются автоматически по мере осуществления цикла обработки.

В настоящее время на кафедре «Технологии производства двигателей летательных аппаратов» Национального аэрокосмического университета имени Н.Е. Жуковского «ХАИ» совместно с институтом проблем машиностроения имени А.Н. Подгорного были разработаны способ и устройство для планетарного глубинного шлифования при помощи планетарной шлифовальной головки (ПШГ) [12, 13], устанавливаемой на обычном серийном оборудовании. Применение ПШГ позволяет существенно снизить энергоёмкость процесса, а так же температуру, что исключает появления прижогов. А так же обеспечивает остаточные напряжения сжатия, что благотворно влияет на эксплуатационные характеристики изделия.

Выводы

Для широкого внедрения в производство абразивной обработки ТОМ проводятся работы по повышению прочности кругов (армирование и упрочнение напряженной части), улучшение их характеристик (выбора оптимальной зернистости, пористости, связки и наполнителей), созданию композитных кругов и кругов с прерывистой рабочей поверхностью [8] и т.д. В результате выше приведенных исследований были изготовлены и опробованы в промышленных условиях ПШГ для глубинного шлифования труднообрабатываемых материалов. Что позволило произвести замену дорогостоящих кругов (указанных выше) на обычные круги, вплоть до изношенных кругов из обычных материалов, применения дорогих СОЖ с ПАВ и специальных станков для глубинного шлифования.

Список использованных источников

1. Филимонов, Л.Р. Высокоскоростное шлифование [Текст] / Л.Р. Филимонов. – Л.: Машиностроение, 1979. – 248 с.
2. Саютин, Г.И. Выбор шлифовальных кругов [Текст] / Г.И. Саютин. – М.: Машиностроение, 1976. – 64 с.
3. Саютин, Г.И. Выбор инструмента и СОЖ при шлифовании титановых сплавов [Текст] / Г.И. Саютин, В.А. Носенко, Д.Н. Спиридонов // Станки и инструмент, 1981, №11. – С.15 – 17.

4. Научно-технический журнал «Двигатель [Электронный ресурс]. – Режим доступа: www.engine.aviaport.ru.
5. Попов, С.А. Шлифование высокоскоростными кругами [Текст] / С.А. Попов, Р.В. Ананьян. – М.: Машиностроение, 1980. – 45 с.
6. Островский, В.И. Усовершенствование абразивного инструмента для шлифования труднообрабатываемых материалов [Текст] / В.И. Островский. – Л.: ЛДНТН, 1973. – 31 с.
7. Саютин, Г.И. Шлифование деталей из сплавов на основе титана [Текст] / Г.И. Саютин., В.А. Носенко. – М.: Машиностроение, 1987. – 80 с.
8. Лебедев, В.Г. Определение оптимальных режимов шлифования при обработке композиционными кругами по температурно-силовым критериям [Текст] / В.Г. Лебедев, Ю.А. Чуюс. – Одесса, 1986. – 54 с.
9. Байкалов, А.К. Введение в теорию шлифования [Текст] / А.К. Байкалов. – К.: Наукова думка, 1978. – 207 с.
10. Маслов, Е.Н. Теория шлифования материалов [Текст] / Е.Н. Маслов. – М.: Машиностроение, 1974. – 320 с.
11. Филимонов, Л.Р. Высокоскоростное шлифование [Текст] / Л.Р. Филимонов. – Л.: Машиностроение, 1979. – 248 с.
12. Пат. 78872 Украина, В 24 В 1/100. Способ планетарного шлифования / А.А. Горбачев, Н.В. Сурду, А.И. Долматов, А.В. Телегин; заявитель и патентообладатель Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «Харьковский Авиационный Институт». – № а 2005 04196; заявл. 04.05.05; опубл. 25.04.07, Бюл. № 5.
13. Пат. 91409 Украина, В 24 В 1/100. Устройство и способ планетарного шлифования плоских поверхностей / М.А. Курин, А.И. Долматов, А.Ф. Горбачёв, А.А. Горбачёв; заявитель и патентообладатель Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «Харьковский Авиационный Институт». — № а 2008 11417; заявл. 22.09.08; опубл. 26.07.10, Бюл. № 14.

Поступила в редакцию 28.03.2013.

*Рецензент: д-р техн. наук, проф. В.Ф. Сорокин,
Национальный аэрокосмический университет
им. Н.Е. Жуковского «ХАИ», г. Харьков.*