

УДК 621.923

В.В. Гусев, д-р техн. наук, Л.П. Калафатова, д-р техн. наук,
Донецк, Украина, С.Ю. Олейник, Краматорск, Украина

ПОВЫШЕНИЕ ВИБРОУСТОЙЧИВОСТИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ ВО ВРЕМЯ АЛМАЗНОГО ШЛИФОВАНИЯ ТОНКОСТЕННЫХ ОБОЛОЧЕК ВРАЩЕНИЯ ИЗ СИТАЛЛОВ

У статті представлена структура взаємозв'язків факторів, що впливають на рівень вібрації технологічної системи.

В статье представлена структура взаимосвязей факторов, влияющих на уровень вибрации технологической системы.

The structure of intercommunications of factors which influence on the level of vibration of the technological system is presented in the article.

Введение. Алмазное шлифование крупногабаритных сложнопрофильных тонкостенных оболочек из хрупких неметаллических материалов является неотъемлемой частью технологического процесса создания элементов конструкций изделий авиационной и ракетной техники, эффективность которого определяет трудоемкость, себестоимость и качество изделий.

Требования к качеству, предъявляемые к рассматриваемым деталям, определяются условиями их эксплуатации. Основными требованиями являются обеспечение аэродинамичности конструкции, высокой механической прочности, способной сохраняться при эксплуатационных температурах, а также селективное пропускание электроэнергии в заданном интервале частот и относительно малая масса изделия. Аэродинамические требования обеспечиваются формой рассматриваемых деталей-оболочек. Требования к прочности, радиопрозрачности и небольшой массе обеспечиваются физико-механическими свойствами материала (ситалла АС-418), из которых изготавливают рассматриваемые изделия. Обеспечение необходимых радиотехнических свойств изделия возможно при соблюдении высоких требований по точности формы, отклонению от заданной толщины стенки не более $\pm 0,1$ мм и шероховатости обработанной поверхности $Ra \leq 2,5$ мкм. Прочность изделия в основном обеспечивается отсутствием дефектности в приповерхностном слое.

Заготовки тонкостенных оболочек вращения из ситалла получают методом центробежного литья. Усадка материала при формовании заготовки

приводит к значительным макроотклонениям ее контура от заданного, что предполагает последующую многоэтапную механическую обработку. Заданная точность профиля изделия обеспечивается на операциях механической обработки, которые включают черновые и чистовые операции шлифования внутреннего и наружного контуров, на которых удаляется основной припуск (до 8-10 мм на сторону). При этом алмазно-абразивная обработка ведется способом глубинного шлифования (глубина резания - 0,5... 1,5 мм), которое сопровождается хрупким разрушением обрабатываемого материала (ОМ) и формированием нарушенного обработкой дефектного слоя.

Целью представляемой работы является обобщение результатов проведенных исследований, связанных с определением влияния входных технологических факторов на динамическую устойчивость элементов системы алмазного шлифования сложнопрофильных изделий из ситалла и, как следствие, на волнистость формируемой поверхности как очевидного показателя уровня вибраций, вызванных обработкой.

Основная часть. Алмазное шлифование тонкостенных оболочек вращения происходит в условиях динамической неустойчивости процесса резания, которая обусловлена неравномерной жесткостью подсистемы «шпиндель-оправка-заготовка» по длине оболочки; неравномерностью сил резания в процессе шлифования при перемещении круга по формируемой поверхности изделия; быстрым износом шлифовальных кругов; биением (до 0,02 - 0,06 мм) и огранкой алмазного инструмента, что является источником возбуждения вынужденных колебаний с частотами, кратными частоте вращения круга [1, 2].

Схема базирования заготовки представлена на рисунке 1. В результате обработки формируется профиль изделия, который как в продольном, так и в радиальном направлениях характеризуется волнистостью с переменными шагом (3 – 8,5 мм) и высотой (0,08 – 0,16 мм) для различных участков заготовки. Окончательная механическая обработка поверхности осуществляется доводкой алмазными брусками, которая в виду сложности профиля изделия производится вручную, что увеличивает трудоемкость получения готовой детали. Наряду с этим вибрации в технологической системе во время обработки не только влияют на точность и качество профиля, но и повышают глубину распространения дефектного слоя и интенсивность дефектообразования вплоть до глубин 200 - 360 мкм, что было экспериментально доказано в работе [3]. Для обеспечения заданных прочностных свойств изделия после его механической обработки в зависимости от наличия, глубины и структуры нарушенного обработкой поверхностного слоя проводится операция химического травления, на которой полностью удаляется дефектный слой, с последующим ионным упрочнением сформированной поверхности. Поэтому важной технологической задачей является повышение качества поверхности (минимизация дефектности) детали после алмазно-абразивной обработки.

В работах [4, 5] было определено, что спектр колебаний технологической системы (ТС) во время алмазного шлифования обусловлен сложным комплексом взаимодействия свободных, вынужденных, параметрических колебаний. Спектр собственных частот технологической подсистемы «шпиндель-приспособление-заготовка» также достаточно разнообразен и зависит от конструктивных характеристик подсистемы, включая конструкции приспособления-оправки и обрабатываемой заготовки, а также от расположения их друг относительно друга, то есть, от способа базирования и фиксации заготовки на оправке.

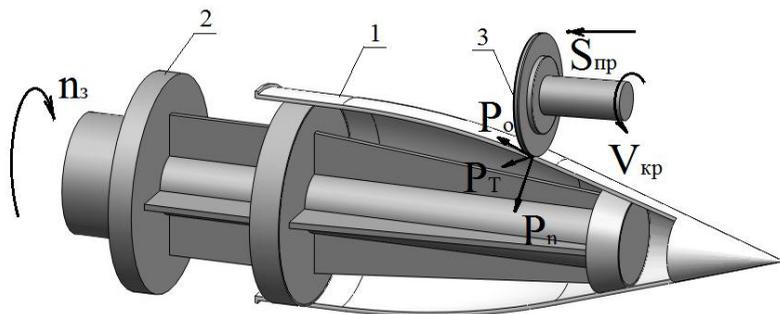


Рисунок 1 – Схема базирования заготовки на операции наружного шлифования изделия: 1 – формируемый контур изделия; 2 – приспособление-оправка, в котором опорными участками служат гетинаксовые втулки; 3 – алмазный круг 1A1 200x10x3x76 A1-315/250-4- M2-01

По результатам анализа динамического поведения ТС алмазного шлифования были разработаны расчетные схемы (рис. 2 а, б) упругой системы алмазно-абразивной обработки, на основании которых была создана модель динамического поведения ТС с учетом параметрических колебаний заготовки-оболочки. Используя разработанную модель, проведено исследование влияния различных входных технологических параметров на интенсивность вибраций в зоне контакта инструмента и заготовки, результаты которых представлены в работе [6].

Вибрации ТС (см. рис. 2,а) в данном случае рассматриваются как фактор, напрямую влияющий на качество поверхностного слоя, в данном случае его геометрическую характеристику – волнистость. В связи с этим расчет динамических характеристик был приведен к зоне контакта шлифовального круга и заготовки как к пространству, в котором происходит формирование геометрии поверхности изделия. Подсистему алмазно-абразивной обработки наружной поверхности заготовки – тонкостенной оболочки представим в виде трехмассовой модели. На схеме (см. рис. 2,а) элементы системы обозначены

следующим образом: инструмент (алмазный круг) m_1 , обрабатываемая заготовка m_2 ; оправка, на которой установлена заготовка, m_3 . Кроме того, для расширения возможностей модели в принципиальной расчетной схеме учтен шпиндельный узел m_4 . Расчет колебаний поверхности оболочки будет осуществляться по законам теории оболочек [7-9] (рис 2, б). Колебания моделируются в направлении действия нормальной составляющей силы резания $P_n(t)$ как силы, оказывающей наибольшее влияние на возникновение динамической неустойчивости процесса обработки. На рис. 2, б точки 1...10 – точки, ограничивающие области изменения параметров рассматриваемой технологической системы.

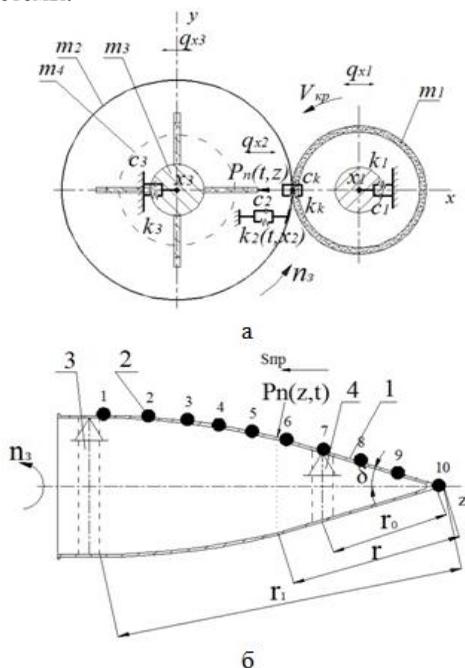


Рисунок 2 – Расчетная схема: а) Принципиальная схема упругой системы алмазно-абразивной обработки тонкостенной оболочки вращения из ситалла; б) Схема к расчету параметрических колебаний стенки заготовки-оболочки, где 1 – консольная часть оболочки; 2 – часть оболочки, располагающаяся между опорами; 3, 4 – опоры приспособления

Для моделирования характеристик параметрических колебаний схема алмазной обработки изделия представлена как оболочка, на которую действует

локальная нагрузка ($P_n(z,t)$), перемещающаяся по ее поверхности со скоростью вращения заготовки, и с нагрузкой, соответствующей нормальной составляющей силы резания, действующей на обрабатываемую поверхность, с учетом параметров рабочей поверхности инструмента (РПИ) (см. рис. 2, б).

Причиной возникновения параметрических колебаний является изменение во времени жесткости оболочки под влиянием приложенных перемещающихся локальных нагрузок – составляющих силы резания. Этот эффект является следствием взаимовлияния продольных и поперечных прогибов в системе. Расчет и анализ амплитуд и частот колебаний стенки оболочки проведен на основании решения дифференциального уравнения с периодическими коэффициентами [10], описывающими динамическое поведение системы, к которой приведена рассматриваемая ТС алмазной обработки. На основании схемы (см. рис. 2, а) составлена модель динамического поведения ТС алмазного шлифования с учетом биения и огранки шлифовального круга, а также нелинейных колебаний тонкостенной оболочки [5].

Показатели вибраций в зоне контакта шлифовального круга и заготовки являются результатом действия большого количества входных параметров. Для наглядности анализа влияния входных параметров на вибрации и качество получаемой поверхности на основании разработанной динамической модели поведения ТС составлена схема взаимосвязи факторов, оказывающих влияние на вибрации в зоне контакта и состояние поверхности после шлифования, которая представлена на рис. 3.

При помощи схемы, представленной на рис. 3 и динамической модели, созданной с использованием системы имитационного моделирования Simulink, исследованы способы снижения вибраций ТС.

Выводы. Основными факторами, определяющими вынужденные колебания, в соответствии с результатами моделирования процесса шлифования и проведенными исследованиями, являются динамические характеристики элементов ТС: частоты, вызывающие вынужденные колебания, определяемые биением и огранкой шлифовального круга, и нормальная составляющая силы резания. Однако наибольшее влияние на вибрации и волнистость формируемой поверхности оказывают параметрические колебания стенки оболочки, которые определяются частотой вращения заготовки, величиной прикладываемой подвижной нагрузки (нормальной составляющей силы резания $P_n(z,t)$) и геометрическими параметрами самой оболочки. Эти факторы и определяют основные методы управления вибрациями при алмазном шлифовании тонкостенных сложнопрофильных оболочек вращения. К ним относятся: уменьшение силового воздействия на обрабатываемую поверхность; «отстройка от резонансной частоты» путем управления параметрами режима резания, определяющими скорость перемещения нагрузки по поверхности; увеличение жесткости оболочки с целью увода ТС из неустойчивого состояния относительно области возникновения ее параметрических колебаний.

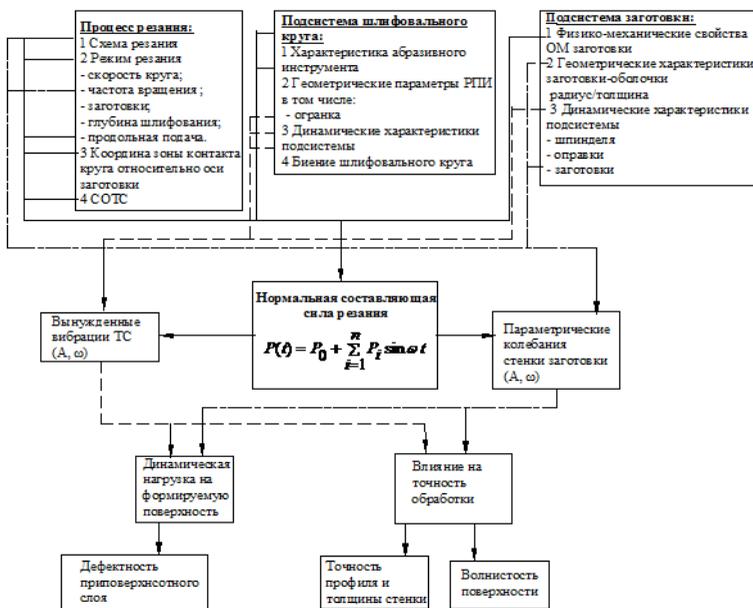


Рисунок 3 – Структура взаимосвязи факторов, влияющих на вибрации в зоне контакта круга и заготовки – тонкостенной оболочки при алмазном шлифовании

Список используемых источников: 1. Гусев В.В. Исследование динамических характеристик элементов системы СПИД при шлифовании деталей сложной пространственной формы из ситаллов / В.В. Гусев, Л.П. Калафатова и др. // Надійність інструменту та оптимізація технологічних систем. – 2007. – №21. – С. 148 – 155. 2. Гусев В.В. Повышение качества алмазного шлифования тонкостенных оболочек из ситалла путем снижения вибраций в технологической системе / В.В. Гусев, Л.П. Калафатова и др. // Наукові праці ДонНТУ. – 2010. – №7 (166). – С. 156-167. 3. Гусев В.В. Влияние динамического воздействия на формирование структуры дефектного слоя ситалла / В.В. Гусев, Л.П. Калафатова и др. // Резание и инструмент в технологических системах. – 2012. - вып. 81. – С. 76 – 82. 4. Гусев В.В. Обоснование расчетной схемы для исследования динамического состояния технологической системы алмазно-абразивной обработки тонкостенных оболочек из ситалла / В.В. Гусев, Л.П. Калафатова и др. // Сучасні технології в машинобудуванні. – 2011. – №6. – С. 14-23. 5. Гусев В.В. Исследование динамического состояния технологической системы алмазно-абразивной обработки тонкостенных оболочек из ситаллов / В.В. Гусев, Л.П. Калафатова и др. // Вісник СевНТУ. – Вып. 128. – 2012. – С. 60-67. 6. Гусев В.В. Исследование влияния конструкции оправки на вибрации в зоне контакта алмазного круга и изделия при шлифовании крупногабаритных тонкостенных оболочек вращения из хрупких неметаллических материалов / В.В. Гусев, Л.П. Калафатова и др. // Надійність інструменту та оптимізація технологічних систем. – 2013. – №. 32. – С. 122-130. 7. Вольмир А.С. Нелинейная динамика пластинок и оболочек / А.С. Вольмир – М.: Наука, 1972. – 432 с. 8. Шмидт Г. Параметрические колебания / Пер. с нем. В.М. Старжинского. – М.: Мир, 1978. – 336 с. 9. Михасев Г.И. Локализованные колебания и волны в тонких оболочках. Асимптотические методы / Г.И. Михасев, П.Е. Товстик. – М.: Физматлит. – 2009. -292 с. 10. Якушев Н.З. Коническая оболочка под действием подвижных нагрузок / Н. З Якушев, Р. С. Якушев // Исследования по теории пластин и оболочек. – 1975. – № 11 – С. 303-316.

Поступила в редакцию 25.06.2013