

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ РЕЖИМОВ ШЛИФОВАНИЯ НА КОЛЕБАНИЯ ЭЛЕМЕНТОВ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ АЛМАЗНО-АБРАЗИВНОЙ ОБРАБОТКИ ТОНКОСТЕННЫХ ОБОЛОЧЕК ВРАЩЕНИЯ ИЗ СИТАЛЛА

Олейник С. Ю.

Представлены результаты исследования низкочастотных вибраций шлифовального круга и заготовки – тонкостенной оболочки вращения из ситалла. Вибрации во время алмазного шлифования являются причиной волнистости поверхности. Разработанная расчетная модель позволяет прогнозировать уровень волнистости поверхности в зависимости от режимов шлифования и динамических характеристик элементов технологической системы. Значительное влияние на величину продольной волнистости поверхности на операции алмазно-абразивной обработки оказывает контурная скорость обработки. В статье представлен расчет суммарной амплитуды относительных колебаний элементов технологической системы для двух значений подач в зависимости от частоты вращения заготовки.

Представлені результати дослідження низькочастотних вібрацій шліфувального круга і заготовки – тонкостінної оболонки обертання з ситалу. Вібрації під час алмазного шліфування є причиною хвилястості поверхні. Розроблена розрахункова модель дозволяє прогнозувати рівень хвилястості поверхні залежно від режимів шліфування і динамічних характеристик елементів технологічної системи. Значний вплив на величину поздовжньої хвилястості поверхні на операції алмазно-абразивної обробки надає контурна швидкість обробки. У статті подано розрахунок сумарної амплітуди відносних коливань елементів технологічної системи для двох значень подач залежно від частоти обертання заготовки.

The results of research of low-frequency vibrations of grinding wheel and part thin-walled shells of glass-ceramic are presented. Vibrations during the diamond grinding are reason of waviness of surface after machining. The modal was developed to predict final waviness of surface from grinding parameters and dynamic behavior of detail parts of technological system of grinding. Significant influence on the value of the longitudinal surface waviness on the operation of diamond-abrasive machining has contour speed. In this paper the calculation of summary amplitude of the oscillation of the relative elements of the technological system for two feeds which depend of the rotation frequency of the workpiece is presented.

Олейник С. Ю.

аспирант кафедры ТМ ДГМА
svetaoleynik@list.ru

УДК 621.923

Олейник С. Ю.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ РЕЖИМОВ ШЛИФОВАНИЯ НА КОЛЕБАНИЯ ЭЛЕМЕНТОВ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ АЛМАЗНО-АБРАЗИВНОЙ ОБРАБОТКИ ТОНКОСТЕННЫХ ОБОЛОЧЕК ВРАЩЕНИЯ ИЗ СИТАЛЛА

К изделиям космической и ракетной отраслей машиностроения – сложнопрофильным тонкостенным оболочкам вращения предъявляются высокие требования к качеству поверхности, связанные с условиями их эксплуатации. Особенности конструкции оболочки зависят от аэродинамических требований к изделию.

Требования к прочности, радиопрозрачности и относительно небольшой массе обеспечиваются физико-механическими свойствами материала (ситалла АС – 418), из которого изготавливают рассматриваемые изделия. Необходимые радиотехнические свойства изделия реализовываются при соблюдении высоких требований к точности формы, отклонению от заданной толщины стенки не более $\pm 0,1$ мм и шероховатости обработанной поверхности $Ra \leq 2,5$ мкм. Прочность изделия обеспечивается отсутствием дефектности в приповерхностном слое.

В связи с тем, что невозможно обеспечить точность формы и требуемое качество поверхности на этапе получения заготовки (центробежное литье), изделие подвергается многоэтапной механической обработке, которая включает черновые и чистовые операции шлифования внутреннего и наружного контуров, при этом удаляется основной припуск величиной до 8–10 мм на сторону.

Алмазно-абразивная обработка ведется способом глубинного шлифования (глубина резания 0,5–1,5 мм), которое сопровождается хрупким разрушением обрабатываемого материала и формированием нарушенного обработкой дефектного слоя.

Поверхность заготовки тонкостенной оболочки после алмазного шлифования характеризуется волнистостью, достигающей по результатам измерений 0,08–0,16 мм по высоте и 3–8,5 мм по шаговому параметрам. При этом волнистость вдоль оси заготовки непостоянна по своим показателям.

Анализ научной литературы показал, что основной причиной волнистости поверхности после шлифования являются низкочастотные вибрации в технологической системе механической обработки [1]. Кроме того, наличие вибраций снижает производительность обработки, приводит к повышенному износу инструмента и повышает уровень дефектности приповерхностного слоя [2].

Поэтому объектом исследования стали колебания элементов технологической системы (ТС) приведенные к зоне контакта алмазного шлифовального круга и заготовки, происходящие во время алмазно-абразивной обработки (рис. 1).

Целью данной работы является поиск путей повышения качества наружной поверхности во время алмазного шлифования оболочек вращения из хрупкого неметаллического материала за счет снижения колебаний элементов технологической системы.

На рис. 1 приняты следующие обозначения: 1 – формируемый контур изделия; 2 – алмазный круг 1А1 200 × 10 × 3 × 76 А1-315/250 – 4 – М2-01; 3 – приспособление-оправка, в котором опорными участками служат гетинаксовые втулки.

В работах [3, 4] было определено, что спектр колебаний ТС во время алмазного шлифования обусловлен сложным комплексом взаимодействия свободных, вынужденных и 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.

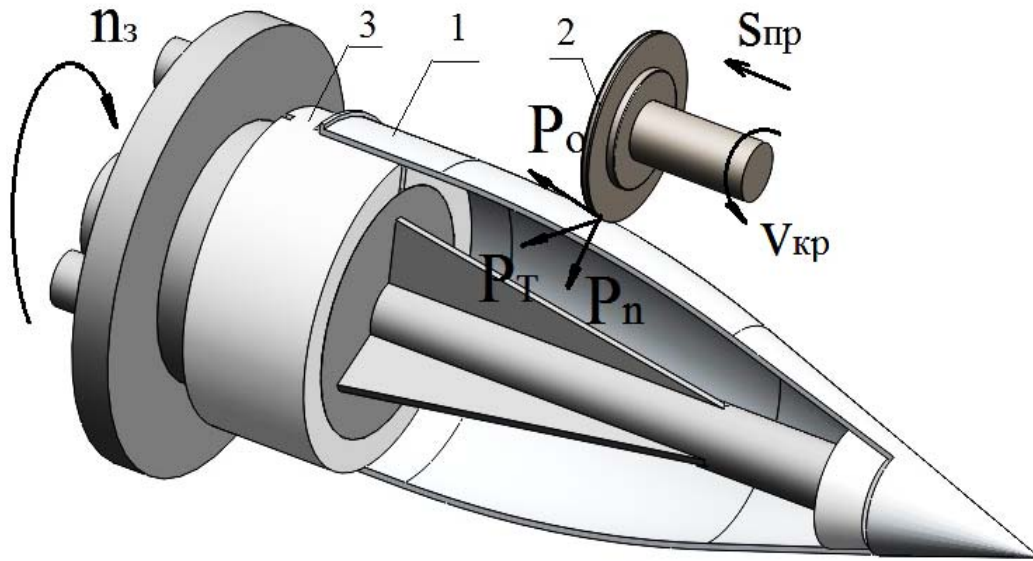


Рис. 1. Схема обработки заготовки на операции наружного шлифования изделия

При воздействии подвижной нагрузки на оболочку возникают низкочастотные колебания стенки заготовки, которые можно описать как параметрические [5]. Расчетная схема заготовки-оболочки представлена на рис. 2. На схеме рис. 2 приняты следующие обозначения: 1 – консольная часть оболочки; 2 – часть оболочки, располагающаяся между опорами; 3, 4 – опоры приспособления; точками 1–10 обозначены области, ограничивающие изменения параметров рассматриваемой ТС; δ – угол наклона поверхности к оси z ; r_0 , r_1 – расстояния до первой и второй опор от вершины оболочки, r – расстояние до прилагаемой нагрузки P_n (зоны контакта шлифовального круга и заготовки).

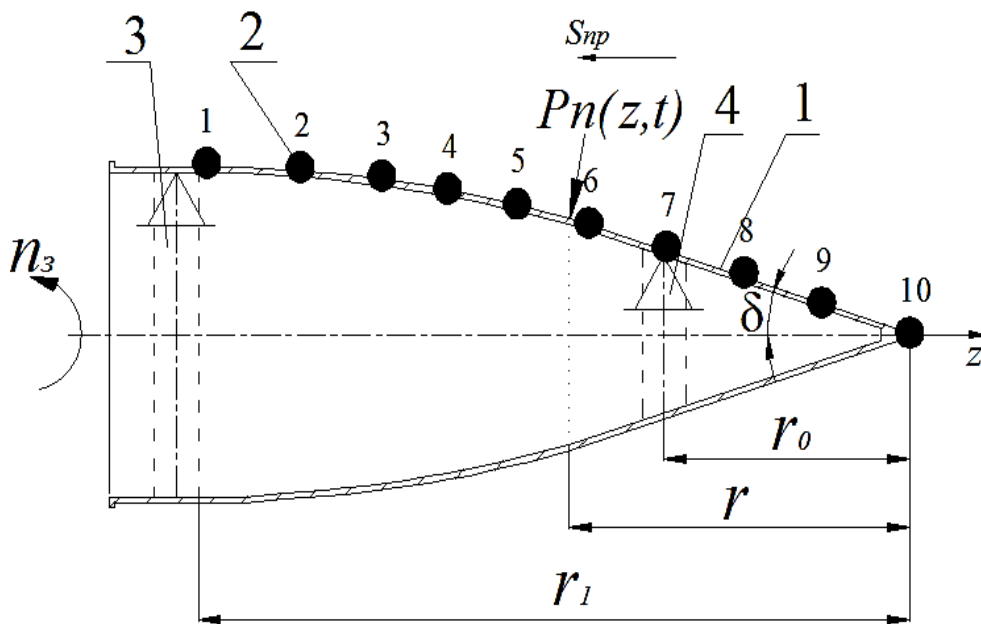


Рис. 2. Схема к расчету колебаний стенки заготовки-оболочки

По результатам анализа динамического поведения ТС алмазного шлифования были разработаны расчетные схемы упругой системы алмазно-абразивной обработки, на основании которых была создана модель динамического поведения ТС с учетом параметрических колебаний заготовки-оболочки.

Реализация разработанной математической модели была осуществлена в среде визуального моделирования динамических систем. Адекватность модели подтверждена при сравнении результатов расчетов и профилограмм, отображающих параметры волнистости наружной поверхности [4]. Применение расчетной модели позволит снизить затраты на проведение экспериментальных работ при оценке состояния ТС.

Расчетным и экспериментальным путями было установлено, что основными факторами, определяющими вынужденные колебания, в соответствии с результатами моделирования процесса шлифования и проведенными исследованиями, являются динамические характеристики элементов ТС. Однако большое влияние на вибрации и волнистость формируемой поверхности оказывают параметрические колебания стенки оболочки, которые определяются частотой вращения заготовки (n_3), величиной прикладываемой подвижной нагрузки (P_n) и геометрическими параметрами самой оболочки.

Эти факторы и определяют основные пути 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, и увеличение жесткости оболочки с целью увода ТС из неустойчивого состояния относительно области возникновения ее параметрических колебаний.

Выбор расчетным путем рационального расположения опор оправки относительно поверхности заготовки с учетом ее параметрической устойчивости позволяет сократить вибрации в зоне контакта в среднем на 23 % [6].

Расчет колебаний в зоне контакта шлифовального круга и заготовки показал, что большое влияние на вибрации оказывает частота вращения заготовки.

Изменения амплитуды колебаний в зависимости от частоты вращения заготовки представлены на рис. 3. Расчет сделан для оболочки на участке 4 – 3 (см. рис. 2). С помощью расчетной модели для величин подач 0,125 мм/об (кривая 1) и 0,73 мм/об (кривая 2), минимально и максимально возможных в рассматриваемых условиях обработки, было определено изменение амплитуды колебаний в зоне контакта для ряда частот от 20 об/мин до 200 об/мин. Глубина шлифования составляла 1 мм, скорость круга – 40 м/с.

Из графиков на рис. 3 видно, что амплитуда параметрических колебаний оболочки уменьшается при увеличении частоты ее вращения. Монотонность уменьшения амплитуды нарушается всплесками, которые можно объяснить увеличением нагрузки (силы резания) при повышении частоты вращения заготовки.

Расчетная нормальная составляющая силы резания (P_n) для частоты вращения заготовки 47,7 об/мин составляет 76,7 Н, для частоты 191 об/мин – 202,7 Н (кривая 1, рис. 3). Таким образом, сила резания увеличивается в 4,2 раза при увеличении частоты вращения заготовки в 5 раз, а амплитуда колебаний уменьшается в 8,9 раз.

Расчетная нормальная составляющая силы резания (P_n) для частоты вращения заготовки 47,7 об/мин составляет 289 Н, для частоты 191 об/мин – 672 Н (кривая 2, рис. 3). Таким образом, сила резания увеличивается в 2,3 раза при увеличении частоты в 5 раз, а амплитуда колебаний уменьшается в 16 раз, что свидетельствует о большем влиянии на амплитуду колебаний скорости движения нагрузки.



Рис. 3. Амплитуда колебаний в зоне контакта круга и заготовки в зависимости от ее частоты вращения

ВЫВОДЫ

Результаты расчета, представленные на рис. 3, показывают, что изделие–оболочка, обрабатываемое на подаче 0,73 мм/об (кривая 2) относительно параметрических колебаний имеет большую устойчивость, чем при подаче 0,125 мм/об (кривая 1). Для частоты вращения менее 40 об/мин и подачи 0,125 мм/об, наблюдаются значительные амплитуды, а менее 20 об/мин – параметрические резонансы. На фоне повышения динамической устойчивости на больших подачах производительность обработки увеличивается. Однако значительное повышение частоты вращения заготовки ограничивается увеличением силы резания, которая оказывает отрицательное влияние на другой параметр качества – дефектность. Таким образом, рациональный выбор и управление сочетанием режимов обработки позволит снизить колебания стенки заготовки–оболочки, а, следовательно, и волнистость поверхности во время алмазного шлифования.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Кудинов В. А. Динамика станков / В. А. Кудинов. – М. : Машиностроение. – 1967. – 357 с.
- 2 Гусев В. В. Влияние динамического воздействия на формирование структуры дефектного слоя ситалла / В. В. Гусев, Л. П. Калафатова, Д. В. Поколенко // Резание и инструмент в технологических системах. – 2012. – Вып. 81. – С. 76–82.
- 3 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, С. Ю. Олейник // Сучасні технології в машинобудуванні. – 2011. – № 6. – С. 14–23.
- 4 Гусев В. В. Исследование динамического состояния технологической системы алмазно-абразивной обработки тонкостенных оболочек из ситаллов / В. В. Гусев, Л. П. Калафатова, С. Ю. Олейник // Вісник СевНТУ. – Вып. 128. – 2012. – С. 60–67.
- 5 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.
- 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, С. Ю. Олейник // Надійність інструменту та оптимізація технологічних систем. – 2013. – №. 32. – С. 122–130.