

УДК 661.862

МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕРМИЧЕСКОГО РАСТРЕСКИВАНИЯ ОКСИДНОГО ПОКРЫТИЯ ПРИ ШЛИФОВАНИИ

Данилович В.С., магистрантка

Научный руководитель – профессор Яцкевич О.К.

Белорусский национальный технический университет

E-mail: mstools@bntu.by

Шлифование оксидной керамики требует тщательного учета множества параметров для достижения высокого качества обработки и минимального износа инструмента. Значительную долю применяемых для плазменного напыления порошков составляют керамические материалы, используемые для формирования защитных покрытий с высокой твердостью, химической стойкостью, низкой тепло- и электропроводностью. Типичными представителями покрытий данного типа являются плазменные керамические покрытия на основе широкодоступного и дешевого оксида алюминия (Al_2O_3).

Основной недостаток, сдерживающий распространение износостойких покрытий данного типа – низкая прочность сцепления с металлической основой. Основная причина растрескивания и отслаивания покрытий под нагрузкой – значительного отличия в свойствах покрытия и основы, а также наличия высоких остаточных напряжений после остывания покрытия.

Анализ существующих методов повышения прочности сцепления керамических покрытий показал, что решение этой проблемы достигается, как за счет подготовки поверхности, создания промежуточных переходных слоев и воздействия на уже сформированные покрытия, так и модификации самих напыляемых порошков. Среди указанных последний методов имеет наибольшие перспективы, поскольку позволяет одновременно решать проблемы повышения прочности сцепления и обеспечивать управляемость свойствами формируемых покрытий.

При шлифовании в зоне контакта «шлифовальный круг» – «деталь» могут возникать локальные высокие температуры из-за особенностей процесса микрорезания абразивными зёрнами. Локальный нагрев изменяет напряжённое состояние

поверхностного слоя. Если остаточные напряжения в поверхностном слое превысят по величине временное сопротивление материала к разрыву, то образуются прижоги. Прижоги сопровождаются местными трещинами, снижают твёрдость и износостойкость поверхностного слоя детали. При обработке покрытий из оксидной керамики эти явления усугубляются, как из-за высокой твердости и, соответственно, хрупкости покрытия, так и из-за разных термодинамических свойств покрытия и металлической основы.

Изучим условия разрушения покрытия при локальном повышении температуры из-за неравномерного теплового расширения покрытия и металлической основы посредством термоупругого МКЭ-расчета. В работе представлен оценочный расчет в стационарной постановке модели в виде вала. Необходимо определить температуру, при достижении которой начнет разрушаться оксидное покрытие на металлическом (стальном) вале.

Исходная модель, представленная на рисунке 1, включает три слоя – основа, подоснова и керамическое покрытие на поверхности вала. Слои создавались как отдельные детали, без объединения с предыдущими для оптимального расчета, толщина верхних слоев модели – 1 мм.

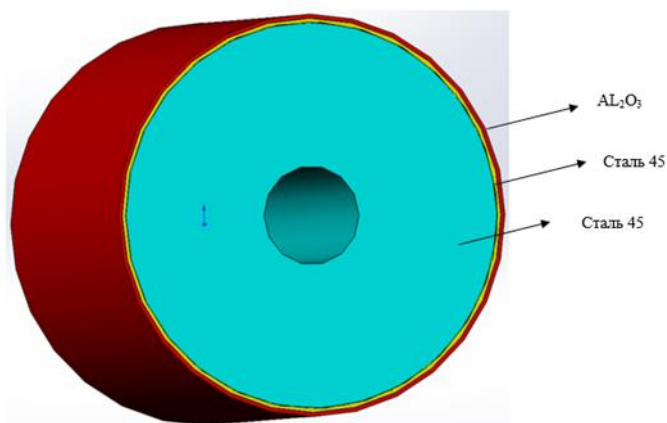


Рисунок 1 – Модель стального вала с покрытием

Моделирование нагрузок осуществлялось с помощью ANSYS, где были заданы размеры КЭ для наружных слоев 0,2 мм и

внутренних 1-2 мм. Параметры используемых материалов представлены в таблице 1.

Известно, что температура от прижога не распространяется дальше, чем на 1 мм в ширину и 0.5 мм в глубину. Поэтому в МКЭ-модели на выделенную площадку слоя керамики приложили температуру 1000°C, а во внутренних слоях стали задали температуру окружающей среды 22°C (рисунок 2).

Таблица 1 – Параметры материалов [1, 2, 3]

Параметры	Сталь 45	Оксид алюминия
Плотность, Кг/м ³	7850	3700
Модуль упругости, ГПа	200	320
Коэффициент Пуассона	0,3	0,23
Теплопроводность, Вт/м×°C		
Коэффициент теплового расширения, ×10 ⁻⁶ 1/°C	12	7

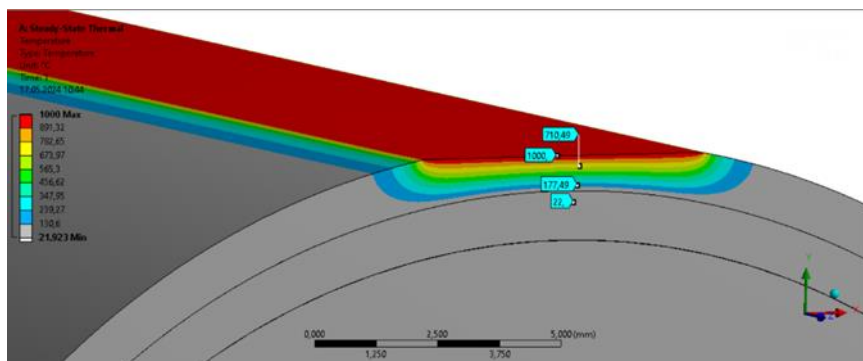


Рисунок 2 – Распределение температур в поверхностном слое

При приложенной температуре в 1000°C основной слой, состоящий из стали 45, практически не подвергается деформациям, а характер перемещений свидетельствует о расширении заготовки под действием температурного влияния. На рисунке 3 представлена картина эквивалентных напряжений, максимальное значение напряжения 2617 МПа достигается в верхнем слое керамики.

Исходя из картины минимального и максимального напряжения (рисунок 4), можно сделать вывод, что напряжение

сжатия почти в 3 раза превышает напряжение растяжения. Это происходит из-за разницы коэффициента линейного теплового расширения между сталью и оксидом алюминия, который равен для стали 12×10^{-6} , а для оксида алюминия 7×10^{-6} , в процессе нагревания оксид алюминия начинает расширяться.

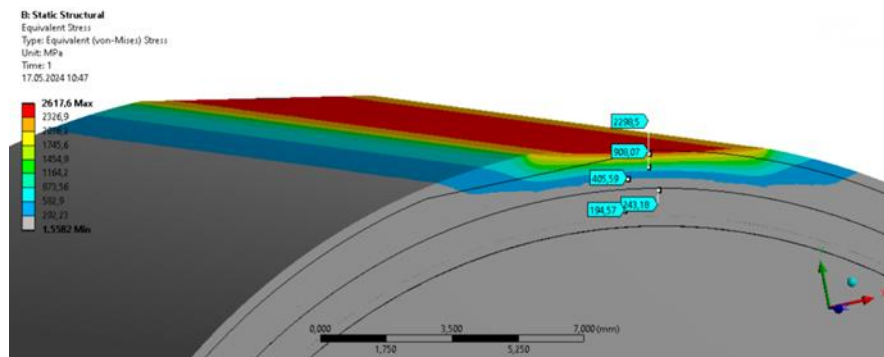


Рисунок 3 – Эквивалентные напряжения

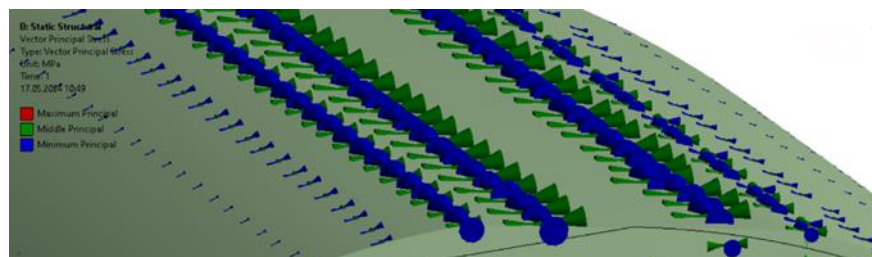
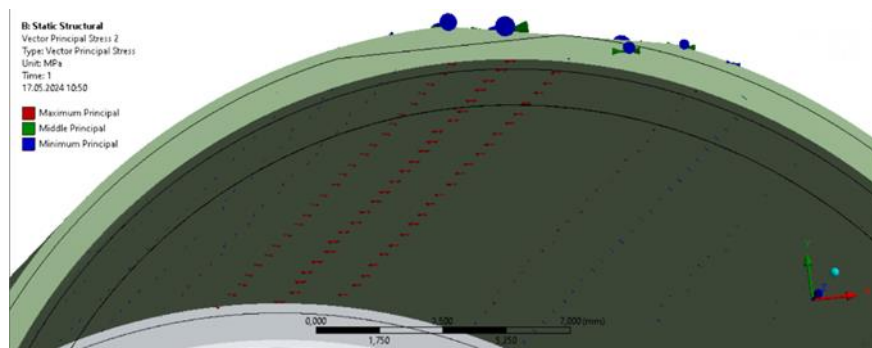


Рисунок 4 – Напряжения сжатия и растяжения

На границе стыка оксида алюминия и стали касательные напряжения составляют 272 МПа. Из этого можно сделать вывод, что полученные касательные напряжения при приложенной температуре 1000°C превышают почти в 3 три раза допустимые касательные напряжения, которые варьируются (по экспертным оценкам) от 20 до 100 МПа для оксида алюминия [3, 4, 5], возникающие из-за разницы коэффициента теплового расширения, что приводит к разрушению покрытия и предположительно к его отслаиванию. Поэтому, в данном опыте, температуру на поверхности последовательно уменьшали до 300°C. В этом случае касательные напряжения составляют 77 МПа (рисунок 5), что является меньше допустимых. При такой температуре в зоне резания при шлифовании отслаивание керамического покрытия маловероятно.

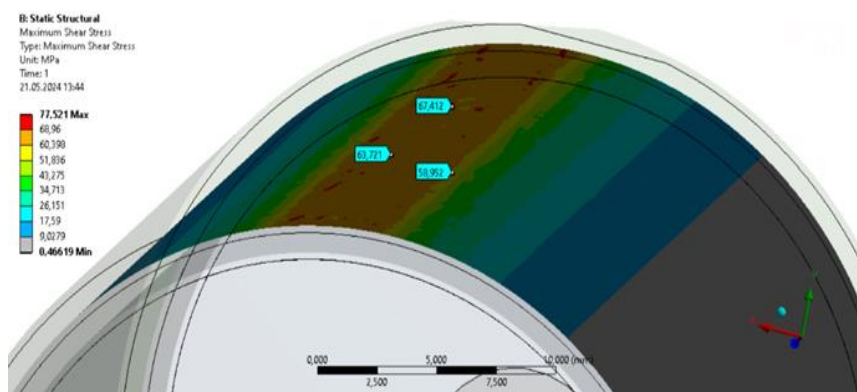


Рисунок 5 – Касательные напряжения при 300°C

Таким образом, оксид алюминия хоть и является твердым материалом с высокой температурой плавления (2072°C), что делает его устойчивым к высоким температурам в процессе обработки, может испытывать термические напряжения и деформации при высоких температурах, что приводит к снижению качества поверхности, превышению допустимых напряжений, а вследствие к отслаиванию и разрушению покрытия.

Литература

1. Уонг Х. Основные формулы и данные по теплообмену для инженеров: справочник/ Х. Уонг. – М.: Атомиздат, 1979. – с.
3. Машиностроительные материалы: Краткий справочник / В.М. Раскатов, В.С. Чуенков, Н.Ф. Бессонова, Д.А. Вейс. – 3-е изд. – М.: Машиностроение, 1980. – 511 с.
3. Локтев Д., Ямашкин Е. Методы и оборудование для нанесения износостойких покрытий // Наноиндустрия. 2007. №4. – С. 18–25.
4. Тулина, А.А. Исследование трибологических характеристик вакуумно-дуговых покрытий на основе системы оксида алюминия // Молодежный Вестник УГАТУ 2023. №3(29). – С.145–14.
5. Пшеничный А.Д, Савченко Н.Л., Саблина Т.Ю., Севостьянова И.Н., Кульков С.Н. Физико-механические свойства и деформационное поведение пористой керамики из плазмохимических порошков Al_2O_3 , $ZrO_2(MgO)$ // Материалы и технологии новых поколений в современном материаловедении: сборник трудов Международной конференции, г. Томск, 9-11 июня 2016 г. — Томск : Изд-во ТПУ, 2016. – С. 260-266.

УДК 621.9.07

СКАЙВИНГ. ТЕХНОЛОГИЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ЗУБЧАТЫХ КОЛЕС

Студент гр. 10301121 Делянко Г.П.

Научный руководитель – ст. преподаватель Касач Ю.И.

Белорусский национальный технический университет
Минск, Беларусь

Power Skiving (скайвинг или силовое точение, в некоторых источниках) – это технология изготовления зубчатых колёс, являющаяся совмещением процессов зубофрезеровки и зубодолбления и используемая для получения как внешнего, так и внутреннего зубчатого профиля. Этот метод был разработан в начале XX века, он является долблением заготовки с