

УДК 621.9.029.001.57

DOI 10.21661/r-560326

Дин К.Ц.

ВЫБОР МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ МЕТОДА НАНЕСЕНИЯ ПОКРЫТИЙ НА РАБОЧИЕ ПОВЕРХНОСТИ ДЕТАЛЕЙ

Аннотация: математическую модель для газотермических покрытий целесообразно описывать конечными элементами треугольного типа, для тонких покрытий следует принимать за основу оболочечные конечные элементы. В математической модели для плазменных покрытий целесообразно представлять толщину слоя набором пластин или оболочек и стержневыми элементами.

Ключевые слова: математическая модель, газотермическое покрытие, тонкое покрытие, оболочечные конечные элементы, плазменное покрытие.

Современное производство характеризуется форсированием таких параметров как скорости, подачи, нагрузки и т. д. с одновременным требованием к повышению показателей качества и уменьшением вредных воздействий на окружающую среду.

Особенно существенно снижает технический уровень оборудования, ухудшает показатели качества износ вызывая шум, вибрации, повышенный нагрев, вредные выбросы и т. д. В последнее время для уменьшения износа широко применяются методы нанесения покрытий на взаимодействующих поверхностях.

Для оценки износа необходимо изучение контактного взаимодействия поверхностей, которое для покрытий изучено недостаточно полно. Поэтому для

автоматизации процесса конструкторско-технологической подготовки необходимо дополнительное изучение физической сущности контактного взаимодействия узлов, оснащенных покрытиями, и разработка информационной модели, позволяющей управлять толщиной покрытия, учитывающей, контактные, жесткостные и прочностные факторы, а также износ. Существует большое число методов получения покрытий на рабочих поверхностях. Под словом «покрытие» будем понимать такое образование на поверхности материала, которое, существенно отличается по своим кристаллохимическим, физико-механическим и теплофизическим свойствам от соответствующих свойств конструкционного материала (основы).

С учетом специфики протекания процессов формирования покрытий существующие методы можно разделить на три основные группы. К первой группе относятся методы, при которых формирование покрытий осуществляется преимущественно между насыщенными элементами и структурами материала. Во вторую группу входят методы формирования покрытия, когда оно образуется за счет реакций между парогазовыми смесями, состоящими из соединения металлоносителя, носителя второго компонента, служащего как газом-транспортером, так и восстановителем. При этом одновременно в процесс формирования покрытия большой вклад вносят субструктура поверхности материала и интердиффузионные реакции между конденсатом и материалом основы.

К третьей группе можно отнести методы формирования покрытий за счет химических и плазмохимических реакций потока частиц одновременно в

объемах пространства, непосредственно примыкающего к насыщаемым поверхностям материала детали. Каждый из технологических методов нанесения покрытий обладает своими преимуществами и недостатками. Рассмотрим характер контактного взаимодействия обоймы подшипника с вкладышем. Толщина слоя формируется в зависимости от материала, способа нанесения покрытия и условий эксплуатации. При этом она формируется с учётом контактного взаимодействия обоймы подшипника с вкладышем. Наносимый слой 1 (см. рис. 1) находится в сложном напряжённом состоянии. При обработке на него действуют усилия резания R и температурные факторы T^0 со стороны инструмента 2, с другой стороны, между слоем 1 и основой 3 возникают контактные напряжения σ_{FH} и σ_F , которые могут привести к отрыву самого слоя.

При эксплуатации со стороны втулки 1 на слой 2 действуют контактные напряжения σ_H , распределённые на интервале $2a$ и контактные напряжения σ_F и σ_{FH} , возникающие в стыке «слой 2 – основа 3».

Как известно, для обеспечения нормальных условий эксплуатации должны выполняться несколько условий. Контактные максимальные напряжения $\sigma_{H \max}$ должны быть меньше допустимых $[\sigma_H]$ (рис. 3):

$$\sigma_{H \max} \leq [\sigma_H].$$

Эквивалентные напряжения $\sigma_{\text{экв}}$ устанавливают в соответствии между сложным напряжённым состоянием и одноосным растяжением.

Эквивалентные напряжения $\sigma_{\text{экв}}$ в кольце должны быть меньше допускаемых $[\sigma_H]$.

Напряжения σ_H , возникающие в стыке подложка-основание, должны быть также меньше допустимых:

$$\sigma_F \leq [\sigma_F],$$

где $[\sigma_F]$ – допустимое напряжение при расчёте на отрыв.

Дополнительным условием, вытекающим из свойств переходного слоя, является то, что сжимающие напряжения $\sigma_{FH \max}$ в переходном слое должны быть меньше допустимых $[\sigma_{FH \max}]$:

$$\sigma_{FH \max} \leq [\sigma_{FH}]$$

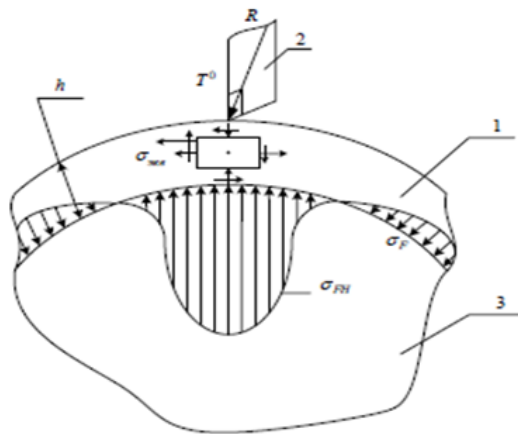


Рис. 1.

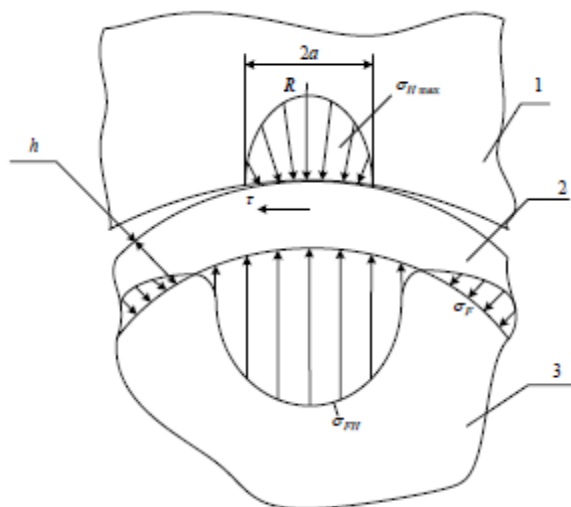


Рис. 2.

Трение в контакте.

Различают два основных вида внешнего трения:

а) трение скольжения (трение первого вида);

б) трение качения (трение второго вида);

Трение может быть также: сухим, при отсутствии смазки; граничным, при наличии на контактирующих поверхностях только очень тонких (0.1 мкм и менее) поверхностно-ориентированных слоёв смазки; жидкостным, когда контактирующие поверхности полностью разделены слоем смазки; полужидкостным – жидкостным и граничным одновременно, полусухим – сухим и граничным одновременно.

Жидкостное и полужидкостное трение в контакте зависит от вязкости смазки, возрастает с понижением последней в контакте. Влияние трения сказывается на величине контактных напряжений в поверхностном слое, а также приводит к износу поверхностей.

Нагрузка контакта.

Принято различать внешнюю и внутреннюю нагрузку контакта. Внешняя возникает от действия внешних сил, а внутренняя нагрузка является следствием сил, возникающих в самой зоне.

В рассматриваемом случае R – внешняя нагрузка, σ_H и σ_{FH} – внутренняя нагрузка. Как внешняя, так и внутренняя, нагрузка может быть постоянной и переменной. Следует выделить нагрузку материала контактирующих поверхностей, которая может быть в основном переменной.

Если материал нагружен, то подвергается действию контактных напряжений. При этом давление σ_H на контактной площадке постепенно возрастает от 0 до максимума ($\sigma_{H \max}$).

Химические и физико-химические явления в контакте. В работе двух контактирующих одно по-другому тел участвует окружающая среда, которая воздействует на рабочую пару. Это могут быть чисто механические воздействия, раздвигая контактирующие тела, вступают в чисто химическое взаимодействие, вызывающее окисление контактирующих поверхностей, может приводить к прочности [2].

Влияние второй контактирующей поверхности. Проявляется через её форму – размеры радиусов стыкуемых поверхностей, что сказывается на величине контактных напряжений.

Здесь важным фактором является твёрдость материала.

С увеличением твердости увеличивается нагрузочная способность. Однако слишком большая разница твёрдости обеих поверхностей может оказать неблагоприятный эффект [3].

Влияние чистоты обработки поверхностей. Опыты показали, что более гладкие поверхности имеют существенно большую контактную выносливость, как по долговечности, так и по величине усталостного выкрашивания.

В соответствии с практикой расчёта деталей машин на выносливость влияние шероховатости может учитываться с помощью коэффициента концентрации напряжений поверхностными неровностями $K_n = 1.11 \div 1.41$ [4].

Контактная выносливость материалов. Для остальных материалов контактная выносливость зависит от твёрдости, которая может быть изменена термообработкой и физико-химической обработкой.

Значительное количество факторов, влияющих на выбираемую толщину h заставляют ограничить решение задачи при действии постоянной нагрузки без учёта сил трения.

Способ подготовки поверхности основы. В таблице 1 приведены способы подготовки основы и допускаемые покрытия с основой σ_F при различных способах обработки основы [5].

Таблица 1

№	Способ подготовки поверхности основы	Предел прочности [5], МПа
1	Обдувка кварцевым песком	2
2	Шлифование, прогрев основы до 150°C, нанесение подслоя из молибдена	2.8
3	Обдувка стальной крошкой	6
4	Обдувка корундом, напыление подслоя никеля	10.5
5	Электроподготовка поверхности и обдувка стальной крошкой	11
6	Нарезание рваной резьбы	12
7	Нарезание круглой резьбы и накатки роликом	16

Как отмечалось ранее, покрытия, наносимые на подложку, различаются по методам их нанесения, материалами, количеством слоёв и их толщиной. Не умаляя общности рассуждений, рассмотрим два типа покрытий, полученных плазменным напылением [5] и вакуумно-плазменным методом [1]. При газотермическом нанесении покрытия по толщине не обладают стабильными показателями качества, так как состоят из основного 1 и переходного 2 слоев (рис.3, а). Переходной слой между основным металлом 3 и материалом покрытия отличается химическим составом, структурой и свойствами материала покрытия. Нижний слой покрытия включает шлаки, различные примеси, имеет

повышенную пористость. В этом случае слой покрытия включает шлаки, различные примеси, имеет повышенную пористость. В этом случае слой покрытия, предназначенный для обеспечения ресурса, после обработки окажется в зонах с пониженными механическими свойствами. В таких условиях работоспособность детали с покрытием будет снижена. При этом толщина h слоя материала составляет величину порядка $h = 0.3 - 1.485$ мм. Учитывая достаточную толщину основного слоя 1 в основу расчета, может быть положена пластинчато-стержневая модель, где стержнями эквивалентной жесткости моделируются свойства переходного слоя 2, а основной слой моделируется либо плоскими треугольными или пространственными тетраэдрального типа конечными элементами (рис.3, б).

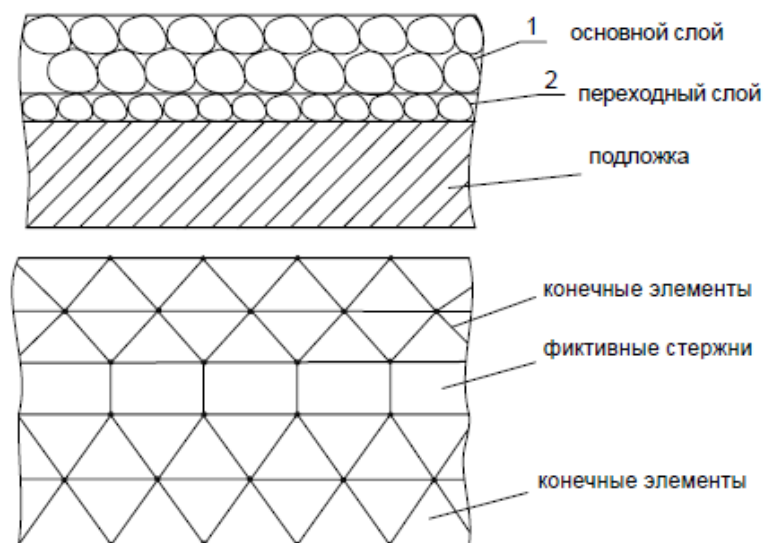


Рис. 3.

В виде второго примера приводится идеализированная схема композиционного многослойного покрытия, состоящего из нескольких слоёв: 1 – наружный слой, осуществляющий контактное взаимодействие с обрабатываемым материалом; 2, 4 – промежуточные слои с переменными свойствами,

осуществляющие связь между слоями 1, 3 и 5; 3 – барьерный слой, увеличивающий термодинамическую устойчивость покрытия или выполняющий другие функции; 5 – слой, связывающий покрытие и инструментальный материал (рис.4, а).



Рис. 4 (а).

Толщины вакуумно-плазменных покрытий составляют величины порядка 4–7 мкм [1]. При наметившейся тенденции изготавливать покрытия многослойными при реальной толщине покрытий, которая на порядок меньше толщины подложки.

Адекватной моделью является представление слоя 1 конечной оболочкой, которая аппроксимируется элементами (е) оболочечного типа, связанными в узлах r фиктивными стержнями i, j, k , ориентированными вдоль осей координат (для изотропной оболочки) рис.4, б.

Большая размерность возникающих задач заставляет ограничиться рассмотрением одного слоя при газотермическом нанесении покрытия. Вторым важным вопросом, возникающим при моделировании, является задание внешней нагрузки, действующей как при обработке, так и при эксплуатации. При обработке возможны два варианта – это лезвийная или абразивная обработка наносимого

покрытия, кроме того, в зоне обработки действуют температурные факторы. В этом случае усилия резания R и значения температур t задаются на основании известных из теории резания зависимостей. При эксплуатации соединения нагрузки σ_H определяются путем решения контактной задачи для всего соединения.

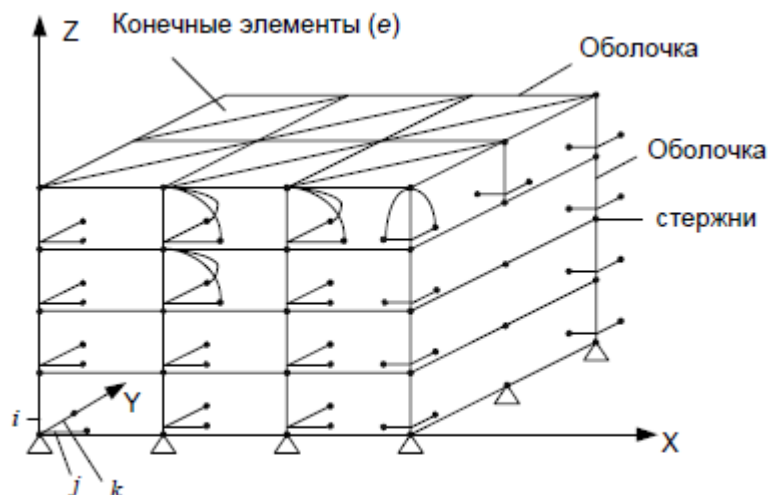


Рис. 4 (б).

Принимается статическое нагружение и исходные нагрузки определяются на основе известного решения Г. Герца [6], либо решением контактной задачи методом граничных или конечных элементов. Метод граничных элементов используется при решении плоской задачи, конечных элементов – пространственной задачи.

Список литературы

1. Верещака А.С. Физические основы процесса резания и изнашивания режущего инструмента с износостойкими покрытиями / А.С. Верещака. – Ульяновск: Вестник УлГТУ, 1998. – 144 с. – EDN VIUAHD

1. Виноградов В.Н. Механическое изнашивание сталей и сплавов / В.Н. Виноградов. – М: Недра, 1996. – 366 с. – EDN YNURAF

2. Петрусеви́ч А.И. Зубчатые и червячные передачи. Энциклопедический справочник / А.И. Петрусеви́ч. – В 2 т. Т.2. – М: Машиностроение, 1979. – 462 с.

3. Бригер И.Р. Расчет на прочность деталей машин. Справочник / И.Р. Бригер. – М: Машиностроение, 1972. – 462 с.

4. Ситинков А.А. Технологическое обеспечение точности изготовления деталей с износостойкими покрытиями / А.А. Ситинков. – М.: Машиностроение, 1996. – 46 с.

5. Левина З.М. Контактная жесткость машин / З.М. Левина. – М.: Машиностроение, 1971. – 264 с.

Дин Кай Цзянь – канд. техн. наук, профессор, Технологический университет Китая, Китайская Народная Республика.

Ding Kai Jian – Candidate of Technical Sciences, Professor, Technological University of China. People's Republic of China.
