

## **Моделирование абразивного диспергирования на операциях финишной обработки изделий из керамических и композиционных материалов**

к.т.н, доц. Бахарев В.П., Дубинин А.П., д.т.н., проф. Верещака А.С.

*Филиал МГИУ в г. Кинешме, МГТУ «СТАНКИН»*

Современные композиционные материалы перспективны для изготовления изделий специального назначения, эксплуатирующихся в уникальных условиях космоса, ядерной энергетики, электроники, а также в биологических системах. Исследованиями авторов [1] установлено, что выходные показатели качества изделия формируются в течение всей технологической цепочки. Заключительной операцией технологического процесса обычно является алмазная обработка связанным или свободным абразивом.

Прогнозирование эксплуатационных характеристик керамических материалов представляют сложную проблему. Износ керамики зависит от геометрии контакта и параметров нагружения, свойств материала рабочих поверхностей и шероховатости поверхности, а также от смазочного материала и окружающей среды. В зависимости от условий нагружения механизм изнашивания может быть различным: абразивным, усталостным, адгезионным и др. В работе [2] представлена модель изнашивания на основе обобщенных характеристик контакта, которая имеет вид:

$$I_m = \alpha \Phi_1^a \Phi_2^b \Phi_3^c \Phi_4^d \Phi_5^e \Phi_6^g, \quad (1)$$

где  $I_m = dm/dS$  – массовая интенсивность изнашивания, (кг/м);  $\Phi_1, \Phi_2, \dots, \Phi_6$  – факторы, характеризующие параметры контакта: напряженного состояния, хрупкости керамики, пластичности в области микротрещины, химической модификации поверхности, теплового и температурного градиента, свойств смазочного слоя соответственно;  $\alpha, a, b, c, d, e, g$  – экспериментальные коэффициенты.

Управление формообразованием и формирование показателей качества рабочих поверхностей изделий возможно путем регулирования параметров технологических сред различного уровня. По методике [3] технологические среды можно подразделить на среду уровня технологического процесса и среды уровня технологической операции. Первоначально сформированные показатели в течение продолжительности технологического процесса трансформируются или сохраняются в соответствии с технологическим наследованием свойств.

Проведенные авторами экспериментальные исследования процессов финишной механической обработки керамики ВК-100 (99,8 %  $Al_2O_3$ ) показали, что эксплуатационные показатели качества рабочих поверхностей формируются в основном на операции алмазной доводки свободным абразивом, получившей наименование в международной рубрикации -

Lapping. При этом технологическая среда уровня операции вносит наибольший вес (вклад) в количественный уровень показателей качества (шероховатость, глубина нарушенного слоя) поверхности, который составляет около 90 % [4]. Таким образом, регулируя параметры операционных технологических сред, можно управлять требуемым уровнем показателей качества.

Характер диспергирования определяется всем комплексом технологических факторов, сопровождающих процесс доводки. Предлагаемая авторами модель диспергирования предлагается в виде [5]:

$$q_x(t) = q_0(z) \exp\left[-(\alpha \cdot t - C^*)\right], \quad (2)$$

где  $q_x(t) = \frac{dx}{dt}$  – скорость съема в момент времени  $t$ , мг/мин, мкм/мин;

$q_0(z) = \Phi_1(Z) \cdot \Phi_2(HV)$  – начальная скорость съема материала, обусловленная:  $\Phi_1(Z)$  – зернистостью пасты  $Z$ ;  $\Phi_2(HV)$  – свойствами технологической среды, определяющей механические характеристики материала и другими технологическими факторами;

$$\alpha = \left[ \frac{\beta(\Delta U_c)}{K_c(\sigma)P - \sigma_c^*} \right] - \quad (3)$$

обобщенная функция скорости накопления микропластических повреждений, обусловленная кинетикой воздействия среды,  $c^{-1}$ ;

$\beta(\Delta U_c)$  – функция скорости накопления скрытой энергии деформации, МПа/с;

$K_c(\sigma)$  – обобщенная функция коэффициента локального напряжения;

$P$  – давление в зоне обработки, МПа;

$\sigma_c^* = \sqrt{3}\tau_s$  – разрушающее нормальное напряжение, МПа;

$\tau_s$  – касательное напряжение в плоскости скалывания, МПа;

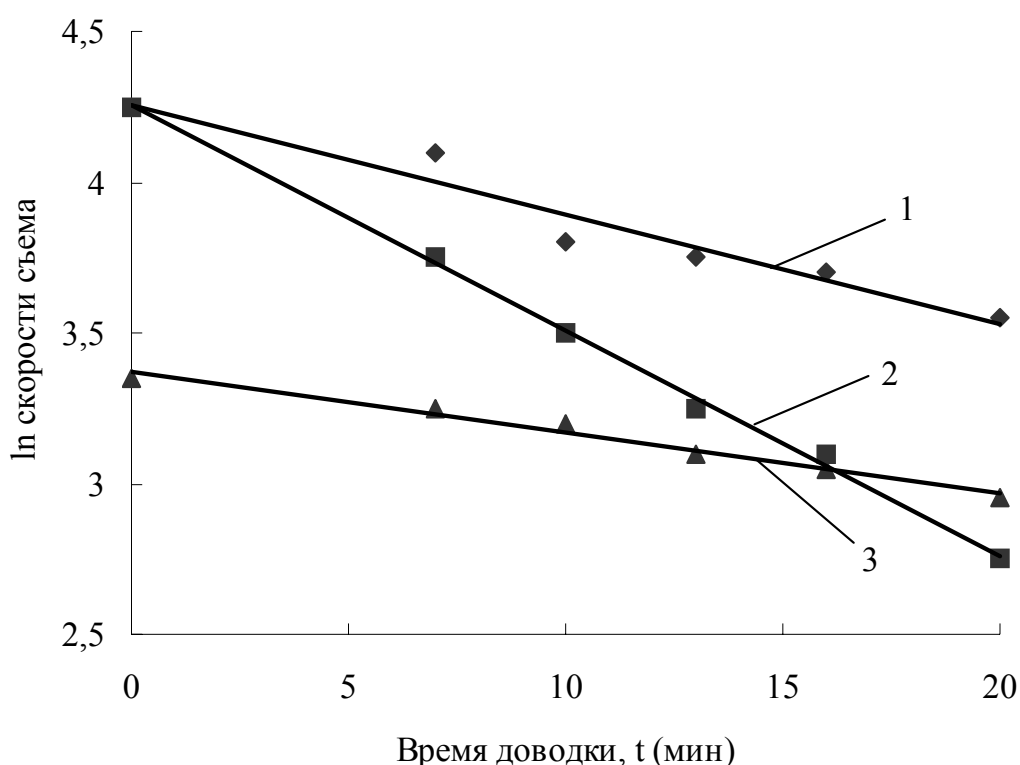
$C^*$  – предельное значение функции повреждаемости в момент разрушения, обусловленное предельной плотностью дислокаций и микротрещин.

Зависимости (2, 3) позволяют при наличии двух конкурирующих процессов упрочнения и разупрочнения, сопровождающих абразивное разрушение, учитывая локальный характер повреждаемости, производить расчеты разрушения и суммирования повреждений в условиях циклически действующих нагрузок. При этом процесс концентрации дислокаций и накопления скрытой энергии деформации отображается энергетической функцией  $\beta(\Delta U_c)$ , а процесс накопления пор и микротрещин – функцией  $K_c(\sigma) = K_0^\theta(\sigma)$  концентрации напряжений II рода в локальном объеме, соответствующем, как правило, размеру зерна,  $\theta$  – показатель степени деформационного упрочнения в зоне распространения трещины.

В модели предполагается, что к моменту локального разрушения функции

повреждаемости  $\beta(\Delta U_c)$ ,  $K_C(\sigma)$  и  $C^* = \text{const}$  в совокупности достигают некоторого определенного критического значения, обусловленного состоянием материала после предварительной обработки. Характер обобщенных функций  $\beta(\Delta U_c)$ ,  $K_C(\sigma)$ ,  $C^* = \text{const}$ , а также значения функционалов  $\Phi_1(Z)$  и  $\Phi_2(HV)$  предлагается определять на основе экспериментальных исследований реального процесса доводки, в соответствии с алгоритмом, предложенным автором [5].

На рисунке 1 изображены экспериментальные зависимости скорости массового съема  $q_m = f(t)$  для различных технологических условий на операции алмазной доводки керамики ВК 100.



**Рисунок 1 - Зависимость  $\ln q_m$  от времени доводки  $t$ :**

**1 – паста 5/3 ПОМ, СОЖ-334; 2 – паста 5/3 ПОМ, СОЖ – керосин; 3 – паста 3/2 ПОМ, СОЖ-334 (АС СССР №1162862 кл. С10М)**

Анализ экспериментальных зависимостей показал, что абразивная способность определяется в первую очередь зернистостью пасты (кривые 1 и 3), которая характеризует функционал  $\Phi_1$ . Во-вторых, скорость уменьшения абразивной способности суспензии зависит от свойств жидкой фазы абразивной среды – функционал  $\Phi_2$ . Сравнивая характер зависимостей 1 и 2, видим, что при использовании в качестве СОТС керосина абразивная способность уменьшается интенсивнее, чем при использовании

комбинированной СОТС. Резкая потеря абразивной способности суспензии на основе керосина объясняется более интенсивным изменением ее свойств в процессе резания, нестабильностью толщины адсорбционной пленки керосина и ее сплошности, что способствует интенсивному «затуплению» суспензии.

Практически одинаковый наклон кривых 1 и 3 свидетельствует об идентичном влиянии одной и той же СОТС на характер изменения работоспособности суспензии при разной зернистости пасты. Этот факт свидетельствует о стабилизации процесса диспергирования в присутствии экспериментальной комбинированной СОТС, об оптимальности свойств этой среды и зернистости, в конкретных условиях диспергирования. Абразивная среда сохраняет стабильные характеристики режущей способности продолжительное время.

Показатели качества поверхностного слоя определяются, в основном, размером зернистости пасты и технологическими свойствами жидкой фазы суспензии [4]. Таким образом, разработка оптимальной технологической среды позволяет спроектировать управляемый технологический процесс абразивной доводки, а предложенная модель диспергирования позволяет производить технологические расчеты эффективности операции доводки свободным абразивом.

Процесс производства композиционных материалов характеризуется низкой формализацией и наличием эмпирической информации (например, дорогое, среднее, дешевое или массовое сырье). В зависимости от конъюнктуры рынка сбыта стоимость материала может меняться, и эти колебания также должны отражаться в виде нечетких данных. Для использования нечетких данных применяют нечеткие нейронные сети, в которых выводы делаются на основе аппарата нечеткой логики.

Одна из таких сетей – классифицирующая нечеткая нейросеть ANFIS. Такая сеть состоит из трех слоев нейронов [6]:

Слой 1. Выходы нейронов данного слоя определяют степень принадлежности входных переменных к соответствующим нечетким множествам.

Слой 2. Каждый нейрон этого слоя является нечетким нейроном «И».

Слой 3. Нейроны этого слоя – обычные нейроны, осуществляющие взвешенное суммирование значений выходов предыдущего слоя. Выходы формируются с использованием сигмоидальной активационной функции и трактуется как степени принадлежности объекта к классам.

Одна нейронная сеть может решать только одну узкоспециализированную задачу. Для решения сложных многоступенчатых задач применяется каскад нейросетей, логически разделяющий задачу на подзадачи и обучая каждый модуль сети отдельно. Такая сетевая модель называется гибридной нейронной сетью. Подобная сеть использована в работе [6] применительно к решению задачи рационального выбора способа

изготовления заготовки изделий полимерной оптики.

### Литература

1. Бахарев В.П. Конструкторско-технологическое сопровождение производства изделий из керамических и композиционных материалов // Конструкции из композиционных материалов. Межотраслевой научно-технический журнал. – М.: ФГУП «ВИМИ» - 2008. № 3. С.34 – 46.
2. Дроздов Ю.Н., Надеин В.А., Савинова Т.М. Прогнозирование интенсивности изнашивания технической керамики при трении. // Вестник машиностроения. – М.: Машиностроение. – 2008. № 6. С 39 – 42.
3. Васильев А. С., Дальский А. М. и др. Направленное формирование свойств изделий машиностроения /под ред. Кондакова А. И. – М.: «Машиностроение», 2005, 352 с.
4. Бахарев В. П., Куликов М. Ю., Верещака А. С. Регулирование микродоводочных процессов финишной обработки минералокерамики путем применения эффективных СОТС //Вестник машиностроения. – 2007. №9. С. 35 – 39.
5. Бахарев В.П. Разработка физико-математической модели диспергирования керамических и композиционных материалов при алмазной доводке свободным абразивом. // Вестник машиностроения. – 2009. № 2.
6. Везуб Н.В., Дмитриенко В.Д. и др. Нейросетевые методы решения задачи рационального выбора заготовки изделий из полимерной оптики // Високі технології в машинобудуванні: Збірник наукових праць НТУ «ХПІ». – Харків, 2006. – Вип. 1 (12). – С. 85 – 92.