

сплавов. Однако в промышленности он не применяется. Одной из причин, сдерживающих промышленное освоение перхлоратных электролитов, является недостаточная разработанность вопросов их эксплуатации. Прежде всего это касается вопросов охраны труда, поддержания заданной работоспособности и увеличения долговечности.

Анализ физико-химических свойств перхлората натрия показал, что он не образует токсических соединений в воздушной среде и сточных водах в присутствии других веществ, но в то же время представляет пожарную опасность, так как при соприкосновении с органическими веществами (растительные масла, керосин и др.) может вызвать их воспламенение.

Проведенные исследования работоспособности электролита свидетельствуют о том, что при пропускании количества электричества на один литр раствора, равного 50 А·ч, технологические показатели сплава ЭП718ВД, такие как точность обработки и шероховатость поверхности, не ухудшаются. Количественный анализ входящих в электролит компонентов с целью его корректировки при эксплуатации не представляется трудоемким.

Таким образом, при соблюдении определенных правил по пожарной опасности этот электролит может широко использоваться в технологии ЭХО.

УДК 621.924.93

А.В.Мещеряков, В.А.Шманев, А.П.Шулепов

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ФОРМИРОВАНИЯ МИКРОРЕЛЬЕФА ПОВЕРХНОСТИ ПРИ СТРУЙНОЙ ГИДРОАБРАЗИВНОЙ ОБРАБОТКЕ

Предложена математическая модель процесса формирования микрорельефа поверхности при струйной гидроабразивной обработке (ГАО), в основу которой положен единичный акт контактного взаимодействия абразивной частицы с поверхностью. Приведены результаты имитационного моделирования, получаемой в процессе обработки шероховатости поверхности.

ISBN 5-230-16902-8. Методы обработки авиаматериалов. Самара, 1991

Применение струйной ГАО на окончательных операциях изготовления деталей ГТД сложного профиля позволяет решить ряд проблем, связанных с обеспечением заданных показателей состояния поверхностного слоя. Формирование поверхностного слоя при струйной гидроабразивной обработке определяется процессами пластического передеформирования и микрорезания, происходящими при многократных ударах абразивных частиц. Микрорельеф поверхности представляет собой совокупность следов (лунок), оставляемых на поверхности частицами абразива. Сложность экспериментальных исследований процессов, происходящих в зоне контакта гидроабразивной струи с поверхностью, требует создания математической модели, позволяющей прогнозировать состояние поверхности и определять оптимальные режимы обработки.

В работах [1,2,3] установлено, что при струйной гидроабразивной обработке формирование микрорельефа происходит в течение вполне определенного времени, а затем процесс стабилизируется и шероховатость поверхности не изменяется. Возможны три случая формирования микрорельефа поверхности:

в процессе обработки исходная шероховатость поверхности увеличивается;

формируется новый микрорельеф без изменения величины исходной шероховатости;

шероховатость поверхности в процессе обработки уменьшается.

Возникновение того или иного случая, а также время, необходимое для формирования нового микрорельефа, будут зависеть от высоты неровностей исходной поверхности, размеров лунок, оставляемых частицами, и количества частиц, контактирующих с обрабатываемой поверхностью. Таким образом, реальные технологические особенности процесса формирования микрорельефа позволяют представить его в виде последовательности единичных актов контактного взаимодействия на элементарном участке обрабатываемой поверхности. Такой подход дает возможность определять параметры шероховатости после струйной ГАО на основе имитационного моделирования процесса формирования микрорельефа поверхностного слоя.

При моделировании необходимо учитывать микрорельеф исходной поверхности, поток абразивных частиц, контактное взаимодействие частиц с поверхностью и меняющийся микрорельеф поверхности в процессе обработки. Основой математической модели является модель единичного акта контактного взаимодействия абразивной частицы с поверхностью.

Рассмотрим этапы построения математической модели. Перед началом моделирования должны быть заданы параметры шероховатости исходной поверхности. В рамках предлагаемой модели исходное состояние поверхности характеризуется максимальной высотой неровностей профиля R_{max} и средним арифметическим отклонением профиля R_a . Микрорельеф обрабатываемой поверхности представлен в виде изотропной функции $z = f(x, y)$. Контактное взаимодействие абразивных частиц рассматривается на элементарном участке, размеры которого выбираются с учетом формы, размеров и точности изготовления обрабатываемой поверхности. В большинстве случаев элементарный участок может быть представлен в виде квадратной площадки с размером стороны, равным базовой длине при исследовании шероховатости. Предположение об изотропности функции z позволяет существенно упростить моделирование процесса обработки за счет перехода от пространственного моделирования к моделированию на профиле. Определение формы поверхности и вычисление параметров шероховатости производится по некоторому сечению, взятому в пределах элементарного участка, причем характеристики шероховатости не будут зависеть от выбора сечения. Пространственное распределение функции z может быть получено по проекции профиля сечения.

Имитационное моделирование производится с использованием ЭВМ. Это накладывает определенные ограничения на представление профиля поверхности, связанные с дискретностью записи информации в память машины. Поэтому профиль обрабатываемой поверхности представляется в виде массива чисел $M(i)$, $i \in (1, N_0)$, где $M(i)$ — высота профиля относительно средней линии; i — номер точки профиля; N_0 — число точек профиля.

Абразивные частицы, движущиеся в гидроабразивной струе в определенной скорости и под заданным углом атаки к обрабатываемой поверхности, моделируются в виде сферы радиусом R . Количество абразивных частиц, взаимодействующих с поверхностью на элементарном участке S_3 , зависит от массового расхода суспензии через струйный аппарат (m_c), концентрации абразива в суспензии (K), времени обработки, отношения площади элементарного участка (S_3) к площади, охватываемой гидроабразивной струей в единицу времени (S_c) и может быть определено по формуле

3 S₃ К М С Рабн

$$q_3 = \frac{3 S_3 K M C P_{abn}}{4 S_0 \pi R^3 P_{ab} [P_{ж} + K(P_{ab} - P_{ж}) P_{abn} / P_{ab}]}$$

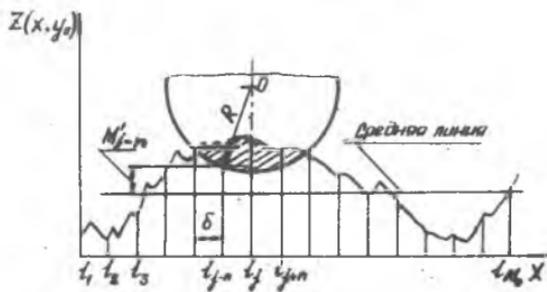
где P_{abn} — насыпная плотность абразива;

P_{ab} — плотность абразива;

$P_{ж}$ — плотность жидкой фазы.

Контактное взаимодействие абразивной частицы с обрабатываемой поверхностью рассматривается как внедрение жесткой сферы в пластическое полупространство. Каждый единичный акт контактного взаимодействия вызывает определенные изменения в обрабатываемой поверхности. Происходит деформация выступов профиля, удаление материала из лунки, в окрестности точки контакта формируется новый микро-рельеф поверхности. В результате решения задачи о движении сферы по пластическому полупространству определяется максимальная глубина внедрения частицы h_{max} (глубина лунки).

Контакт абразивной частицы с поверхностью происходит в случайной точке i_j элементарного участка (рис. I). Для упрощения модели полагают, что в этой точке частица достигает максимальной глубины внедрения. Кроме того, при формировании нового профиля поверхности не учитывается перераспределение по профилю



Р и с. I. Схема единичного акта взаимодействия частицы с поверхностью

материала, вытесненного из лунки в момент удара. Высота профиля относительно средней линии в точках, где произошла деформация, определяется по формуле

$$M'_{j \pm n} = M_{i=j} - h_{max} + R - \sqrt{R^2 - (n\delta)^2}, \quad (I)$$

где $M_{i=j}$ — исходная высота профиля в точке i_j ;

σ — интервал дискретизации профиля;

ξ — число интервалов σ , укладывающихся в размеры радиуса частицы; $n = 1 \dots \xi$.

Для описания нового профиля поверхности, полученного в результате моделирования, производится корректировка положения средней линии по формуле

$$\Delta h = \frac{1}{k} \sum_1^k (M_{i_j} - M'_{i_j}),$$

где Δh — величина смещения средней линии;

k — число точек, в которых произошло деформирование профиля;

M_{i_j} — исходная высота профиля в i_j -й точке;

M'_{i_j} — высота нового профиля в точке i_j относительно исходной средней линии.

Высота профиля в точке j относительно новой средней линии определяется по формуле

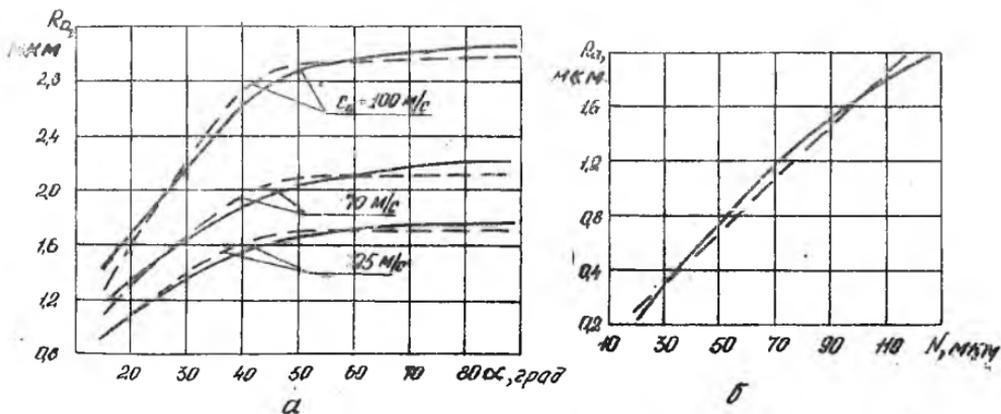
$$M_j = M_j - \Delta h.$$

Предлагаемая математическая модель формирования микрорельефа поверхностного слоя является универсальной и позволяет осуществлять имитационное моделирование для различных характеристик шероховатости исходной поверхности в широком диапазоне изменения параметров обработки. Исходными данными для проведения процесса моделирования являются: плотность и предел текучести обрабатываемого материала; R_a, R_{max} исходной поверхности; базовая длина; характеристики абразива $\rho_{аб}, \rho_{абн}, R$; характеристики гидроабразивной струи $\rho_{ж}, K, m_c$; скорость и угол атаки частиц; площадь, охватываемая гидроабразивной струей за 1 секунду; число отрезков дискретизации n базовой длины l ; время обработки.

Моделирование начинается с создания исходного профиля обрабатываемой поверхности, для чего формируется массив случайных чисел из интервала $(-\frac{R_{max}}{2} + \frac{R_{max}}{2})$ со средним арифметическим R_a

Далее определяются максимальная глубина внедрения частицы, число единичных актов контактного взаимодействия на элементарном участке и число циклов моделирования. Под циклом моделирования понимается последовательное моделирование единичных актов взаимодействия, количество которых равно числу частиц, одновременно контактирующих с профилем на базовой длине. Цикл моделирования начинается с выработки случайной точки на профиле, в которой происходит контакт абразивной частицы с поверхностью. По формуле (I) находится высота профиля относительно исходной средней линии в точках, где произошла деформация. После каждого цикла моделирования производится корректировка положения средней линии, определение высоты нового профиля и проверка на окончание процесса моделирования. На завершающем этапе устанавливаются параметры шероховатости поверхности, сформированной в результате моделирования. Разработанная модель позволяет определить пять параметров шероховатости, предусмотренных ГОСТ 2789-73: R_a , R_z , R_{max} , S_m , S . Для осуществления процесса моделирования разработан программный комплекс "SHERP", реализованный в системе ОС РВ на ЭВМ MERA-CAMAC I250M4.

На рис. 2 приведены графики зависимости шероховатости поверхности от скорости, угла атаки (рис. 2, а) и размеров частиц (рис. 2, б), полученные в результате моделирования. Здесь же пунктиром нанесены зависимости, полученные экспериментальным путем. Расхождение между теоретическими и экспериментальными кривыми не превышает 10%, что вполне удовлетворительно для такого сложного процесса.



Р и с. 2. Шероховатость поверхности материала ВТ9 после струйной ГАО: а - зернистость абразивного материала I2 ($R = 60$ мкм); б - $\alpha = 45^\circ$, $C_p = 70$ м/с; технологические параметры: $\kappa = 20\%$, расстояние до обрабатываемой поверхности 100 мм

Моделирование струйной ГАО на ЭВМ дает возможность осуществлять прогнозирование состояния поверхностного слоя после обработки, а также оптимизировать процесс обработки. Разработанная математическая модель учитывает основные особенности формирования микрорельефа поверхности и позволяет значительно сократить время на проектирование операции струйной ГАО сложнопрофильных поверхностей деталей ГТД. Она прошла апробирование в производственных условиях при обработке профиля пера лопаток.

Библиографический список

1. Билик Ш.М. Абразивно-жидкостная обработка металлов. М.: Машгиз, 1960. 198 с.
2. Ящерицын П.И., Пилипчик В.А. О характере разрушения закаленной стали ШХ15 абразивной струей // Тр. ВНИИАШ. 1970. № 10. С. 78-83.
3. Шманев В.А., Мещеряков А.В., Второв Е.А. Особенности формирования поверхностного слоя при струйной гидроабразивной обработке лопаток ГТД // Поверхностный слой, точность и эксплуатационные свойства деталей машин и приборов: Сб. науч. тр. М.: МДНТП, 1986. С. 12-15.

УДК 621.9.047.7

К.П. Крашенинников, Ю.Л. Файницкий

К ВОПРОСУ О ТЕПЛОВОМ РЕЖИМЕ ЛОПАТКИ
ПРИ ЕЕ ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКЕ

Изложены принципы разработки программы теплового расчета лопатки при электрохимической обработке (ЭХО) с учетом всех источников тепловыделения и теплосъема. Установлено, что в условиях неэффективного охлаждения перегрев материала внутри зоны контакта может превзойти таковой на контактной поверхности.

ISBN 5-230-16902-8. Методы обработки авиаматериалов. Самара, 1991
