

многоступенчатых насосов. Но оно также имеет недостатки, такие как сложность конструкции насоса и сложность взаимной увязки каскадов. Это значительно усложняет проектирование, разработку и доработку этих насосов без пригодных методологий моделирования.

Техника для CFD-моделирования насоса, предложенная авторами, позволяет моделировать насосы с гидроприводом ступени низкого давления с ошибкой прогнозирования характеристик менее чем 10% в сравнении с экспериментальными данными. Это свидетельствует об адекватности используемых CFD-моделей и предложенной методики.

Даны подробные рекомендации по пригодным CFD- и сеточным инструментам, а также особенности моделирования. Для адекватного прогнозирования характеристик насоса на ненормальных режимах необходимы мелкая сетка и «низкорейнольдсовая» модель турбулентности. Для начального решения рекомендуются модели турбулентности $k-\epsilon$ с граничным условием массового расхода на выходе. В дальнейшем, расчёты должны выполняться с граничным условием *Opening Pressure*, моделью турбулентности $k-\omega$ и мелкой сеточной

моделью. В расчёте должны учитываться колебания интегральных параметров.

Влияние неопределённости частоты вращения гидропривода насоса может быть проигнорировано, когда напор основного насоса намного больше, чем напор преднасоса. В других случаях необходимы определённые меры для повышения точности моделирования. Моделирование кавитации позволяет оценить степень влияния кавитационных процессов на внутренние КПД и напор насоса. Модель кавитации Рэлея-Плессета, реализованная в ANSYS CFX, позволяет получить вполне адекватное моделирование кавитации даже с базовыми настройками.

Полученная методика может быть использована в будущих исследованиях для улучшения производительности и повышения КПД насосов с гидроприводом ступени низкого давления с помощью CFD-инструментов с применением технологий оптимизации.

Полученная CFD-модель может быть использована для дальнейшего исследования рабочего процесса насоса с целью оценки осевой и радиальной нагрузки ротора и поиска путей её снижения.

УДК 621.9.047

ИЗУЧЕНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ФОТОПОЛИМЕРНЫХ МОДЕЛЕЙ С НАНЕСЁННЫМ НА НИХ ТОКОПРОВОДЯЩИМ СЛОЕМ В КАЧЕСТВЕ ЭЛЕКТРОДА-ИНСТРУМЕНТА ДЛЯ ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ

© 2016 С.С. Вихирев, М.В. Нехорошев, Г.В. Смирнов

Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королёва

STUDYING THE APPLICATION OF PHOTOPOLYMER COATING MODELS WITH CONDUCTOR LAYER AS AN ELECTRODE TOOL FOR ELECTROCHEMICAL MACHINING

Vikhirev S.S., Nekhoroshev M.V., Smirnov G.V. (Samara National Research University, Samara, Russian Federation)

In this paper, we have considered the possibility of using coated photopolymer model as an electrode-tool with a conductive metal coating. The electrode with a complex working profile has obtained a 3D-printing quality of photopolymer, having sufficient mechanical properties for a flow of electrolyte fluid. For the application of a conductive layer has been considered an electroplating method.

Электрохимическая размерная обработка (ЭХО) традиционно используется для формообразования сложнопрофильных поверхностей деталей, например, пера лопаток газотурбинных двигателей (ГТД) или межлопаточных промежутков блисков (моноколёс). При проектировании и внедрении операции ЭХО в технологию обработки деталей одной из наиболее сложных задач является профилирование рабочей поверхности электрода-инструмента. Чаще всего на производстве она решается методом обратного копирования рабочей поверхности электродов с помощью эталонной детали в процессе электрохимического растворения. При этом эталонная деталь подключается в качестве катода. Затем следует многоитерационная слесарная подгонка профиля полученной поверхности электрода, чередующаяся с проверкой точности профиля путём обработки пробных заготовок и их измерения. В результате основная доля затрат времени, труда и денежных средств в технологической подготовке операции ЭХО приходится на профилирование электрода.

Нами было предложено использовать в качестве электродов-инструментов фотополимерные модели с нанесённым металлическим токопроводящим покрытием. При этом электрод со сложным рабочим профилем изготавливается методом 3D-прототипирования из качественного фотополимера, обладающего достаточными механическими свойствами для работы в среде проточного электролита, а также не изменяющего своей геометрии при нанесении токопроводящего покрытия. Для нанесения токопроводящего слоя был выбран гальванический метод. Альтернативный ему метод плазменного напыления был отклонён по причине неизбежной деформации модели и искажения её геометрии при воздействии высоких температур. Размеры профильной части электрода были занижены на толщину покрытия. Минимальная толщина покрытия, обеспечивающая работоспособность электрода, составляет 0,5мм. В соответствии с технологией нанесения металлизированных покрытий было проведено обезжиривание, сенсибилизация для придания поверхности каталитических свойств и активация профильной части электрода путём нанесения коллоидной

плёнки, которая служит катализатором при химической металлизации. В качестве металлического покрытия была выбрана медь, так как она обладает высокой пластичностью, и её покрытия выдерживают резкие температурные колебания при последующем осаждении рабочего слоя. Металлизация проводилась в два этапа: первый слой наносился при малых плотностях тока в слабых кислых электролитах и низкой температуре, финишный слой при увеличенной плотности тока. Затем электрод вручную заполировался, контролировались его размеры на координатно-измерительной машине в характерных сечениях и сверялись с размерами электронной модели. Отклонение размеров профильной части не превысило 0,05мм.

Нами были проведены сравнительные испытания полученного электрода с цельнометаллическим аналогичных размеров из меди. Электроды поочередно устанавливались в специальную электрохимическую ячейку, смонтированную на установке СЭП-902А. С помощью электродов были обработаны образцы из материала. В ходе экспериментов изменялась величина межэлектродного зазора в диапазоне от 0,03 мм до 0,3 мм и измерялась величина амплитудного тока в импульсе.

Из полученных результатов следует, что значения тока при ЭХО на полимерном электроде-инструменте с токопроводящим покрытием и на цельнометаллическом практически совпадают, что говорит о возможности создания необходимых плотностей тока с помощью плёночных покрытий.

Внешний вид полимерного электрода после обработки не изменился.

Однако для полноценного использования данной методики необходимо решить следующие задачи:

- обеспечение равномерного гальванического покрытия на всей поверхности электрода без последующей ручной полировки;
- достижение заданной точности размеров, с учётом усадки фотополимерной модели и межэлектродного расстояния.

Одним из эффективных способов решения этой задачи является использование разъемной формы модели для получения электрода-инструмента.

Точность размеров и шероховатость поверхности получаемых гальванопластических копий всецело зависят от соответствующих параметров формы, на которую осаждается металл. Изготовление электрод-инструмента гальванопластикой позволит получать неограниченное количество абсолютно идентичных электродов-инструмен-

тов с помощью данной разъёмной формы, так как весь инструмент изготавливается в одной и той же оснастке. Данная особенность будет полезна при получении электродов не только для ЭХО, но и для электроэрозионной обработки, так как в данном процессе имеет место значительный износ инструмента.

УДК 004.942

МОДЕЛИРОВАНИЕ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ РАБОЧЕГО ЭЛЕМЕНТА ПРИСПОСОБЛЕНИЯ ИЗ МАТЕРИАЛА С ПАМЯТЬЮ ФОРМЫ

©2016 О.В. Ломовской¹, Д.С. Горяинов², Д.В. Назаров¹

¹Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королёва

²Самарский государственный технический университет

THE SIMULATION OF THE WORKING ITEM OF THE DEVICE MADE OF SHAPE MEMORY ALLOY

Lomovskoi O.V., Nazarov D.V. (Samara National Research University, Samara, Russian Federation)

Goryainov D.S. (Samara State Technical University, Samara, Russian Federation)

The work describes the numerical model of unclenching part made from shape memory alloy for finish turning and grinding of non-rigid thin-walled using experimental studies of the sample determined parameters the mathematical model of material. Has been determined the influence of the unclenching part wall thickness and deformations induced to the stress-strain state.

Материалы с памятью формы (МПФ) находят широкое применение в качестве силовых элементов приспособлений. Основными требованиями, предъявляемыми к таким элементам, являются размерная точность при изменении формы элемента и надёжность.

Одной из важных характеристик работоспособности детали из МПФ является способность к возврату в исходную форму. Для расчёта величины натяга и усилия разжима втулки из МПФ, применяющейся в качестве силового элемента приспособления, была проведена валидация математической модели материала и были определены параметры этой модели.

Для описания поведения материала была использована трёхмерная термомеханическая модель для фазовых превращений под действием напряжений, описанная в [1]. В рамках классической необратимой термодинамики модель способна воспроизводить все основные особенности относительно ма-

териалов с памятью формы в 3D напряжённом состоянии. Потенциал свободной энергии имеет вид:

$$\Psi(\varepsilon, T, \varepsilon_{tr}) = \frac{1}{2}(\varepsilon - \varepsilon_{tr}) : D : (\varepsilon - \varepsilon_{tr}) + \tau_M(T) \|\varepsilon_{tr}\| + \frac{1}{2} h \|\dot{\varepsilon}_{tr}\|^2 + I_{\varepsilon_{tr}}(\dot{\varepsilon}_{tr}),$$

где D – тензор упругой жёсткости материала;

ε – общая деформация;

ε_{tr} – общая деформация фазового перехода;

ε_{tr}^{\sim} – девиаторная деформация фазового перехода;

$\tau_M(T)$ – положительная и монотонно возрастающая функция температуры $\beta(T - T_0)$;

β – параметр материала;

T – температура;

T_0 – температура, при которой не наблюдается аустенит в ненапряжённом состоянии;

h – параметр материала, связанный с упрочнением материала во время фазового перехода;