

## ФАКУЛЬТЕТ НОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ И АВТОМАТИЗАЦИИ ПРОИЗВОДСТВА

УДК004.4

### ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПРОГРАММНЫХ СРЕДСТВ NATIONAL INSTRUMENTS ДЛЯ РЕАЛИЗАЦИИ АЛГОРИТМОВ СГЛАЖИВАНИЯ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ЗАВИСИМОСТЕЙ

Грядунов И.М., гр. 41-Д  
Рук. Филина А.В.

В настоящее время всё чаще возникает потребность в проведении экспериментов различной сложности и последующей обработке полученных результатов. При этом, как правило, чем сложнее эксперимент, тем большее количество опытов необходимо проводить и тем сложнее получить искомую зависимость.

Известно, что большинство процессов можно описать следующими зависимостями:

$$\text{- полиномиальная: } y = a_0 + a_1 \cdot x + a_2 \cdot x^2 + \dots + a_n \cdot x^n \quad (1)$$

$$\text{- экспоненциальная: } y = a \cdot e^{bx} \quad (2)$$

$$\text{- периодическая: } y = a_0 + a_1 \cdot \sin(x) + a_2 \cdot \sqrt{1 + \cos(x)} \quad (3)$$

Используя программные средства, предоставляемые компанией National Instruments, а в частности среду графического программирования LabVIEW разработано программное приложение, позволяющее решать вышеупомянутые зависимости. При этом количество значений аргументов и функций ограничивается ресурсами компьютера. Интерфейс программы представлен на рисунке 1.

Программа позволяет осуществлять как ручной ввод данных, так и из файла, что в значительной степени облегчает работу с программой. Степень сложности искомой зависимости по формуле (1) определяется пользователем посредством выбора степени полинома. При сглаживании данных по формуле (2) используется специальный алгоритм оптимизации, позволяющий найти наиболее точное решение поставленной задачи.

Результатом выполнения программы является:

- общий вид зависимости;
- частный вид зависимости;
- коэффициенты многочлена;
- СКО в процентах.

На диаграмме точками (Plot 0) показаны экспериментальные данные, введённые вручную в массивы X Array и Y Array, сплошной линией (Plot 1) – гра-

фик, построенный по зависимости, полученной в результате расчётов, выполненных программным приложением (на рисунке представлена в поле «Решение»).

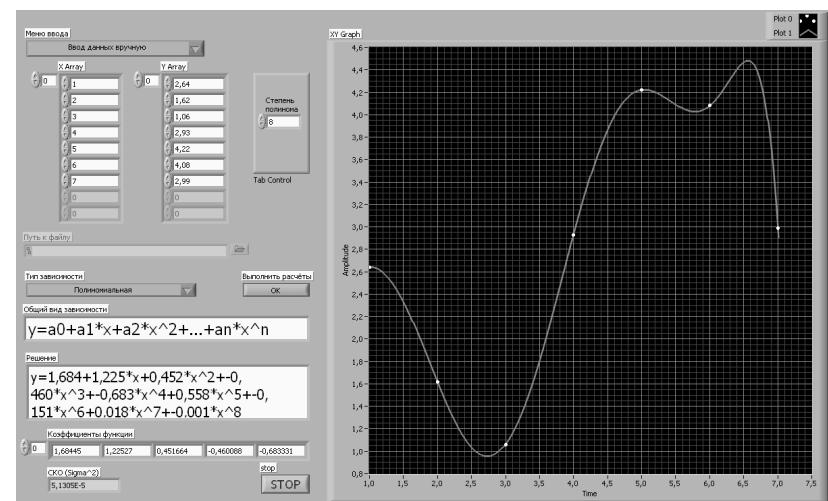


Рисунок 1 – Лицевая панель разработанного программного приложения

## ЛИТЕРАТУРА

1. Герасимович А.С. Определение параметров аппроксимирующих функций. – г. Сергиев Посад: Все для Вас – Подмосковье, 2007. – 132 с.
2. Леонов В.П. Обработка экспериментальных данных на программируемых микрокалькуляторах. Томск: Изд-во Том. ун-та. 1990. — 376 с.

### ОПТИМИЗАЦИЯ КОНСТРУКЦИЙ ЛИТНИКОВО-ПИТАЮЩИХ СИСТЕМ С ПРИМЕНЕНИЕМ КОМПЬЮТЕРНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

Александров М.В., гр. 41-Л  
Рук. Коренев Л.П.

В современном литейном производстве вопросы освоения новых отливок, повышения выхода годного, снижения трудоемкости и материальных затрат решаются с применением программных комплексов, предназначенных для моделирования литейных процессов. Это позволяет снизить затраты на проекти-

рование и доводку литейной технологии, поскольку отработка конструкции литниково-питающей системы и температурно-временных параметров технологического процесса ведется не на реальных дорогостоящих плавках, а в виртуальном пространстве математической модели.

Низкая стоимость и короткие сроки выполнения компьютерного эксперимента, а также большой объем и наглядность полученной информации о ходе технологического процесса и качестве будущей отливки делают компьютерное моделирование важнейшим инструментом опытного производства.

Цель данной работы – продемонстрировать возможности системы компьютерного моделирования литейных процессов (СКМ ЛП) ProCAST по визуализации и анализу технологии изготовления отливки в целом и оптимизации литниково-питающих систем, в частности. В качестве примера выбрана отливка “Колесо рабочее”.

В настоящей работе представлены результаты разработки технологии литья крупногабаритных рабочих колес грунтовых насосов из высоколегированного износостойкого хромистого чугуна марки ИЧХ28Н2.

#### **Назначение детали и свойства материала**

Колесо рабочее является частью грунтового насоса 12 ГРК-8. Его основные характеристики:

Область применения: горно-обогатительные и горно-металлургические предприятия, теплоэлектростанции, предприятия по производству цемента, алмазо- и золотодобывающие предприятия, технологические предприятия, технологические линии дробления, обогащения полезных ископаемых и т.п.

Перекачиваемая среда: абразивные гидросмеси плотностью до 1600 кг/м<sup>3</sup>, температурой от 50 до 70оС, с максимальным размером твёрдых включений от 1 до 200 мм микротвердостью до 11000 МПа, с водородным показателем pH 6-8 и объёмной концентрацией до 30% (вода с песком, рудой, золой; пульпа; руды черных металлов и т.д.).

Технические характеристики: производительность 1600 м<sup>3</sup>/час, напор 50 м, масса 3600 кг, частота вращения рабочего колеса 365 об/мин.

Рабочее колесо подвержено абразивному и гидроабразивному износу и является одной из наиболее изнашивающихся частей грунтового насоса, что обуславливает применение в качестве материала для изготовления колеса высоколегированного износостойкого хромистого чугуна марки ИЧХ28Н2, который позволяет увеличить межремонтный период работы насоса в несколько раз. Химический состав чугуна марки ИЧХ28Н2 представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Состав чугуна марки ИЧХ28Н2

Марка чугуна	Массовая доля элементов, %				
	C	Si	Mn	Cr	Ni
ИЧХ28Н2	2,7-3,0	0,7-1,4	0,8	28-30	1,5-3,0

Чугун марки ИЧХ28Н2 обладает высокими механическими, но неудовлетворительными литейными свойствами и большой линейной усадкой (2%). С учетом этого есть вероятность возникновения в отливке усадочных раковин,

образующихся при кристаллизационной усадке расплава, вследствие чего литая деталь может оказаться негодной.

#### **Теоретические аспекты образования усадочных раковин**

Усадочные раковины в отливках – это полости, возникающие вследствие усадки сплавов при затвердевании.

Схема образования в фасонной отливке усадочной раковины приведена на рис.1.

Тонкие стенки могут частично затвердевать и усаживаться уже при заполнении формы металлом (рис.1, а). Твердая корка образуется не сразу после заливки формы металлом. В этот период отливка питается за счет литниковой системы. Затем следует усадка жидкого металла внутри твердой корки при охлаждении до температуры начала кристаллизации (рис.1, б и в). Усадка сплава и уменьшение объема при переходе из жидкого состояния в твердое превышает усадку корки. Поэтому в определенный момент сплав отделяется под действием силы тяжести от верхней затвердевшей корки и опускается. В следующий период происходит кристаллизация жидкого металла внутри твердой корки, при которой металл усаживается, и в результате образуется раковина (рис.1, г и д).

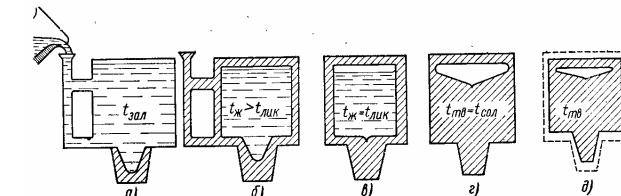


Рис.1. – Схема образования в фасонной отливке усадочной раковины

#### **Методика моделирования**

Проектирование литейной технологии проводилось с применением системы компьютерного моделирования литейных процессов ProCAST (Франция). Подготовка к моделированию литейного процесса с использованием этого программного обеспечения включала следующие этапы:

- Расчет элементов литниковой системы по методу Озанна-Диттерта и номограмме Соболева
- Создание трехмерной геометрической модели
- Формулировка модели технологического процесса (выбор граничных условий)
- Выбор теплофизических свойств сплава и параметров модели пористости.

Система ProCAST была использована также при подготовке конечно-элементной модели, для расчета свойств сплава и для уточненного расчета окончательного варианта технологического процесса.

#### **Анализ технологии изготовления отливки**

По требованиям, предъявляемым к литой заготовке, рабочее колесо является наиболее сложной деталью грунтового насоса. Геометрия колеса такова, что в отливке практически всегда образуются тепловые узлы в местах характерных выступов в центральной части отливки, которые являются областями возможного возникновения усадочных пороков.

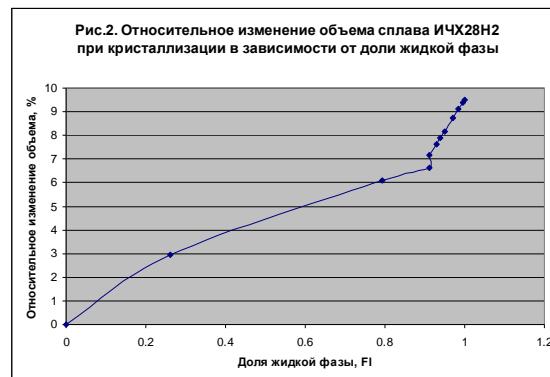
Для получения адекватной картины усадки в отливке важно правильно определить усадочные свойства. Кинематическая вязкость, коэффициент термического расширения расплава и изменение объема при плавлении могут быть определены по расчетным зависимостям с помощью термодинамической базы данных ProCAST.

*Относительное изменение объема сплава при кристаллизации* при переходе из жидкого состояния в твердое определяется выражением

$$\beta(f_L) = \frac{\rho_s(f_L)}{\rho_L(f_L)} - 1$$

В этом выражении  $\rho_s(f_L)$ ,  $\rho_L(f_L)$  – плотность твердой и жидкой фазы, соответственно;  $f_L$  – доля жидкой фазы в данный момент кристаллизации.

Эта величина характеризует усадку сплава при данном значении доли жидкой фазы в данной точке границы раздела фаз. Для определения  $\beta(f_L)$ , с помощью термодинамической базы данных была рассчитана плотность твердой и жидкой фазы сплава ИЧХ28Н2 в пределах интервала кристаллизации. Рассчитанная по этим данным кривая относительного изменения объема  $\beta(f_L)$  показана на рисунке 2.



*Спектр реализации усадки.* Прогноз усадочных раковин в отливке зависит от того, как происходит усадка сплава в интервале кристаллизации.

Если основная усадка сплава происходит в области больших значений  $f_L$  ( $f_L$  – объемная доля жидкой фазы), где проницаемость неподвижного каркаса велика, то возникающие усадочные дефекты будут ликвидироваться за счет притока расплава, т.е. будет формироваться усадочная раковина. Если основная усадка сплава происходит в области малых значений  $f_L$ , когда неподвижный каркас уже малопроницаем, то возникающие усадочные дефекты будут формировать усадочную пористость. Как видно из рисунка 2, основная усадка сплава

происходит в области больших значений  $f_L$ . Следовательно, велика вероятность возникновения в отливке именно усадочной раковины.

В СКМ ЛП ProCAST был проведен тепловой расчет и расчет жидкостного потока с целью выявления усадочных дефектов. Результаты моделирования представлены в Приложении А.

Ввиду трудностей экспериментального определения, теплофизические свойства сплава в твердожидком состоянии были рассчитаны с помощью термодинамической базы данных, входящей в состав системы ProCAST. Термодинамическая база данных позволяет определить по химическому составу сплава теплофизические свойства, необходимые для моделирования процессов затвердевания, такие как плотность, теплопроводность, доля твердой фазы, энталпия, вязкость в зависимости от температуры сплава.

#### Выводы:

1. Разработана методика применения компьютерного моделирования при отработке технологии литья сложных и ответственных деталей грунтовых насосов.
2. С помощью системы компьютерного моделирования литейных процессов ProCAST проведен анализ существующей технологии и установлены причины возникновения брака по усадочным раковинам при литье рабочих колес насосов.
3. На основании полученных результатов разработана конструкция литейного блока с питанием отливки через обогреваемую прибыль и выбраны температурно-временные параметры технологического процесса, обеспечивающие получение годных отливок.

УДК004.4

## МОДЕЛИРОВАНИЕ ОСТАТОЧНЫХ ЗНАЧЕНИЙ КРИВИЗНЫ ТРУБНОЙ ЗАГОТОВКИ В LABVIEW

Пилипенко А.В., гр. 41-АП  
Рук. Вдовин С.И.

#### 1. Постановка задачи

В настоящее время перед машиностроительными предприятиями стоит задача повышения эффективности производства и качества изготавляемых изделий. Одним из вариантов решения этой задачи является использование формообразующих операций методами обработки металлов давлением (ОМД). ОМД позволяет снизить расход материала исходной заготовки, уменьшить количество технологических переходов. В ходе пластического деформирования изменяются механические, физико-химические свойства заготовки, что может

оказывать влияние на качество деталей. Одним из распространенных способов ОМД является гибка. Однако, возникающие в ходе пластического формоизменения упругие деформации, оказывают отрицательное влияние на силовые режимы процесса и на качество изделия. Поэтому исследование процессов гибки является актуальной задачей.

Целью данной работы является расчет остаточного радиуса при гибке трубной заготовки. Такую схему гибки называют обкатка по копиру и используют в большинстве трубогибочных станков с программным управлением. Продукция, изготавливаемая по этой схеме, может иметь сложную форму, состоящую из различных участков - недеформированных и изогнутых (рис. 1).

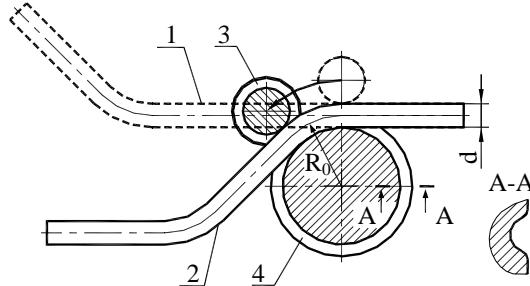


Рисунок 1. – Схема гибки трубы: 1, 2 – первый и второй переходы; 3 – обкатывающий ролик; 4 – копир

Требовалось разработать и создать программу, производящую динамический расчет остаточного значения кривизны оси торOIDального участка трубной заготовки.

## 2. ВУЗ, кафедра, на которой внедрено решение

Решение данной задачи внедрено на кафедре «Автоматизированные процессы бесстружковой обработки» Орловского государственного технического университета в курсе исследовательских и лабораторных работ по дисциплинам «Теория пластичности», «Технологические процессы», «Теория обработки металлов давлением».

## 3. Описание решения

Для выполнения поставленной задачи был выбран графический язык программирования LabVIEW, т.к. он отличается простотой и наглядностью. А так же LabVIEW- специализированная среда разработки программного обеспечения для инженеров, потому что представляет операторы в виде графических блоков, привычных для любого конструктора. В LabVIEW имеется масса встроенных математических функций, которые позволяют решать модели различной сложности, представлять результаты в требуемом инженеру виде.

Рассмотрим процесс деформирования для различных групп материалов. Механические свойства материалов, подвергающихся деформированию, представлены в таблице 1:

Группа	Марка	$E, \text{кг}/\text{мм}^2$	$n$	$A, \text{кг}/\text{мм}^2$
Сплавы алюминия	Д16М	7100	0,236	36,5
	Д16Т	6900	0,170	71,2
Сплавы титана	ВТ1	10500	0,1	90
	ВТ14	11000	0,0985	141
Стали	10	20000	0,158	61,9
	20	20000	0,161	74,8
	35	20000	0,161	91
	45	20000	0,170	109
	30ХГСНА	20000	0,169	120

Примем диаметр трубной заготовки  $d$ , толщина стенки трубы заготовки:  $t_1=d*0,1$ ;  $t_2=d*0,2$ ;  $t_3=d*0,3$ ;  $t_4=d*0,4$ , радиус копира  $R_0$ .

Изгиб вызывает деформации  $\varepsilon_\phi$  удлинения и сжатия в различных частях трубы, разграниченных на рисунке 1 ее осью, длина которой остается неизменной (рис. 2). Деформации  $\varepsilon_\phi$  соответствуют растягивающие и сжимающие напряжения  $\sigma_\phi$ . Наибольшие и наименьшие деформации  $\varepsilon_\phi = \pm 0,5d/R_0$  испытывают волокна трубы, касающиеся обкатывающего ролика и копира. Радиусы этих волокон равны  $R_0 \pm 0,5d$ . Растягивающие деформации  $\varepsilon_\phi$  могут привести к разрыву стенки трубы, а сжимающие – к образованию волн из-за потери устойчивости тонкой стенки.

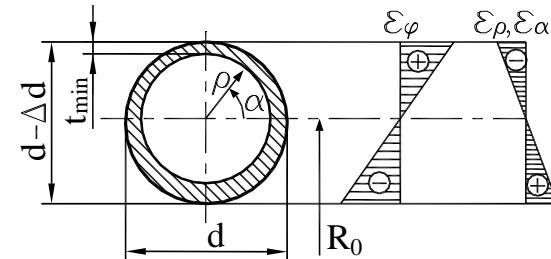


Рисунок 2. – Деформации и перемещения в сечении трубы

Расчеты проводятся для всех материалов по одной схеме:

1. Определяем изгибающий момент по формуле (1):

$$M = \frac{2A}{R_0^n} \int_0^\pi \sin^{n+1} \alpha d\alpha \int_{0,5d-t_0}^{0,5d} \rho^{n+2} d\rho \quad (1)$$

2. Определяем момент инерции сечения трубы по формуле (2):

$$J = \frac{\pi}{64} \cdot (d^4 - (d - t)^4) \quad (2)$$

3. По формуле (3) определяем остаточное значение кривизны оси торOIDального участка трубной заготовки (остаточный радиус):

$$\frac{1}{R_{ocm}} = \frac{1}{R_0} - \frac{M_0}{EJ} \quad (3)$$

4. Определяем относительный радиус по формуле (4):

$$R_{\text{относ}} = \frac{R_{\text{ост}}}{R_0} \quad (4)$$

Для автоматизации расчета остаточного значения кривизны оси торoidalного участка трубной заготовки задачу разбили на несколько этапов:

На первом этапе производится ввод данных с помощью элементов управления. Одним из используемых элементов управления является Radio Buttons, позволяющий выбрать механические свойства нужного материала, которые занесены в блок case structure. Эти свойства являются входными данными для расчета изгибающего момента.

Следующим этапом является нахождение значения момента инерции сечения трубы.

Далее производится расчет двойного интеграла для нахождения изгибающего момента, при этом используется функции: Ramp Pattern, Sine, Power of X.

Одним из преимуществ использования программного обеспечения National Instruments является виртуальный характер расчета, а так же выдача результата в графическом виде, что повышает наглядность расчетов. В программе предусмотрена динамическая смена графиков и индикаторов при смене материала и толщины стенки трубной заготовки.

Автоматизация процесса расчета позволяет сделать выводы, что с увеличением толщины трубы остаточный радиус кривизны Rост уменьшается. Кроме того, он зависит от постоянных значений величин механических свойств материала, так, например, более мягкие материалы (например: алюминий) имеют меньший Rост.

На рисунке 3 представлен фрагмент лицевой панели работы программы для сплава алюминия Д16М.

#### 4. Используемое оборудование и программное обеспечение National Instruments

Среда графического программирования – LabVIEW 8.5.1

#### 5. Перспективы внедрения и развития решения

Приведенная программа может быть внедрена на предприятиях машиностроительного комплекса, металлообрабатывающих предприятиях, нефте- и газовой промышленности. Ее использование позволит сократить время подготовки производства новых изделий, повысить эффективность технологического процесса за счет оптимального выбора усилия деформирования, непосредственно связанного с остаточными упругими деформациями, повысить качество изготавливаемых изделий.

Перспективным является разработка автоматизированной системы управления процессом деформирования с использованием систем машинного зрения компании **National Instruments**, которая позволит в режиме реального времени снимать показания радиуса гибки трубы, сравнивать их с расчетными и передавать управляющие воздействия на ход технологического процесса.

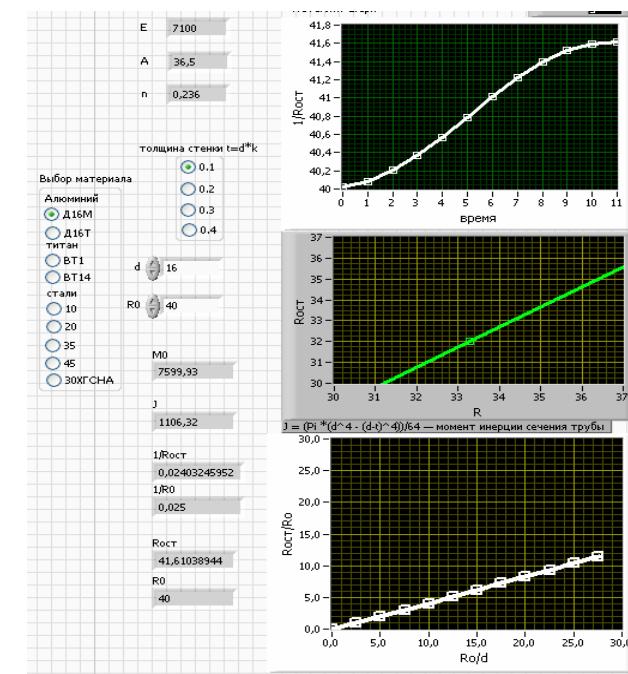


Рисунок 3 Лицевая панель программы с выбранным материалом

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Л.М. Качанов Основы теории пластичности. «Наука», 1969. 417 с.
2. А.А. Ильюшин Пластиичность. «ОГИЗ», 1948. 377 с.
3. А.Я. Сурганов LabVIEW 7: справочник по функциям. Москва.: ДМК Пресс, 2005. 512 с.

УДК004.4

## АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОИЗВОДСТВА СИЛИКАТНОГО КИРПИЧА

Пичугин А.В., гр. 51-АП

Рук. Дорофеев О.В.

Доклад посвящен автоматизации системы контроля технологических параметров процесса запаривания кирпича-сырца и организации контроля (отображение показаний всех параметров процесса на автоматизированном рабочем месте с возможностью калибровки их значений: скорость изменения давления пара; сумма произведения давления на время; температура верхнего обвода автоклава; температура нижнего обвода автоклава; перепад температуры по высоте; скорость изменения температуры; контроль времени технологического процесса по этапам – подъем давления, выдержка при постоянном давлении, сброс давления; отображение аварийных сообщений ) и документированию процесса производства кирпича в архив на жесткий диск.

Модернизация системы контроля проведена с установкой шкафа системы контроля и шкафа преобразователя интерфейса.

Проект АСУ "Автоклав" реализован на базе Adastra Trace Mode 6, ДокМРВ+ и аналоговых модулей ввода ОВЕН МВА8.

В графической части реализованы графические экраны, необходимые для контроля над процессом, а также для настройки системы и контроля ее работоспособности.

### *Автоматизация производства силикатного кирпича*

Автоклавное отделение ОАО «Орловского завода силикатного кирпича» содержит 13 автоклавов для обработки (запаривания) силикатного кирпича-сырца, в месяц завод производит 5,5 млн. кирпичей

Цель: автоматизация системы контроля технологических параметров процесса запаривания кирпича-сырца и организация контроля и документирование процесса производства кирпича.

Для обеспечения выпуска качественной продукции, при проведении процесса запаривания, необходимо обеспечивать плавный набор температуры в автоклаве, временную выдержку заданной температуры и плавный сброс температуры. Резкие скачки температуры приводят к образованию трещин и снижению качества продукции.

Система АСУ "Автоклав" для ОАО "Орловского завода силикатного кирпича" обеспечивает сбор и отображение данных на автоматизированном рабочем месте, на базе персонального компьютера, которое установлено в комнате оператора.

#### *Перечень контролируемых параметров:*

- скорость изменения давления пара;
- сумма произведения давления на время;

- температура верхнего обвода автоклава;
- температура нижнего обвода автоклава;
- перепад температуры по высоте;
- скорость изменения температуры;
- контроль времени технологического процесса по этапам – подъем давления, выдержка при постоянном давлении, сброс давления.

*В архив на жесткий диск ПК ведется на глубину до 3-х лет:*

- давление пара;
- температура верхнего обвода автоклава;
- температура нижнего обвода автоклава;
- сумма произведения давления на время;
- все аварийные сообщения.

Модернизация системы контроля была проведена с установкой шкафа системы контроля (ШСК) и шкафа преобразователя интерфейса (ШПИ).

Проект АСУ "Автоклав" реализован на базе Adastra Trace Mode ДокМРВ+ и аналоговых модулей ввода ОВЕН МВА8

В графической части были реализованы графические экраны необходимые для контроля над процессом, а также для настройки системы и контроля ее работоспособности.

Для предупредительной и аварийной сигнализации использованы отчет тревог, звуковые файлы.

*На экране "Диспетчер" отображаются в виде таблицы текущее значение параметров:*

- номер автоклава;
- этап технологического процесса – подъем давления, выдержка при постоянном давлении, сброс давления;
- время от начала технологического процесса;
- температура верхнего обвода автоклава;
- температура нижнего обвода автоклава;
- перепад температуры по высоте;
- скорость изменения температуры;
- давление пара;
- скорость изменения давления
- сумма произведения давления на время;

*В виде графиков отображаются параметры по двум автоклавам, выбранных оператором:*

- давление пара;
- температура верхнего обвода автоклава;
- перепад температуры по высоте;

*В виде сообщений отображаются аварийные режимы:*

- подъем давления пара выше уставки;
- скорость изменения давления пара выше уставки;
- скорость изменения температуры выше уставки;
- отсутствие паузы при подъеме давления;

- звуковая сигнализация аварийных режимов.

Просмотр архива осуществляется на экране "Архив" по любому автоклаву за любой период времени в табличном или графическом виде в виде графиков, также отображаются аварийные сообщения за выбранный период времени.

На экране "Диагностика" отображаются показания всех измерительных каналов с возможностью калибровки значений.

На экране "Сведения" отображается наименование программы и контактная информация разработчика.

#### *Перечень проведенных работ*

Обследования оборудования автоклавного отделения.

Разработка документации на автоматизированную систему.

Поставка, монтаж и ввод оборудования автоматизации в эксплуатацию.

Проведение стажировки оперативного персонала.

Проведение гарантийного и послегарантийного обслуживания.

#### *Технические параметры*

##### *Безопасность*

Конструкция системы обеспечивает безопасность обслуживающего персонала при её эксплуатации, проверке и ремонте.

##### *Надежность*

Ресурс работы системы не менее 20 000 часов, срок службы системы не менее 10 лет.

Система создана таким образом, чтобы допустить возможность расширения для внедрения функций автоматического управления.

#### *Перечень прилагаемых документов и программного обеспечения*

руководство по эксплуатации системы;

альбом схем;

комплект программного обеспечения системы: Операционная система Microsoft Windows XP, программное обеспечение SCADA Trace Mode, программное обеспечение системы контроля "Автоклав".

## **ПРИМЕНЕНИЕ КОМБИНИРОВАННЫХ МЕТОДОВ АЗОТИРОВАНИЯ ДЛЯ ФОРМИРОВАНИЯ ИЗНОСОСТОЙКИХ ПОКРЫТИЙ НА ТИТАНОВЫХ СПЛАВАХ**

**Александров М.В., Хичев Б.К., гр. 41-Л**  
**Рук. Ильина Л.В.**

Современные условия эксплуатации деталей и инструментов выдвигают все новые требования к свойствам рабочих поверхностей. Для повышения работоспособности деталей из титановых сплавов, которые эксплуатируются в условиях контактных нагрузок, важно сформировать соответствующий уровень

механических свойств рабочих поверхностей. Одним из самых распространенных методов упрочнения поверхности титановых сплавов является азотирование.

Азотирование — это технологический процесс химико-термической обработки, при которой поверхность различных металлов или сплавов насыщают азотом в специальной азотирующей среде. Поверхностный слой изделия, насыщенный азотом, имеет в своем составе растворенные нитриды, и приобретает повышенную коррозионную стойкость и высочайшую микротвердость. По микротвердости азотирование уступает только борированию, в то же время, превосходя цементацию и нитроцементацию (незначительно).

Преимущество газового азотирования (ГА) заключается в возможности обеспечения плавного градиента твердости по толщине поверхностного слоя за счет формирования глубокого ( $\geq 50$  мкм) переходного слоя между нитридной пленкой и матрицей. Однако относительно высокие температуры насыщения ( $750\ldots950^{\circ}\text{C}$ ) негативно отражаются на титановой матрице. Преимуществом азотирования в тлеющем разряде (АТР), а также ионной имплантации азота (ИИА) является возможность формирования нитридных пленок при более низких температурах ( $600\ldots700$  и  $300\ldots500^{\circ}\text{C}$  соответственно). Однако незначительная толщина диффузионного слоя и, следовательно, высокий градиент твердости при переходе от нитридного слоя к матрице - не наилучший вариант при получении износостойких приповерхностных слоев.

Цель предлагаемой работы - оценить эффективность применения комбинированного метода азотирования, заключающегося в последовательном проведении ГА и АТР, ГА и ИИА, для повышения износостойкости титановых сплавов.

#### *Результаты исследований*

При комбинированном методе азотирования основывались на следующих соображениях. Поскольку специфика методов АТР и ИИА не позволяет формировать упрочненные слои с хорошо развитой нитридной пленкой при наличии глубокой диффузионной зоны, то сначала проводили ГА по режиму, обеспечивающему получение глубоких твердорасторвенных слоев, а затем методом АТР, либо ИИА наращивали поверхность нитридную пленку.

В частности, ГА в разреженной динамической атмосфере азота при температуре  $660^{\circ}\text{C}$  не способствует активному нитридообразованию. На дифрактограммах, снятых с поверхности азотированных образцов, фиксируется лишь несколько рефлексов низшего нитрида титана  $\text{Ti}_2\text{N}$  на фоне широкого спектра линий титановой матрицы (рис. 1, линия 1). При этом низкая поверхностная микротвердость (4,5 ГПа) и диффузионный слой до 30 мкм формируют плавный градиент твердости по сечению упрочненных поверхностных слоев (рис. 2, кривая 1).

Азотирование в тлеющем разряде титанового сплава ВТ6 обеспечивает формирование поверхностного нитридного слоя, в состав которого входит низший нитрид титана  $\text{Ti}_2\text{N}$  и мононитрид  $\text{TiN}$  (рис. 1, линия 2). Нитрид  $\text{Ti}_2\text{N}$  представлен линиями (111) и (210), а  $\text{TiN}$  - лишь одной линией (111) слабой ин-

тенсивности. Ограниченный спектр рефлексов нитридных фаз свидетельствует о незначительной толщине поверхностного нитрида. Наличие нитридного слоя обеспечивает поверхностную микротвердость образцов после азотирования  $H = 6$  ГПа. Поскольку диффузионный слой имеет небольшую толщину (до 15 мкм), формируется резкий градиент твердости по сечению упрочненного поверхностного слоя (рис. 2, кривая 2).

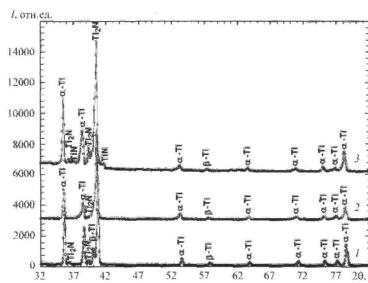


Рис. 1. Дифрактограммы, снятые с поверхности сплава ВТ6 после азотирования:  
1 – ГА; 2 – АТР; 3 – ГА + АТР

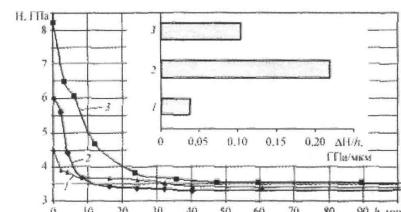


Рис. 2. Распределение и градиент микротвердости по сечению упрочненного поверхностного слоя сплава ВТ6 после азотирования:  
1 – ГА; 2 – АТР; 3 – ГА + АТР

Сочетание обоих методов азотирования, т.е. последовательное проведение ГА и АТР позволяет формировать азотированный слой с нитридной пленкой на поверхности при плавном градиенте твердости по сечению приповерхностных слоев, что более благоприятно с точки зрения триботехники. Дифракционная картина, снятая с поверхности сплава после такой обработки, принципиально не отличается от полученной после одинарного АТР: нитридный слой представлен тетрагональным ( $Ti_2N$ ) и кубическим ( $TiN$ ) нитридами титана (рис. 1, линия 3). Однако увеличение количества и интенсивности рефлексов нитридных фаз на фоне уменьшения интенсивности линий  $\alpha$ - и  $\beta$ -титана свидетельствует об утолщении нитридного слоя. Образованный нитридный слой обеспечивает поверхностную микротвердость на уровне 8,3 ГПа и при диффузионном слое твердого раствора азота в  $\alpha$ -титане толщиной до 40...45 мкм формирует практически вдвое меньший градиент твердости по сечению упрочненных слоев, чем при АТР (рис. 2, кривая 3).

Качество поверхности образцов сплава как после ГА, когда нитридообразование заторможено, так и после АТР, когда на поверхности формируется нитридная пленка, незначительно ухудшается (значение  $R_a$  оставаясь в пределах одного класса, составляет 0,269 и 0,319 мкм соответственно при 0,184 мкм у образцов без обработки). После комбинированного азотирования шероховатость поверхности возрастает до 0,406 мкм.

Азотированные слои, сформированные описанными выше методами, отличаются поведением при трении. Износостойкость нитридного слоя, полученного АТР, при нагрузке 0,12 Н/мм<sup>2</sup> выше, чем диффузионного, сформированного при газовом азотировании. Незначительное равномерное изнашивание начинается после 750 м пути трения, тогда как образцы после ГА начинают интен-

сивно изнашиваться уже в период приработки, а после 1000 м пути их износ уже более чем в 50 раз больше износа нитридного слоя, полученного АТР. При этом интенсивность изнашивания образцов, обработанных методом АТР на исследуемой базе составляет  $2 \cdot 10^{-9}$ . На поверхности трения образцов после АТР наблюдаются незначительные пятна схватывания и относительно неглубокие царапины. В то же время на поверхности трения после ГА наблюдаются глубокие следы в направлении взаимного движения детали и контртела, несмотря на то, что нагрузка относительно небольшая. Таким образом, заданные параметры ГА, способствуя формированию поверхностных слоев с плавным градиентом твердости, не обеспечивают достаточного уровня поверхностного упрочнения.

Исследование поведения при трении слоя, сформированного комбинированным азотированием, показало, что интенсивность его изнашивания при нагрузке 0,12 Н/мм<sup>2</sup> более чем в 2 раза меньше, чем слоя, сформированного АТР, и составляет  $0,9 \cdot 10^{-9}$ . На поверхности трения наблюдаются неглубокие царапины. При больших нагрузках (0,25 Н/мм<sup>2</sup>) такой слой остается износостойким и начинает заметно изнашиваться лишь после 2000 м пути трения. Сравнительно со слоем, сформированным методом АТР, износостойкость слоя после комбинированного азотирования в 55 раз выше.

Другим способом, позволившим сочетать предварительное диффузионное насыщение поверхности слоя титановых сплавов азотом с образованием слоя твердого раствора азота в  $\alpha$ -титане с последующим формированием нитридной пленки на поверхности, является проведение ГА и последующей ИИА. Однако условия проведения ИИА оказались недостаточными для активного нитридообразования на поверхности сплава. В дифракционном поверхностном спектре образцов фиксировали лишь линию (210) низшего нитрида титана  $Ti_2N$  высокой интенсивности на фоне широкого спектра линий титановой матрицы. Рефлексы мононитрида титана  $TiN$  не обнаружены.

Проведение указанной комбинированной обработки приводит к увеличению градиента микротвердости поверхностного слоя. Поверхностная микротвердость образцов после обработки возрастает до 5,1 ГПа. Имплантация азота не влияет на толщину упрочненного слоя, при этом степень упрочнения в поверхностном слое изменяется. На глубину до 3 мкм твердость по сечению образца уменьшается, оставаясь, однако, выше значений, полученных после ГА. Затем наблюдается перегиб кривой с образованием максимума на глубине  $h = 7\ldots8$  мкм.

Проведение ИИА после ГА практически не влияет на шероховатость поверхности (после газового азотирования и последующей имплантации азота, значение  $R_a$  составляет соответственно 0,26 и 0,216 мкм), однако все же проявляется тенденция к улучшению качества поверхности, связанная, очевидно, с катодным распылением (эффект "выглаживания" поверхности).

Триботехнические испытания, проведенные при нагрузке 0,12 Н/мм<sup>2</sup>, показали, что дополнительная ИИА в поверхностный слой азотированного титанового сплава ВТ6 отрицательно отражается на его износостойкости. В частности, изнашивание поверхности начинается уже после 250 м пути трения, как и

после ГА, причем в случае комбинированной обработки износ вдвое больше. После 1000 м пути трения уже резко увеличивается износ поверхности сплава после ГА, хотя замедления изнашивания после комбинированной обработки в процессе трения не наблюдается. Низкая износостойкость азотированных слоев, полученных комбинированием ГА и последующей ИИА, может быть связана с отсутствием нитридной пленки достаточной толщины на поверхности сплава, а также с неравновесным состоянием поверхностного слоя после имплантации. Для достижения равновесного состояния в слое, подвергнутом воздействию потока ионов, необходима термическая обработка.

Именно эту цель преследовали, проводя дополнительную химико-термическую обработку (ХТО). Кроме этого, в результате проведения такой обработки добивались формирования поверхностной нитридной пленки толщиной более 2 мкм. Рентгеновский фазовый анализ подтвердил достижение желаемого результата: в дифракционном спектре поверхности образцов не только увеличивается количество рефлексов низшего нитрида титана  $Ti_2N$ , но и появляются линии  $TiN$ . Формирование нитридной пленки сопровождается увеличением шероховатости поверхности ( $R_a = 0,387$  мкм) и незначительным повышением поверхностной микротвердости (до 5,7 ГПа). Интенсивность изнашивания таких слоев при нагрузке  $0,25$  Н/нм<sup>2</sup> составляет  $1,5 \cdot 10^{-7}$ , в то время как интенсивность изнашивания слоев, полученных после последовательных ГА и АТР, равна  $1,83 \cdot 10^{-8}$ .

### ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА ПЕРЕМЕЩЕНИЙ К РАСЧЕТУ СТЕРЖНЕВЫХ СИСТЕМ

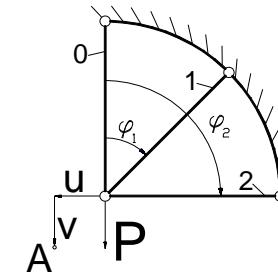
**Харитонов С.С., Толпекин А.В., гр. 21-УН  
Рук. Прокопов Е.В.**

Метод перемещений отличается от метода сил тем, что при раскрытии статической неопределенности в качестве неизвестных принимаются не силы, а перемещения.

Метод перемещений заслуживает столь же уважительного к себе отношения, что и известный нам метод сил. Нельзя сказать, который из них лучше. Они в основном равнозначны. Преимущества одного перед другим определяются особенностями статически неопределенной системы и в какой-то мере привычками и традициями.

Особенно просто метод перемещений раскрывается статическая неопределенность систем с малым числом узлов. Рассмотрим пример, очень простой для метода перемещений и вместе с тем сложный для метода сил.

Обозначим горизонтальное и вертикальное перемещение узла А через  $u$  и  $v$  соответственно.



$$l_0 = l_1 = l_2 = l; F_0 = F_1 = F_2 = F; \varphi_1 = 45^\circ; \varphi_2 = 90^\circ; P = 10^3(H)$$

Удлинение  $i$ -го стержня определяется суммой перемещений  $u$  и  $v$  на ось стержня:

$$\Delta l_i = u \sin \varphi_i + v \cos \varphi_i;$$

$$\Delta l_0 = v;$$

$$\Delta l_1 = u \sin \varphi_1 + v \cos \varphi_1; \Delta l_1 = u \frac{\sqrt{2}}{2} + v \frac{\sqrt{2}}{2};$$

$$\Delta l_2 = u;$$

Растягивающая сила определяется выражением:

$$N_i = \frac{EF_i}{l_i} (u \sin \varphi_i + v \cos \varphi_i);$$

$$N_0 = \frac{EF_0}{l_0} v;$$

$$N_1 = \frac{EF_1 \sqrt{2}}{l_1} (u + v); N_2 = \frac{EF_2}{l_2} u;$$

Составим два уравнения равновесия для отсечённого узла А:

$$\sum_{i=0}^{n-1} N_i \cos \varphi_i = P;$$

$$\sum_{i=0}^{n-1} N_i \sin \varphi_i = 0;$$

$$\begin{cases} N_0 + N_1 \cos \varphi_1 = P; \\ N_1 \sin \varphi_1 + N_2 = 0. \end{cases}$$

Исключая силу  $N$  и переходя к перемещениям получаем два уравнения для определения  $u$  и  $v$ :

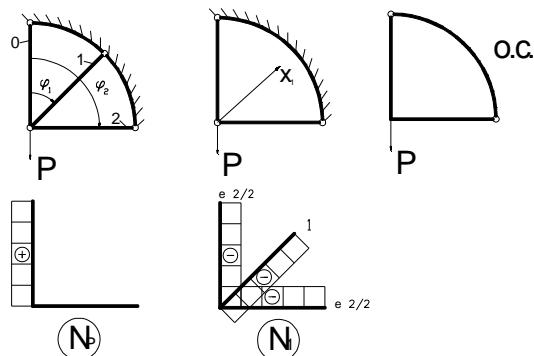
$$u \sum_{i=0}^{n-1} \frac{EF_i}{l_i} \sin \varphi_i \cos \varphi_i + v \sum_{i=0}^{n-1} \frac{EF_i}{l_i} \cos^2 \varphi_i = P;$$

$$u \sum_{i=0}^{n-1} \frac{EF_i}{l_i} \sin^2 \varphi_i + v \sum_{i=0}^{n-1} \frac{EF_i}{l_i} \sin \varphi_i \cos \varphi_i = 0;$$

При  $EF_i - const$  и  $l_i - const$ :

$$\begin{aligned}
 v \frac{EF_0}{l_0} + u \frac{2EF_1}{4l_1} + v \frac{2EF_2}{4l_2} &= P; \\
 u \left( \frac{EF}{2l} \right) + v \left( \frac{3EF}{2l} \right) &= P; \\
 u \left( \frac{2EF_1}{4l_1} + \frac{EF_2}{l_2} \right) + v \left( \frac{2EF_1}{4l_1} \right) &= 0; \\
 u \left( \frac{3EF}{2l} \right) + v \left( \frac{2EF}{4l} \right) &= 0; \\
 u = -\frac{2vEF}{4l} \cdot \frac{4l}{6EF} &= -\frac{v}{3}; \\
 -\frac{vEF}{6l} + \frac{3EFv}{2l} &= P; \\
 v = \frac{3Pl}{4EF}; \quad u = -\frac{Pl}{4EF}; \quad N_0 &= \frac{3P}{4}; \quad N_1 = \frac{\sqrt{2}P}{4}; \quad N_0 = -\frac{Pl}{4};
 \end{aligned}$$

Проверка:



$$\begin{aligned}
 \delta_{11} X_1 + \Delta_{1p} &= 0; \\
 \delta_{11} = l \cdot 1 \cdot 1 + l \cdot \frac{\sqrt{2}}{2} \cdot \frac{\sqrt{2}}{2} + l \cdot \frac{\sqrt{2}}{2} \cdot \frac{\sqrt{2}}{2} &= 2l; \\
 \Delta_{1p} = -P \cdot l \cdot \frac{\sqrt{2}}{2} &; \\
 X_1 = -\frac{\Delta_{1p}}{\delta_{11}}; \quad N_1 = X_1 = \frac{\sqrt{2}}{4} P &;
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 N_0 + N_1 \sin 45^\circ &= P; \\
 N_2 + N_1 \cos 45^\circ &= 0;
 \end{aligned}$$

## ЛИТЕРАТУРА

- Феодосьев, В.И. Сопротивление материалов / В.И. Феодосьев. – М.: Наука, 1986. – 512 с.

УДК 539.1:778.347

## ТЕХНИКА РАСЩЕПЛЕНИЯ ВРЕМЕНИ. СКОРОСТНАЯ ФОТОГРАФИЯ

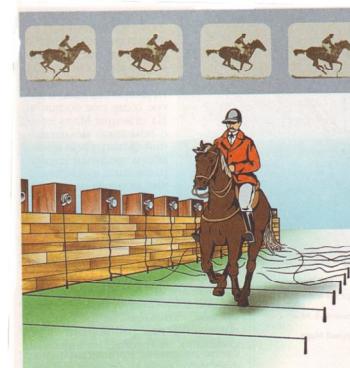
**Бабин А.Ю., гр. 11-МХ**  
Рук. Доц. Рогожина Т.С.

Инерционность сетчатки глаза, не позволяющая нам зрительно воспринимать изменения, происходящие быстрее примерно 1/20 секунды, оказалась одновременно и благом для развития культуры, и препятствием для научного поиска. В 1878 году американец Эдвард Майбридж начал исследования в области скоростной фотографии с решения не Бог весть какой фундаментальной научной задачи. Он хотел получить ответ на

вопрос: отрывается ли хоть на мгновение от земли скачущая рысью лошадь, или в любой момент хотя бы одна ее нога сохраняет контакт с почвой? Но как его поймать, этот миг? Майбридж нашел выход. Он поставил вдоль участка дороги, по которой предстояло проскакать лошади, несколько фотокамер в ряд. Решение частной задачи (лошадь, идущая рысью, все-таки отрывается от земли) привело к появлению первого опыта скоростной съемки [1].

Развитие технологий XX века превратило решение задачи, над которой ломал голову Майбридж, в детскую забаву. Уже в начале 1930-х компания Eastman Kodak выпустила 16-мм кинокамеру, которая была способна вести съемку со скоростью 1000 кадров в секунду. Этого вполне достаточно, для того чтобы в деталях рассмотреть любые скоротечные движения в живой природе. Но наступала ядерная эпоха, и науку уже интересовали процессы с несравнимо более мелким временным масштабом.

Пионером "атомной" фотографии стал американец Гарольд Юджин Эдгертон (1903-1990). Первоначально он разработал технологию высокоскоростной съемки с использованием стробоскопического эффекта. Подсвечивая движущийся объект серией сверхбыстрых световых импульсов, Эдгертон



сумел сделать снимки с временем экспозиции от 1/10 000 до 1/100 000 секунды, получив четкие, без "смазки", изображения воздушного шарика в момент разрыва оболочки или пули, пробивающей навылет яблоко.[2]

Для «ядерной» фотографии был разработан специальный затвор с применением так называемой ячейки Керра. Ячейкой Керра называется поляризационный фильтр, который под воздействием электрического импульса может почти мгновенно изменять направление поляризации. В момент срабатывания затвора на промежуток времени в 10 наносекунд поляризация ячейки совпадала с направлением поляризации другого фильтра, открывая путь свету ядерной вспышки к светочувствительной пластине. [3]

Чтобы осуществить съемку последовательности кадров, отображающих быстротекущие процессы в движении, и при этом обойти естественные ограничения механических затворов и лентопротяжных механизмов, пришлось создать весьма оригинальные устройства. Одним из таких устройств стала высокоскоростная камера Dynafax, разработанная компанией Cordin, также активно сотрудничавшая с американскими атомщиками. В ней вращающееся со скоростью более 100 000 оборотов в минуту зеркало "разбрасывало" сфокусированное объективом изображение по кадрам отрезка кинопленки, закрепленного на соосной зеркалу арке с дугой 90 градусов. Для приведения в движение вала, на котором вращается зеркало, использовались как электропривод, так и (для наиболее скоростных моделей) газовая турбина. Последние модели камер с вращающимся зеркалом способны вести съемку со скоростью до 25 000 000 кадров в секунду.[4]



Опыт Майбриджа в каком-то смысле пригодился уже на совершенно новом этапе развития скоростной фото- и киносъемки, связанном с появлением светочувствительных матриц CCD. Идея последовательного включения фотокамер для запечатления фаз стремительного движения трансформировалась в концепцию последовательного включения матриц. В одной из конструкций

сверхскоростных камер, использующих CCD, свет, отражающийся от снимаемого предмета, сначала попадает в объектив, затем разделяется на несколько лучей, каждый из которых, пройдя через фотоэлектронный усилитель, фокусируется на отдельной матрице.

Очевидно, что новые возможности высокоскоростной съемки связаны с развитием электронных технологий. Особые надежды возлагаются на камеры с оптико-электронным преобразователем изображения. В нем фотонами преобразуются в поток электронов, который затем электростатически фокусируется. Попадая на покрытый фосфором экран, электроны вновь преобразуются в фотоны, и оптическое изображение восстанавливается. Теперь оно может быть записано на фотопленку или на светочувствительную матрицу. Камеры с оптико-электронным преобразователем изображения способны создавать последовательности снимков со скоростью 50 000 000 000 кадров в секунду, правда, лишь в монохромном варианте. [5]



## ЛИТЕРАТУРА

1. Энциклопедия для детей. Искусство. Том 7. Часть 3. - М.: Аванта +. 2001
2. Интернет портал [www.popmech.ru](http://www.popmech.ru)
3. Популярная механика №1(75) – М.: Фешн Пресс 2008
4. Интернет портал [www.popmech.ru](http://www.popmech.ru)
5. Популярная механика №1(75) – М.: Фешн Пресс 2008

УДК621.313

## ИЗУЧЕНИЕ ВНЕШНЕГО ВРАЩАЮЩЕГОСЯ МАГНИТНОГО ПОЛЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАШИН И ЕГО ВЛИЯНИЕ НА ОРГАНИЗМ ЧЕЛОВЕКА

Фурсова Е.А., гр. 31-ЭО  
Рук. Загрядцкий В.И., Худотеплов П.А.

«Нас облучают круглые сутки. Излучение радиостанций, каналов TV, системы связи, разветвленной сети систем электроснабжения...

А недавно масло в огонь подлили несколько независимых институтов, определивших, от чего исходит основной вред. К примеру, в Новосибирском

медицинском институте впервые в России провели исследования влияния вращающихся (трехфазных) электромагнитных полей на подопытных животных – крыс. У грызунов, сидевших под источником излучения, появлялись раковые опухоли, почти у всех особей наблюдалось повышение агрессивности», - так угрожающее звучит предисловие статьи [1], опубликованной в газете «Московский комсомолец» 11 марта 2009 года.

На вопросы корреспондента отвечал кандидат технических наук, в прошлом главный конструктор научно-технического центра (НТЦ) испытаний радиоэлектронных оборонных средств Юрий Рябин. Он утверждает, что «...Всемирная организация здравоохранения рекомендовала допустимую величину плотности потока магнитной индукции для человека 0,2мкТл или 0,16А/м. В России показатель местами доходит до 2000мкТл и никто на это не обращает внимания».

Действительно, человеческий организм всегда реагирует на электромагнитное поле. Однако, для того чтобы эта реакция переросла в патологию и привела к заболеванию необходимо совпадение ряда условий – в том числе достаточно высокий уровень поля и продолжительность облучения.

В современном мире мы часто используем электрические машины, а ведь они также являются источниками вращающихся полей. Наиболее распространенными как в быту, так и в промышленности являются асинхронные электродвигатели. Как же их внешнее магнитное поле влияет на организм человека?

Нами был исследован асинхронный трехфазный электродвигатель с короткозамкнутым ротором мощностью 0,6кВт, представленный на рис.1. На рисунке числами отмечены точки, в которых измерялась индукция магнитного поля.

Результаты измерений были обработаны и по ним построены графики рис.2.

Из графиков видно, что наиболее сильный всплеск внешнее магнитное поле имеет в районе точки измерения 2, в этом месте в двигателе находятся вылеты обмоток.

Сравнивая полученные результаты с действующими в настоящее время Санитарными правилами и нормативами [2], можно убедиться, что при работе на данном двигателе предельно допустимые уровни вихревого поля не нарушаются (табл.1), только при условии локального (на конечности) воздействия и причем время пребывания под этим воздействием не должно превышать 4x часов. Если же эти нормы не соблюдаются, то у человека нарушаются эндокринная система, обменные процессы, функции головного и спинного мозга.

В настоящее время воздействие магнитного поля промышленной частоты нормируется лишь значением модуля напряженности магнитного поля (без учета направления вектора). Однако учет направления этого вектора по отношению к человеку обуславливает различные значения индуцированных токов в его теле, определяющих тяжесть воздействия магнитного поля.

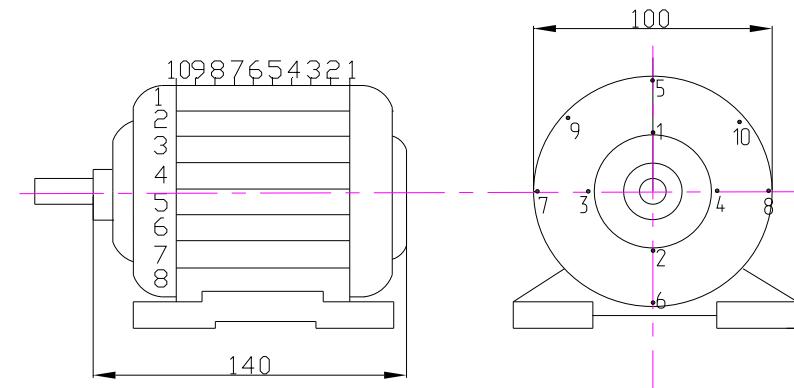


Рис. 1. – Схема испытуемого двигателя

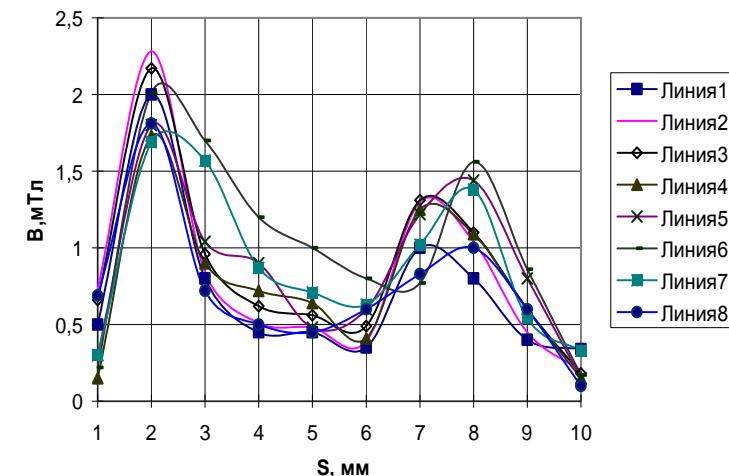


Рис. 2. – Графики распределения внешнего магнитного поля между ребрами охлаждения АД

Таблица 1 – ПДУ воздействия периодического магнитного поля частотой 50 Гц

Время пребывания(час)	Допустимые уровни магнитного поля В, мТл при локальном воздействии
≤1	8
2	4
4	2
8	1

В информационно-справочном издании [3] опубликованы результаты исследования, в которых изучено влияние направления вектора напряженности магнитного поля на величины индуцированных токов в теле человека. Было выяснено, что наибольшая плотность индуцированного тока наблюдается в районе грудной клетки и также, что наиболее опасным является вертикальное направление вектора напряженности: максимальное значение плотности тока 100,3 мА/м (что составляет всего лишь 0,00008 мТл) наблюдается при вертикальном воздействии магнитного поля в области грудной клетки.

В настоящее время результаты выполненных исследований, к сожалению, не могут четко обосновать предельные величины или другие обязательные ограничения для продолжительного облучения населения внешним магнитным полем электрических машин. Следовательно, основной мерой защиты населения является – лишь предупредительные действия. Представляет интерес дальнейшие исследования влияния вращающегося магнитного поля на человека для разработки нормативов, которые учитывали бы все перечисленные выше факторы. Для этого необходимы общие усилия энергетиков и медиков. Энергетиков – с точки зрения расчета магнитных полей и индуцированных токов и разработки конструкций электрических машин с пониженной интенсивностью электромагнитного поля. Медиков – с точки зрения комплексных медико-биологических исследований влияния магнитных полей на организм человека с учетом нормирования длительности его пребывания в опасной зоне.

## ЛИТЕРАТУРА

- Газета «Московский Комсомолец». 11 марта 2009г.
- Санитарно-эпидемиологические правила и нормативы "Электромагнитные поля в производственных условиях. СанПиН 2.2.4.1191-03", утвержденные Главным государственным санитарным врачом Российской Федерации 30 января 2003 года.
- Профессиональное всероссийское информационно справочное издание «Новости Электротехники» №6 (54)2008.

## ТРЕХЛУЧЕВОЙ КОМПЬЮТЕРНЫЙ ОСЦИЛЛОГРАФ

**Горбачев И.Д., гр. 21-АП**  
**Рук. Свидченко С.Ю.**

Существуют отечественные программы [1], по аналогии с которой можно на базе обычного компьютера и аналого-цифрового преобразователя создать многофункциональный 3-х лучевой осциллограф. Этот прибор позволит наблюдать быстро меняющиеся сигналы, анализировать их спектр; определять

фазу, частоту и амплитуду колебаний сигнала по каждому из каналов и сохранять полученные данные в любом из цифровых форматов. Лицевая панель созданного прибора приведена рис 1.



Рис. 1 – Окно компьютерного осциллографа, работающего во временной области

Старт программы осуществляется активацией кнопки “Run” на командной строке среды LabVIEW. После этого производится поиск и идентификация аналого-цифрового и подключённых к ней датчиков. Для настоящей работы использована 8 – канальная плата Е – 154 с разрешением 12 бит и частотой дискретизации 48 кГц. Плата позволяет измерять сигналы в диапазоне  $\pm 5$  В. Поэтому для проведения измерений при больших напряжениях необходимы согласующие устройства. В качестве их могут быть использованы понижающие трансформаторы или датчики Холла, которые измеряют интенсивность магнитного поля, непосредственно связанную с изменением силы тока в изучаемых устройствах (обмотках двигателей, трансформаторах, катушках индуктивности и т.д.).

Если в результате поиска не будет обнаружено ни одной платы или датчика, то будет выдано соответствующее сообщение, и кнопка «Пуск» станет неактивной.

Чтобы запустить сбор данных, нужно нажать на кнопку «Пуск». Собранные данные при этом будут отображаться в окне программы на двух экранах и трех цифровых индикаторах, регистрирующих текущие значения напряжений, измеряемых по каждому каналу. При этом на верхнем экране автоматически

развертывается осциллограмма исходных сигналов, а на нижнем – их отфильтрованные (сглаженные) значения.

Остановка работы программы осуществляется нажатием на кнопку «Стоп».

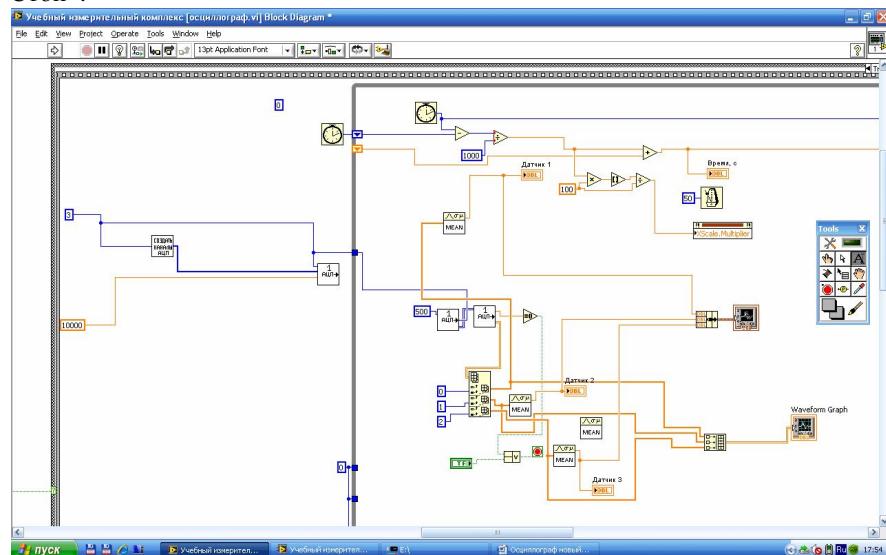


Рис. 2 – Графический код программы трёхлучевого компьютерного осциллографа

Программа может быть дополнена копированием полученных данных в буфер для дальнейшей их обработки или размещения изображения в документ Microsoft Word, а так же созданием анализирующих устройств, вычисляющих спектр сигнала или построение гистограмм.

#### ЛИТЕРАТУРА

- Батоврин В.К., Бессонов А.С., Мошкин В.В. и др. «LabVIEW: практикум по основам измерительных технологий»: учебное пособие для ВУЗов. – М.: ДМК Пресс, 2005. – 208 с.
- Суранов А.Я. «Справочник по функциям LabVIEW 8.20» – М.: ДМК Пресс, 2007. – 536 с.
- Техническая документация ЗАО «Руднев - Шиляев» на АЦП – плату ЛА – 50 USB.

УДК 621.313

#### СИСТЕМА ОХЛАЖДЕНИЯ СИНХРОННОГО ГЕНЕРАТОРА С ВОЗБУЖДЕНИЕМ ОТ ПОСТОЯННЫХ МАГНИТОВ

Ветров А.О., Симон М.И., гр. 31 ЭО(у)  
Рук. Загрядцкий В.И.

Рассматривается автономный источник энергии, который содержит бесконтактный синхронный генератор, позволяющий одновременно получать электрическую и тепловую энергию. Предлагаемый вариант конструктивного исполнения синхронной машины дает возможность решить задачи: повышения коэффициент полезного действия автономного источника энергии за счет упрощения конструкции и отбора теплоты, выделяемой при работе синхронного генератора, уменьшения массы и габаритных размеров. Решение технической задачи достигается за счет того, что автономный источник энергии содержит синхронный генератор с возбуждением от постоянных магнитов, систему отбора тепловой энергии, запорно-регулирующую аппаратуру, систему автоматического управления работой по отбору тепловой энергии от статора, теплообменники, циркуляционный насос. Синхронный генератор отличается от прототипов тем, что магнитопровод статора выполнен из отдельных ферромагнитных пакетов, отделенных от индуктора тонкостенной гильзой, опирающуюся на рабочую поверхность магнитопровода и образующую с корпусом электрического генератора и боковыми цилиндрическими пластинами, герметичную полость, снабженную радиальными каналами, которые делят полость на отдельные части, заполненные теплоотбирающей жидкостью. Полость имеет входной и выходной патрубки для подачи и отбора теплоотбирающей жидкости. Между радиальными каналами помещены дистанционные распорки с цилиндрическими ребрами, предназначенные для создания направленного кругового движения теплоотбирающей жидкости и усиления теплопередачи теплоизлучающих поверхностей ферромагнитных пакетов и обмоток электрического генератора.

Была произведена технико-экономическая оценка предлагаемого бесконтактного синхронного генератора при его установке в технологический процесс: в систему привода «турбина-генератор» на газотурбинной мини-ТЭЦ. Мощность синхронного генератора – 535 кВт; КПД=0,94 (без отбора тепла); генерируемая электрическая мощность – 500 кВт; генерируемая тепловая мощность – 30 кВт. Важным вопросом расчета является определение рентабельности в модернизации, связанной с установкой устройства отбора у синхронного генератора тепловой энергии, которую можно использовать для нужд самой ТЭЦ или для продажи. Для расчета технико-экономических показателей ТЭЦ за основу была взята возможность продажи тепловой энергии, отбираемой из статора синхронного генератора, и произведено сравнение двух вариантов исполнения ТЭЦ: базового (без отбора тепла) и проекта с отбором тепла. Произведя

расчет технико-экономических параметров ТЭЦ с синхронными генераторами двух сравниваемых вариантов – а) с учетом отпуска только основной тепловой энергии и электроэнергии, б) с учетом отпуска основной тепловой энергии и тепловой энергии, отбираемой из статора генератора газотурбинной ТЭЦ, можно сказать следующее: коэффициент полезного действия генератора по базовому проекту а) составляет 94%, по б) с отбором тепла  $\approx 97\text{-}98\%$ ; чистая прибыль, получаемая от продажи тепла для варианта а)  $4,68 \cdot 10^6$  руб./год, для варианта б)  $4,84 \cdot 10^6$  руб./год. Чистая прибыль, получаемая от продажи тепла статора генератора, равна приблизительно 160000 руб./год; удельная себестоимость тепловой энергии 284,01 руб./Гкал. - для основной тепловой энергии ТЭЦ и 37,3 руб./Гкал. - для отбираемой из статора тепловой энергии; рентабельность исполнения ТЭЦ для варианта а) 37,98%, для варианта б) 39,27%; срок окупаемости устройства отбора тепла из статора синхронного генератора (при его стоимости 170000 руб.) –  $170000/160000=1,07$  лет – за 1 год. За остальные 9 лет от срока службы в 10 лет можно получить чистую прибыль –  $1,44 \cdot 10^6$  руб. – при условии сохранения тарифа на тепловую энергию.

УДК 624.04

### РАСЧЕТ СТЕРЖНЕЙ С ЭЛЕМЕНТАМИ ДЕФЕКТА ЗАКРЕПЛЕНИЯ РАБОТАЮЩИХ НА РАСТЯЖЕНИЕ-СЖАТИЕ

Раковский В.С., гр. 21-С (Ливенский филиал ОрелГТУ)  
Рук. Веселовский Д.Н

Закрепленный с двух сторон стержень является статически неопределенным. При изготовлении бывает так, что один из концов стержня прочно закреплен в заделке, а второй закреплен с дефектом. Задачей является определение при заданных соотношениях площадей наиболее оптимальных размеров поперечных сечений ступенчатого бруса из условий прочности. В литературе такой случай подробно не рассматривался. Рассмотрим пример, когда левый конец стального бруса жестко закреплен, а при отсутствии нагрузки между правым концевым сечением и правой опорой остается зазор  $\Delta$  (дефект) (рис.1). Данные к задаче:  $F_1=F_3=2F$ ;  $F_2=F$ ;  $P=1t$ ;  $\Delta=0.004_{cm}$ ;  $l=20_{cm}$ .

Выясняем, закроется ли зазор от действия внешних сил. Перемещение правого конца стержня равно удлинению стержня от всех внешних сил, т.е.

$$\Delta l^P = -P/lE = -1/2EC + 0.4P/EF + 0.4P/E2F + 2P/EF + 2P/EF = 2.9P/EF.$$

Примем  $F=5_{cm}^2$ . Тогда  $2.9P/EF = 2.9 \cdot 1000 \cdot 20 / 2 \cdot 10^6 \cdot 5 = 0.0058_{cm} > 0.004_{cm}$ , значит, зазор закроется.

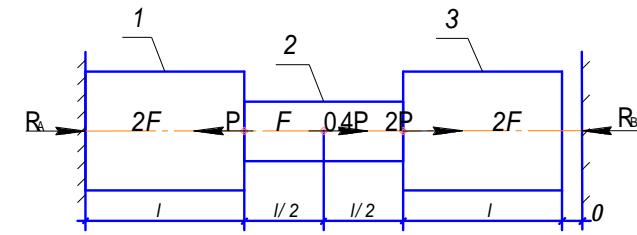


Рис.1 – Расчетная схема

Определяем опорные реакции, для этого записываем уравнение совместности деформаций:  $\Delta l^P + \Delta l^R_B = \Delta$ . Находим  $\Delta l^R_B = -R_B l / 2EF - R_B l / EF - R_B l / 2EF = -2R_B l / EF$ .

Тогда  $2.9P l / EF - 2R_B l / EF = 0.004_{cm}$ . Отсюда  $R_B = 1.45P - 0.002EF / l$  (\*).

Из этого уравнения видно, что  $R_B$  зависит от площади поперечного сечения  $F$ , а  $R_A$ , в свою очередь, из уравнения равновесия зависит от  $R_B$ . Решение такой задачи неоднозначное, т.е. задавая различные значения  $F$ , будем соответственно получать различные  $R_A$  и  $R_B$ . Видимо есть какое то определенное значение  $F$ , меньшее которой в брусе возникнут напряжения больше допускаемых, а больше которой – конструкция станет неэкономичной. Тут возникает вопрос, как определить это оптимальное значение  $F$ ? Алгоритм решения таких задач проводится путем последовательных приближений. На первом этапе задаемся любым значением  $F_1$ . Подставляя  $F_1$  в уравнение (\*) получаем величину  $R_B^1$ , а из уравнения равновесия получаем  $R_A^1$ . Строим эпюры  $N_1$  и  $\sigma_1$ . По эпюре  $\sigma_1$  определяем самый напряженный участок бруса. Если на этом участке напряжение  $\sigma < 1600 \text{ кг}/\text{см}^2$ , то это значит, что площадь сечения бруса велика и ее следует уменьшить, если же напряжение  $\sigma > 1600 \text{ кг}/\text{см}^2$ , значит сечение перенапряжено, что недопустимо и его следует увеличить. На втором этапе задаются новым значением  $F_2$  и расчет повторяется. Расчет ведется до тех пор, пока  $\sigma_{max}$  не станет  $\leq [\sigma]$  на самом напряженном участке бруса в пределах 3-5%.

В третьем приближении задаваясь площадью  $F=0.7 \text{ см}^2$  получаем

$R_B = 1.45P - 0.14P = 1.31P$ .  $R_A = 2.4P - 2.31P = 0.09P$ . Максимальное напряжение  $\sigma = 1090 / 0.7 = 1557 \text{ кг}/\text{см}^2 \leq [\sigma]$ .

Брус недонапряжен на 2,7%, что допустимо (можно и дальше продолжить вычисления для более точного решения) но для практических целей эти уточнения все равно округляются до целых чисел. Выясним как деформируется брус с сечением  $F=0.7 \text{ см}^2$  и построим эпюру  $\Delta l$  (рис. 2):

$$\Delta l_1 = 0.09P l / 2EF = 0.045P l / EF;$$

$$\Delta l_2 = \Delta l_1 + 1.09P l / 2EF = 0.59P l / EF;$$

$$\Delta l_3 = \Delta l_2 + 0.69P l / 2EF = 0.935P l / EF;$$

$$\Delta l_4 = \Delta l_3 - 1.31P l / 2EF = 0.28P l / EF;$$

$$\Delta l_4 = \Delta l_3 - 1.31P l / 2EF = 0.28P l / EF = \Delta = 0.004 \text{ см}.$$

Т.е. перемещение в защемлении равно нулю, а на правой опоре равно  $\Delta$ .

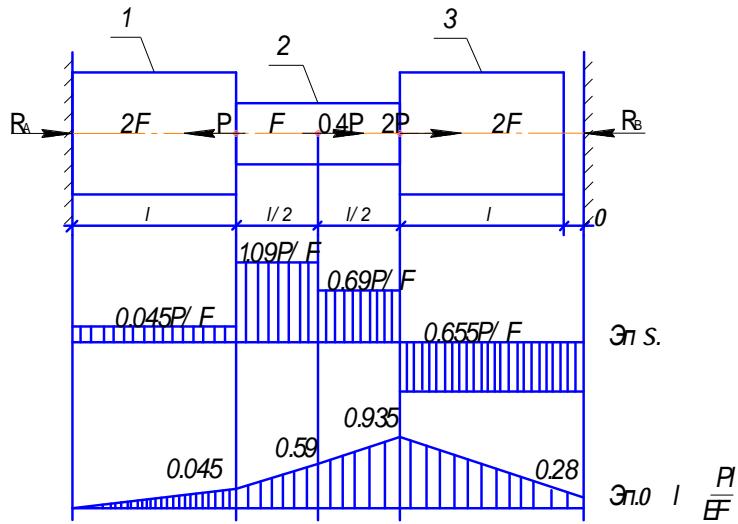


Рис.2 – Эпюры напряжений и деформаций

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Варданян Г.С. и др. Сопротивление материалов с основами теории упругости и пластичности. М., Издательство АСВ, 1995. – 568 стр. с илл.
2. Веселовский Д.Н. Методические указания по выполнению расчетно-графической работы №2. Статически неопределенные задачи при растяжении – сжатии и кручении. Ил.-15, таб.-1, с.-34.