

пример, поршень изготовлен из алюминиевого сплава, а палец – из стали). Скорость нагрева поршня при разборке должна быть больше, чем при сборке, достигая 70°-90° в минуту. При этом температура нагрева поршня определяется из выражения (1):

$$T_{\text{наг}} = \frac{\delta + \Delta_{\text{сб}}}{\alpha \cdot d} + T_0, \text{ } ^\circ\text{C}, \quad (1)$$

где  $\delta$  – натяг соединения, мм;  $\Delta_{\text{сб}}$  – временный сборочный зазор, который определяется из выражения [2]  $\Delta_{\text{сб}} = 0,01 \sqrt{d}$ , де  $d$  – диаметр посадки, мм;  $\alpha$  – коэффициент линейного расширения, который для стали находится в пределах  $(12,1-13,6) \cdot 10^{-6}$ ; для алюминия  $(17,5-18,5) \cdot 10^{-6}$ ;  $T_0$  – температура окружающей среды – 20°С.

Перед разборкой шатунно-поршневой группы необходимо разъединить толкатель со штангой и переместить его по направляющей в крайнее правое положение. Кронштейн, на который устанавливается шатун, должен быть раскреплен для его свободного вертикального перемещения в направляющих пазах стойки. Последующие технологические операции аналогичны операциям при сборке за исключением того, что центрирующая оправка в данном случае будет служить для удаления пальца в приемную призму после нагрева поршня и образования необходимого разборочного зазора. Удаление пальца происходит без осевого усилия при большем расширении отверстий бобышек поршня по сравнению с расширением пальца. Технологические операции сборки и разборки шатуна с поршнем за исключением загрузки и снятия производятся в автоматическом цикле.

**Вывод.** Применение полуавтомата позволяет значительно увеличить производительность сборки и разборки шатунно-поршневых групп ДВС, улучшить качество соединений, повысить культуру производства, а также создает возможность повторного использования разобранных деталей узла без дополнительной их обработки.

**Список литературы.** 1. *Ивашков И.И.* Монтаж, эксплуатация и ремонт подъемно-транспортных машин. – М.: Машиностроение, 1991. – с. 403. 2. *Кравцов М.К.* Промежуточные среды в соединениях с натягом / М.К. Кравцов, А.А. Святуха, В.В. Чернов. – Харьков: Изд-во „Штрих”, 2001. – 200 с.

*Поступила в редколлегию 02.03.08*

УДК 539.3

*А.Н. ТКАЧУК*, бакалавр, НТУ „ХПИ”

## ЧИСЛЕННОЕ РЕШЕНИЕ ТЕСТОВЫХ ТЕРМОУПРУГИХ

## КОНТАКТНЫХ ЗАДАЧ ДЛЯ ЭЛЕМЕНТОВ ПРЕСС-ФОРМ

В роботі приведені результати дослідження термопружної контактної взаємодії елементів прес-форм для литва під тиском з урахуванням фазових перетворень у виливку. Запропоновано чисельну реалізацію раніше розробленої математичної моделі фізико-механічних процесів, що мають місце під час литва деталей у прес-формах.

In the work phenomena of thermoelastic contact interaction of press molds and phase transformations in moulding are investigated. A numerical implementation of an early developed mathematical model of physico-mechanical processes that take place at press molding is given.

**Введение.** В статье описана численная реализация математической модели исследования термоупругих контактных задач для моделирования физико-механических процессов при литье деталей в пресс-формах, предложенной в [1]. Работа посвящена разработке методов исследования термоупругих контактных задач элементов пресс-форм для литья под давлением с учетом фазовых превращений в отливке. Рассматривается связанная термоупругая постановка задачи в виде системы дифференциальных уравнений в частных производных и неравенств. Предлагается методы сведения дифференциальной постановки задачи к вариационным неравенствам и методы дискретизации полученных вариационных неравенств. Решенные тестовые примеры иллюстрируют применения предложенных постановок и методов.

Выбор модели и расчетной схемы сильно обусловлен геометрией конструкции и видом внешней нагрузки. В конструкции пресс-форм имеется большое количество стыков и разъемных соединений, где возможно раскрытие. Нагрузка на блок пресс-формы состоит из трех основных составляющих: усилие запирания, температура и давление расплава. Высокая температура и нагрузки приводит к различным видам отказов.

Под действием высоких температур и напряжений в материале вкладышей происходят сложные физико-химические процессы под общим названием термическая усталость, приводящая к необратимому формоизменению деталей и разрушению поверхностей. Также причиной отказа является смятие контактирующих поверхностей, следствием которого является появление облоя. При некоторых термических режимах возможно накопление больших деформаций ползучести [2].

В качестве тестового примера рассматривается двухмерная осесимметричная модель пресс-формы. Рассчитывается температурный режим пресс-формы, а также учитываются температурные деформации. Расчет темпера-

туры

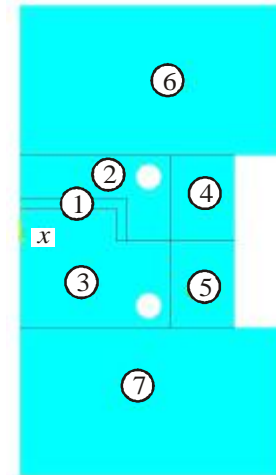


Рис. 1. Геометрическая модель осесимметричной задачи

туры производится на первых десяти циклах.

**Расчетная схема.** Геометрическая модель пресс-формы состоит из отливки (рис. 1, поз. 1), двух вкладышей (поз. 2, 3), двух обойм (поз. 4, 5), а также неподвижной и подвижной плит (поз. 6, 7). Материал пресс-формы – стали 4Х5МФС, отливки – АЛ2. Свойства стали предполагаются независимыми от температуры. Для задачи остывания отливки используется энтальпийная постановка с зависящими кусочно-линейно от температуры энтальпией и коэффициентом теплопроводности (рис. 2). Требуется определить: переходной и установившийся температурный режим пресс-формы; напряжения в момент подпрессовки для установившегося температурного состояния (0.2 с от начала 10-го литейного цикла).

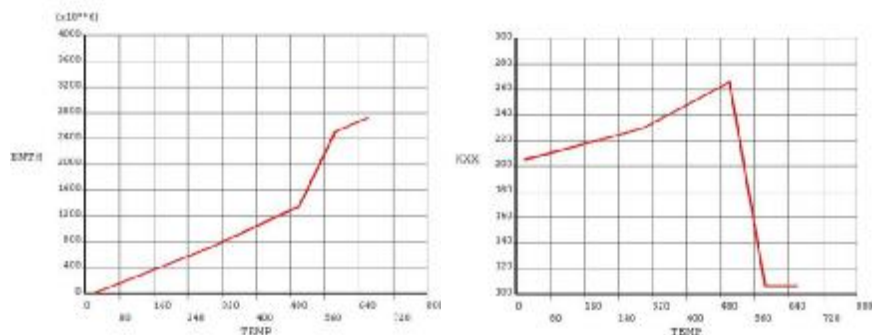


Рис. 2. Зависимость свойств сплава АЛ2 от температуры [2]

**Конечно-элементная модель.** Для решения температурной и прочностной задачи использовалась общая сетка. Для температурной задачи использовался плоский квадратичный конечный элемент PLANE 77, а для прочностной – PLANE183. В контакте между отливкой и формой задавался ТКП, равный 5000 Вт/м<sup>2</sup>К, а между элементами формы – 1000 Вт/м<sup>2</sup>К.

На границах элементов форм с окружающей средой задавались условия свободного конвективного обмена с воздухом ( $\beta = 50$  Вт/м<sup>2</sup>К,  $T_{bulk} = 20^\circ\text{C}$ ). В охлаждающих каналах также задавались условия принудительного конвективного обмена ( $\beta = 5000$  Вт/м<sup>2</sup>К,  $T_{bulk} = 20^\circ\text{C}$ ). Перед началом первого цикла форма считалась холодной ( $T_{\phi} = 20^\circ\text{C}$ ). В соответствии с технологическим режимом отливка на 4с каждого цикла удалялась из формы.

**Результаты тестового расчета.** В ходе расчетов были получены распределения температур и тепловых потоков в различные моменты времени и изменения температур в интересующих точках (рис. 3-8). Затем полученные температуры использовались в виде нагрузок для температурной контактной задачи. Были получены распределения перемещений, напряжений и контактных давлений. Был получен запас по критерию начала пластичности  $\sigma_{\text{экр}}/\sigma_T$  с учетом зависимости предела пластичности от температуры.

**Заключение.** На примере двухмерной модели процесса литья детали типа „крышечка” была решена задача в полной постановке. Были получены результаты для различных циклов, из чего можно сделать следующие выводы.

1. Температурный режим устанавливается после пяти-десяти циклов.
2. Температурные деформации существенно повышают контактные давления вокруг литейной полости и улучшают смыкания формы.
3. На литейной поверхности формы действуют повышенные температуры, поэтому вопросы разрушения формы необходимо исследовать с учетом изменения свойств при повышенных температурах.

Таким образом, предложенная в работе [1] математическая модель связанного термоупругого контактного взаимодействия системы твердых тел между собой и телом с фазовым переходом реализована в виде модельного комплекса, исходная дифференциальная постановка задачи была сведена к вариационному неравенству, исследована корректность этой модели в рамках некоторых предположений.

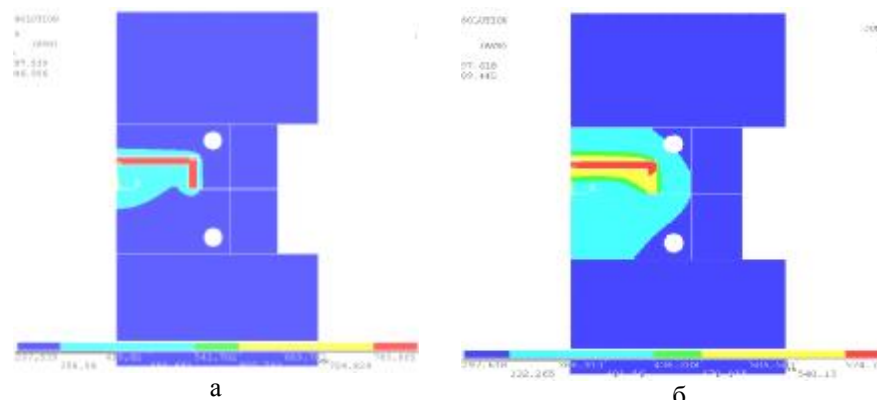


Рис. 3. Распределение температур в  $t = 0.5$  с и  $t = 4$  с

Проведенные тестовые расчеты подтвердили эффективность предложенных методов [3, 4].

В данной работе не был освещен ряд важных вопросов, на которые необходимо обратить внимание: процессы, связанные с заполнением жидким металлом формы и деформированием твердой части отливки; оценка прочности и износостойкости элементов пресс-форм по критериям температурной и механической усталости и ползучести; повышение эффективности численных методов; экспериментальная проверка полученных результатов. Данные вопросы послужат темой дальнейших исследований, а также планируется решение ряда тестовых задач и дальнейшее развитие предложенной математической модели на основе анализа результатов численных и экспериментальных исследований пресс-форм.

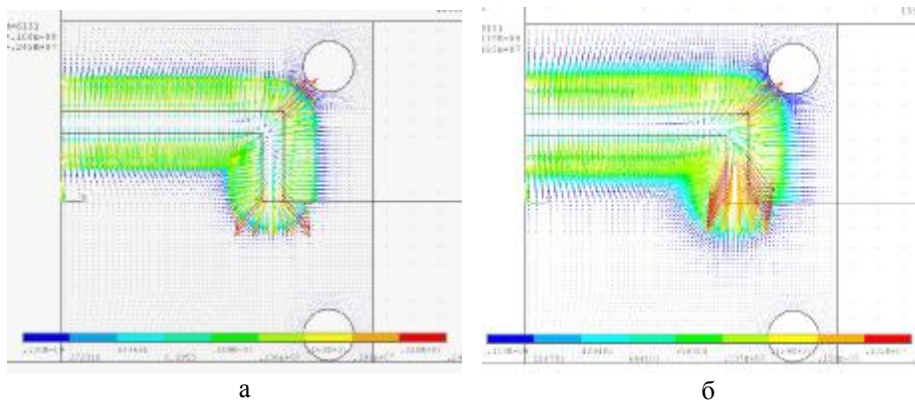


Рис. 4. Тепловые потоки  
( $t=1$ ; 2 с и  $t=4$  с)

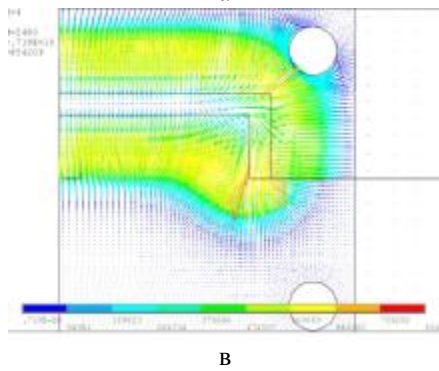


Рис. 5. Кривые охлаждения  
точек отливки

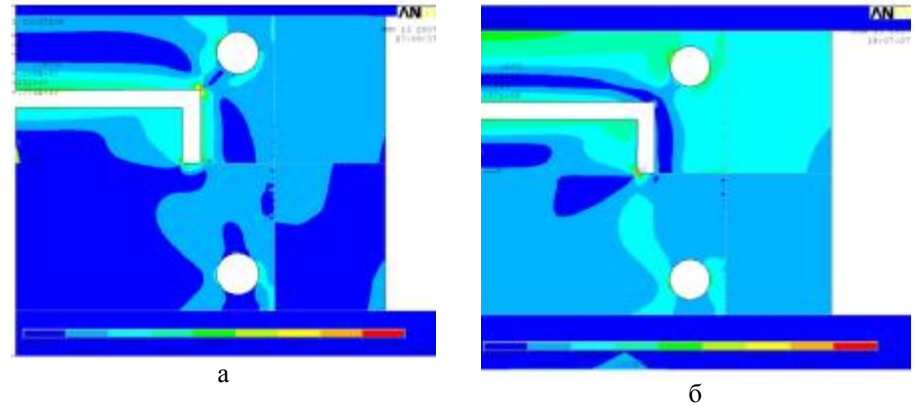


Рис. 6. Эквивалентные напряжения по Мизесу во время подпрессовки  
„холодной” формы и после 10 литейных циклов

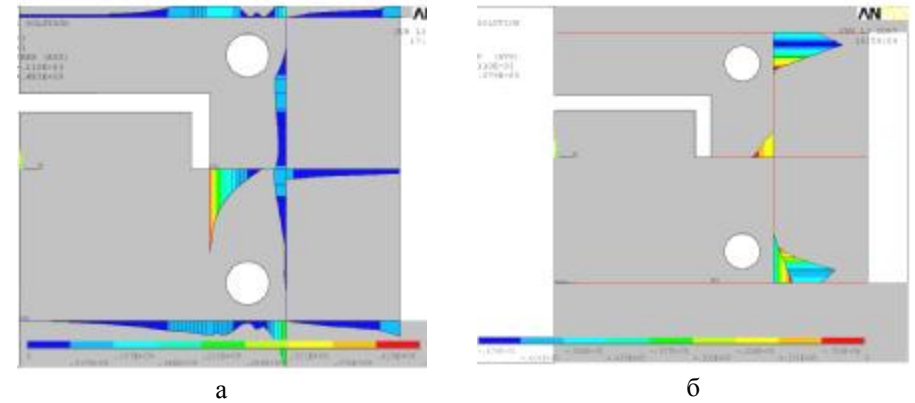
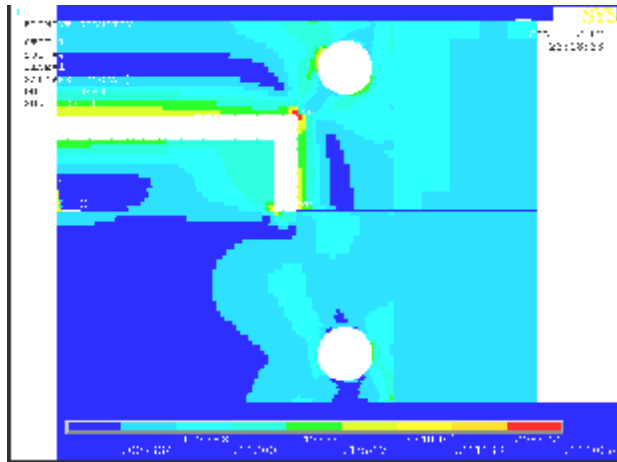
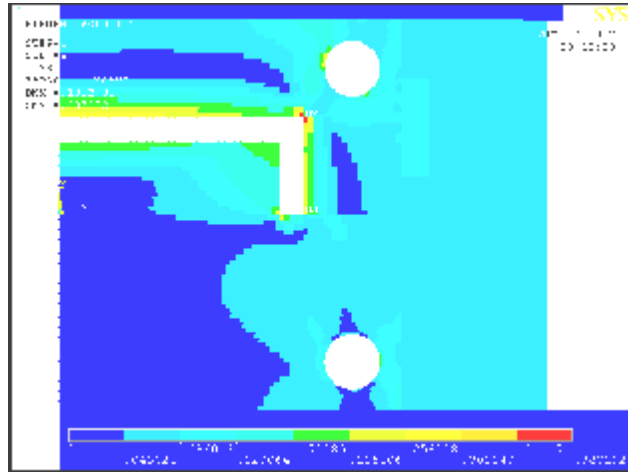


Рис. 7. Распределение контактных давлений и зазоров  
во время подпрессовки после 10 литейных циклов

**Список литературы:** 1. Ткачук А.Н. Исследования термоупругих контактных задач элементов пресс-форм для литья под давлением с учетом фазовых превращений в отливке // Вестник НТУ „ХПИ”. Тем. вып.: Машиноведение и САПР. – 2008. – № 2. – С.144-158. 2. Горюнов И.И. Пресс-формы для литья под давлением. Справочное пособие. – Л.: Машиностроение, 1973 – 256 с. 3. Ткачук А.М. Контактна термопружна задача: теорія, методи та алгоритми дослідження. Тези доповідей. Міжнародна наук.-техн. конференції пам’яті академіка НАН України В.І. Моссаковського. Дніпропетровськ, 2007. – 78 с. 4. Храмова И.Я., Ткачук А.Н., Ткачук Н.А., Орлов Е.А., Чепурной А.Д. Специализированная система анализа и синтеза и расчетно-экспериментальное исследование элементов пресс-форм. // Вестник НТУ “ХПИ” Тем. вып.: Машиноведение и САПР. – №60. – 2005. – С.151-179.



а



б

Рис. 8. Запас по критерию начала пластичности  $\sigma_{\text{экв}}/\sigma_T$  с учетом (а) и без учета (б) зависимости предела пластичности от температуры

Поступила в редколлегию 23.12.2007

УДК 539.3:621.225

**Н.Н. ТКАЧУК**, аспирант, НТУ „ХПИ”

**МЕТОДЫ И МОДЕЛИ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ КОНТАКТНОГО**

## ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ШАРОВОГО ПОРШНЯ С БЕГОВОЙ ДОРОЖКОЙ В РАДИАЛЬНОЙ ГИДРОПЕРЕДАЧЕ

У роботі досліджені питання моделювання контактної взаємодії кульового поршня з біговою доріжкою в радіальній гідропередачі. Обґрунтовано застосування трьох методів аналізу напружено-деформованого стану елементів цього класу машин.

In the paper issues related to simulation of contact between a ball piston and a race track in an axial hydrovolumetric transmission are considered. Application of three various methods to stress analysis of these devices is grounded.

**Введение.** Одним из способов повышения нагрузочной способности деталей механизмов и машин является придание им сложной геометрической формы, которая создавала бы более благоприятные условия их сопряжения. Поиск такой формы, обеспечивающей требуемые характеристики деталей при сохранении работоспособности всего устройства, связан с решением комплекса задач, объединяемых традиционно в категорию задач геометрического синтеза. Наряду с ними возникает необходимость проведения анализа напряженно-деформированного состояния (НДС) возможных вариантов синтезируемого механизма с различными параметрами и, в частности, анализа контактного взаимодействия его звеньев.

Эти задачи являются взаимосвязанными, их решение необходимо объединять в едином исследовательском цикле. В работах [1,2] был предложен подход, позволяющий организовывать многовариантные исследования механизмов с деталями сложной формы на базе общего параметрического представления моделей синтеза и анализа. С целью снижения вычислительных затрат в рамках данного подхода предложено использовать иерархическую систему моделей для анализа НДС, основанных на различных методах, как приближенных, так и более точных.

Ключевыми являются оптимальный выбор метода и взаимосвязь используемых моделей на различных этапах исследования. Определяющими здесь выступают вопросы применимости каждого отдельного метода и объем вычислений, сопряженных с его применением, которые непосредственно связаны с особенностями конкретного класса синтезируемых механических систем.

Характерным примером могут служить гидрообъемные передачи (ГОП) с шаровыми поршнями, при анализе взаимодействия которых с беговыми дорожками на корпусах статора применение различных методов определения напряженно-деформированного состояния требует учета геометрических параметров контактирующих тел. В работе исследованы вопросы применимости трех методов для данного класса механизмов в процессе синтеза параметров профилей беговых дорожек.

**Цель работы** состоит в разработке методов, моделей и алгоритмов для исследования контактного взаимодействия в сопряжении шарового поршня с беговой дорожкой статора радиальной гидропередачи, сравнительном анализе их преимуществ, недостатков и границ применимости, а также формировании рекомендаций по созданию программно-модельного комплекса как сред-