

О. И. Пономаренко, д-р техн. наук, проф.; Н. С. Евтушенко, канд. техн. наук, доц.;
Н. С. Тренев, магистр (Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт», г. Харьков, Украина)

Определение мест локализации дефектов в отливках с помощью метода распознавания образов

Предложена методика выявления мест дислокации дефектов в отливках и определения координат их локализации на основе использования процедуры распознавания образов для детали типа «Поршень». Приведены результаты компьютерного моделирования процесса заполнения кокиля и кристаллизации сплава для усовершенствованной технологии литья с применением термоизолирующих покрытий кокиля. Результаты компьютерного моделирования могут быть использованы для разработки мероприятий по устранению брака отливок и повышению их качества.

Ключевые слова: отливка, кокиль, компьютерное моделирование, термоизолирующее покрытие, брак отливок.

У статті запропонована методика виявлення місць дислокації дефектів у відливках і визначення координат їх локалізації на основі використання процедури розпізнавання образів для деталі типу «Поршень». Наведено результати комп'ютерного моделювання процесу заповнення кокиля і кристалізації сплаву для вдосконаленої технології лиття із застосуванням термоізолюючих покриттів кокиля. Результати комп'ютерного моделювання можуть бути використані для розробки заходів щодо усунення браку відливок і підвищенню їх якості.

Ключові слова: відливка, кокиль, комп'ютерне моделювання, термоізолююче покриття, брак відливок.

A defect location finding method in castings and their location coordinate determining, based on the use of a sample recognition procedure of the «Piston»-type part is proposed in the article. The computer modeling results of mold filling and an alloy solidification procedure for the improved casting technology, applying a thermal insulating mold coating, are given. These results can be used for developing measures to eliminate casting defects and to improve their quality.

Keywords: casting, mold, computer modeling, thermal insulating coating, casting defects.

Анализ литературных данных и постановка проблемы

Выпуск изделий машиностроения в настоящее время невозможен без существенного повышения сложности, качества, эксплуатационных свойств деталей, точности и уменьшения толщины стенок литых заготовок. Высокая конкурентная борьба между производителями запчастей и комплектующих для двигателей внутреннего сгорания выводит на первый план необходимость решения вопросов, связанных с повышением качества деталей. Кроме того, необходимость быстрого освоения новых заказов и внедрения прогрессивных технологий получения высококачественных литых деталей для машиностроения или оптимизации существующей конструкции оснастки с целью повышения качества продукции подтверждает актуальность данного исследования. Задача в такой постановке должна рассматриваться как составная часть разработки общих мероприятий по техническому перевооружению литейных производств [1].

Сегодня в практике проектирования литых деталей применяется ряд специализированных программных пакетов трехмерного проектирования, а для решения задач по моделированию процессов кристаллизации используется программа LVM Flow. Учитывая, что выбор исходных параметров для компьютерного моделирования осуществляется непосредственно конструктором или технологом на основе личного опыта, бывает проблематичным заранее с большой степенью достоверности определить правильность выбранных

технических решений. Поэтому вопросы, связанные с формализацией процессов локализации внутренних дефектов литейного происхождения, должны обязательно решаться на этапе компьютерного моделирования процесса кристаллизации литой детали [2, 3]. А так как литые поршни изготавливаются в кокилях, очень важно отрабатывать технологические процессы литья и совершенствовать сами конструкции кокилей с целью предупреждения появления внутренних литых дефектов. Программы CAD/CAE открывают новые возможности в проектировании технологии приготовления отливки и в конструировании оснастки [4, 5]. С помощью данных программ можно наглядно изучить процесс моделирования заливки формы металлом, процесс охлаждения отливки, определить места дислокации дефектов. Данное программное обеспечение позволяет ускорить выпуск новых изделий, расширить возможности оптимизации изделий, снизить затраты.

Целью исследования является конструкторско-технологическое моделирование процесса заполнения кокиля расплавом и выявление мест дислокации внутренних дефектов в отливке «Поршень 51–23–30». Результатом такого моделирования может быть выявление координат локализации дефектов и последующая формализация описания, на основании которой можно прогнозировать области литой детали, в которых вероятно образование дефектов при выбранной конструкции кокиля и технологических режимах литья, определения их размеров и определения степени влияния выявленных дефектов на несущую способность поршня.

Результаты исследований

Применение методов распознавания образов для идентификации причин возникновения дефектов размерного и геометрического характера в литых поршнях впервые было предложено в работе [6]. Для реализации этого метода следует подробно проанализировать сам технологический процесс изготовления поршней.

Литая деталь «Поршень 51-03-23» производится из сплава АК12М2МгН. Это сплав, который содержит: магния – 0,8–1,3 %; кремния – 11–13 %; марганца – 0,3–0,6 %; меди – 1,5–3,0 %; никеля – 0,8–1,3 %; титана – 0,05–0,2 %; железа – 0,8 %; цинка – не более 0,5 %; селена – не более 0,02 %; свинца – не более 0,1 %; хрома – не более 0,2 %; алюминий – 78,98–83,93 %.

Отливка «Поршень 51-03-23» изготавливается методом гравитационного литья в кокиль. Форма и объем литниково-питающей системы проектируются с учетом условий кристаллизации жидкого расплава в кокиле для создания однородной структуры отливки и компенсации ее усадки при остывании. После остывания отливки литниково-питающая система удаляется на прессах.

Материал полученной заготовки после литья и кристаллизации не обладает достаточной прочностью, твердостью и стабильностью при высоких температурах. Для улучшения структуры материала и придания необходимых механических свойств заготовку подвергают термообработке (искусственному старению) в камерных печах.

После анализа результатов моделирования термонапряженного состояния отливки «Поршень 51-03-23» было установлено, что данная технология изготовления поршней имеет некоторые существенные недостатки: при использовании данной технологии существует вероятность образования усадочной пористости – возникает недостаточная плотность структуры сплава в ответственных местах отливки поршня вследствие слишком быстрого протекания процесса кристаллизации. Результаты моделирования термонапряженного состояния поршня и вероятности образования усадочной пористости представлены на рис. 1.

Для ликвидации приведенных недостатков было принято решение по установлению теплоизолирующего кожуха на кокиле, основная функция которого является поддержания сплава в жидком состоянии в течение более продолжительного времени. На основе полученных результатов компьютерного моделирования было принято решение так оформить теплоизолирующий кожух, чтобы он укрывал главным образом питающие элементы литниковой системы. В этом случае части кокиля, отвечающие за формирование головки поршня и мест перехода её в относительно тонкостенную «юбку», получают возможность более быстрого охлаждения за счет отсутствия в этих местах теплоизолирующего материала кожуха – это способствует реализации процесса направленной кристаллизации. Свойства материала теплоизолирующего кожуха приведены в таб. 1.

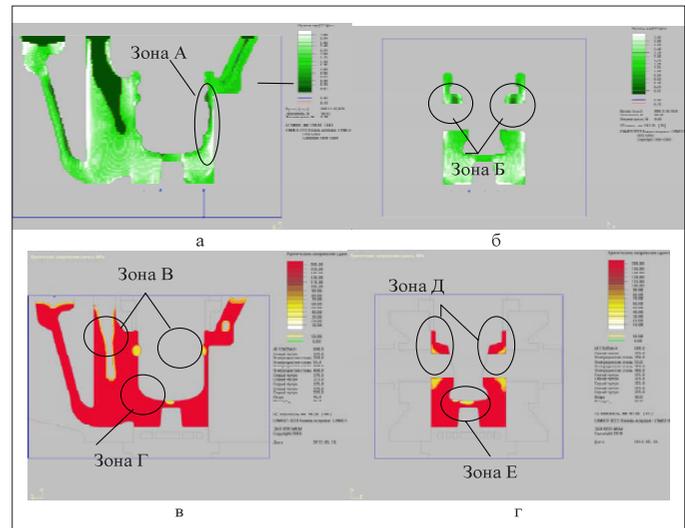


Рис. 1. Зоны внутренних дефектов: а, б – зоны вероятного образования усадочной пористости; в, г – зоны пониженной плотности сплава

Теплоизолирующий кожух, укрывающий кокиль, был смоделирован с помощью программы Solid Works и поршень был «пролит» с помощью пакета прикладных программ LVMFlow. Благодаря теплоизолирующему кожуху удалось уменьшить количество усадочной пористости и раковин.

Полученные результаты компьютерного моделирования позволили сделать вывод о правильности правильного технического решения – вероятность образования внутренних дефектов была сведена к минимуму и большинство их представилось возможным

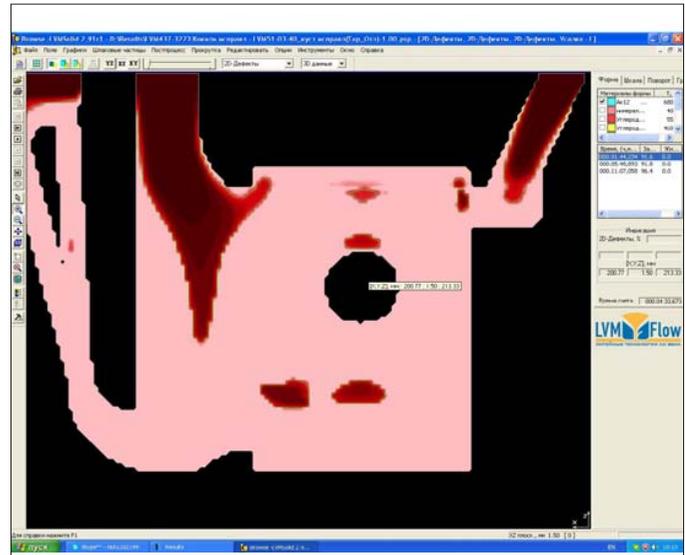


Рис. 2. Результаты компьютерного моделирования мест формирования внутренних дефектов

Таблица 1. Свойства материала теплоизолирующего кожуха

Характеристика теплоизолирующего материала	Природа материала	Плотность, кг/м ³	Коэффициент теплопроводности, Вт/м·К	Прочность на сжатие кг/м ²	Коэффициент температурного линейного расширения
Блоки и плиты из пеностекла FOAMGLAS®	Неорганическое алюмосиликатное стекло	120–160	0,045–0,06	5–20	9·10 ⁶ (ΔL=0,27 мм)

вывести в удаляемую часть литниковой системы (рис. 2).

Таким образом, оказалось возможным поставить задачу о формализации процесса локализации внутренних дефектов.

Формализация процесса локализации внутренних дефектов

Идея применения метода распознавания образов для формализации процедуры локализации иллюстрирует рис. 3.

Разделяющие прямые – это границы, описываемые математически, и отделяющие область существования внутренних дефектов от бездефектной области и эти границы могут быть получены на основе применения методов распознавания образов, в частности методов статистической классификации [7, 8]. Согласно этим работам, для решения задачи классификации должны быть выполнены следующие процедуры.

1. Расчет математических ожиданий m^A и m^B классов A и B, определяющих области существования дефектов в отливке от бездефектной области.

2. Расчет плотности распределения вероятностей классов A и B – $p_A(X)$ и $p_B(X)$.

В данном случае, если m^A и m^B – математические ожидания вектора X для классов A и B, и ковариационные матрицы распределения вектора X для классов A и B равны ($\text{cov}^A(X) = \text{cov}^B(X)$), плотности распределения вероятностей $p_A(X)$ и $p_B(X)$ могут быть представлены в виде:

$$\begin{aligned} p_A(X) &= k \cdot e^{\left(-\frac{1}{2}(x-m^A)\text{cov}^{-1}(x)(x-m^A)\right)}, \\ p_B(X) &= k \cdot e^{\left(-\frac{1}{2}(x-m^B)\text{cov}^{-1}(x)(x-m^B)\right)}, \end{aligned} \quad (1)$$

где k – постоянный множитель; $\text{cov}^A(X)$ и $\text{cov}^B(X)$ – ковариационные матрицы классов A и B соответственно.

3. Расчет условных вероятностей принадлежности j-го объекта (координата точки отливки) к классу A и B:

$$\begin{aligned} P(A|x^j) &= \frac{P(A)p_A(x^j)}{P(A)p_A(x^j) + P(B)p_B(x^j)}, \\ P(B|x^j) &= \frac{P(B)p_B(x^j)}{P(A)p_A(x^j) + P(B)p_B(x^j)}. \end{aligned} \quad (2)$$

4. Получение классифицирующего правила в виде (3) или (4):

$$\begin{aligned} x^j \in A \text{ если } P(A|x^j) &\geq P(B|x^j), \\ x^j \in B \text{ если } P(A|x^j) &< P(B|x^j). \end{aligned} \quad (3)$$

$$\begin{aligned} x^j \in A \text{ если } F(A|x^j) &\geq y_0, \\ x^j \in B \text{ если } F(A|x^j) &< y_0. \end{aligned} \quad (4)$$

где $F(x^j)$ – дискриминантная функция, определяемая по уравнению (5); y_0 – пороговое значение дискриминантной функции.

$$\begin{aligned} F(x) &= x' \text{cov}^{-1}(x)(m^A - m^B) = \\ &= \frac{1}{2}(m^A + m^B)' \text{cov}^{-1}(x)(m^A - m^B) - \ln \frac{P(A)}{P(B)}. \end{aligned} \quad (5)$$

В формуле (5) $P(A)$ и $P(B)$ – вероятности наблюдения классов A и B соответственно, а координатами вектора X выбираются значения координат XYZ, снимаемые с результатов компьютерного моделирования.

Пример применения данного метода для одного из описаний плоскости для рассматриваемой литой детали «поршень» приведен в форме классифицирующего правила (6):

$$\begin{aligned} x^j \in A \text{ если } [-7,803x_1 - 51,025x_2 - 7,575x_3 &\geq (-3510,79)], \\ x^j \in B \text{ если } [-7,803x_1 - 51,025x_2 - 7,575x_3 &< (-3510,79)]. \end{aligned} \quad (6)$$

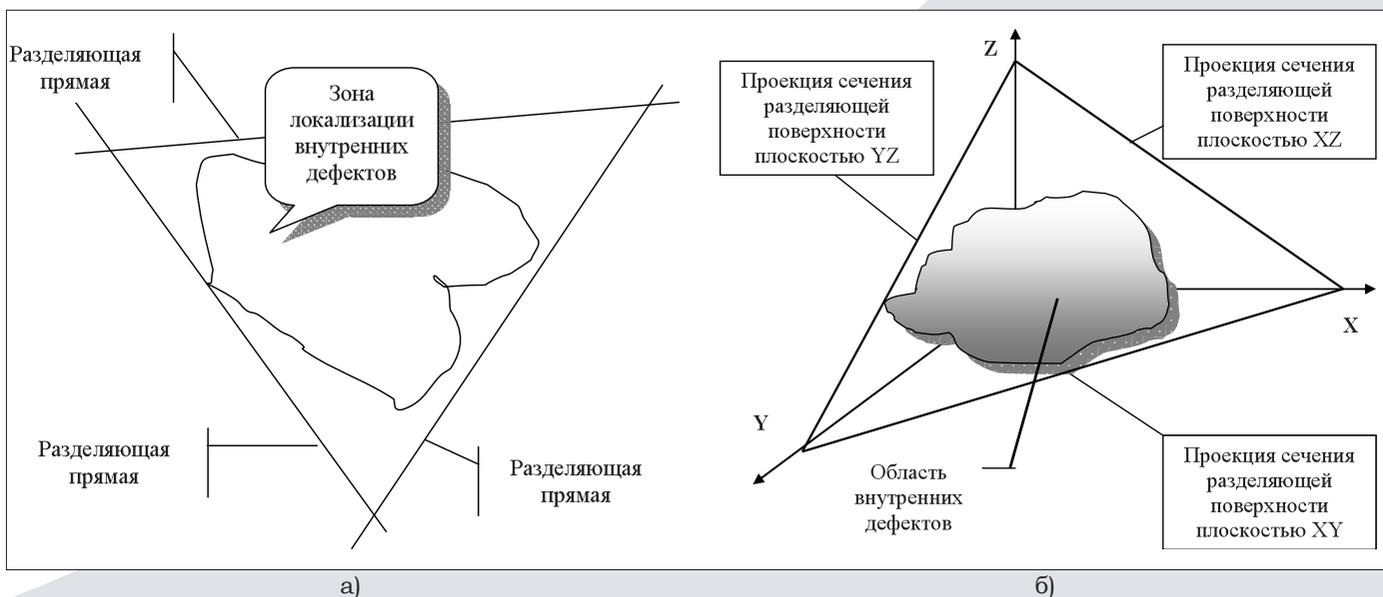


Рис. 3. Схема, поясняющая идею применения метода распознавания образов для формализации процедуры локализации внутренних дефектов в детали: а) – двухмерное представление; б) – трехмерное представление

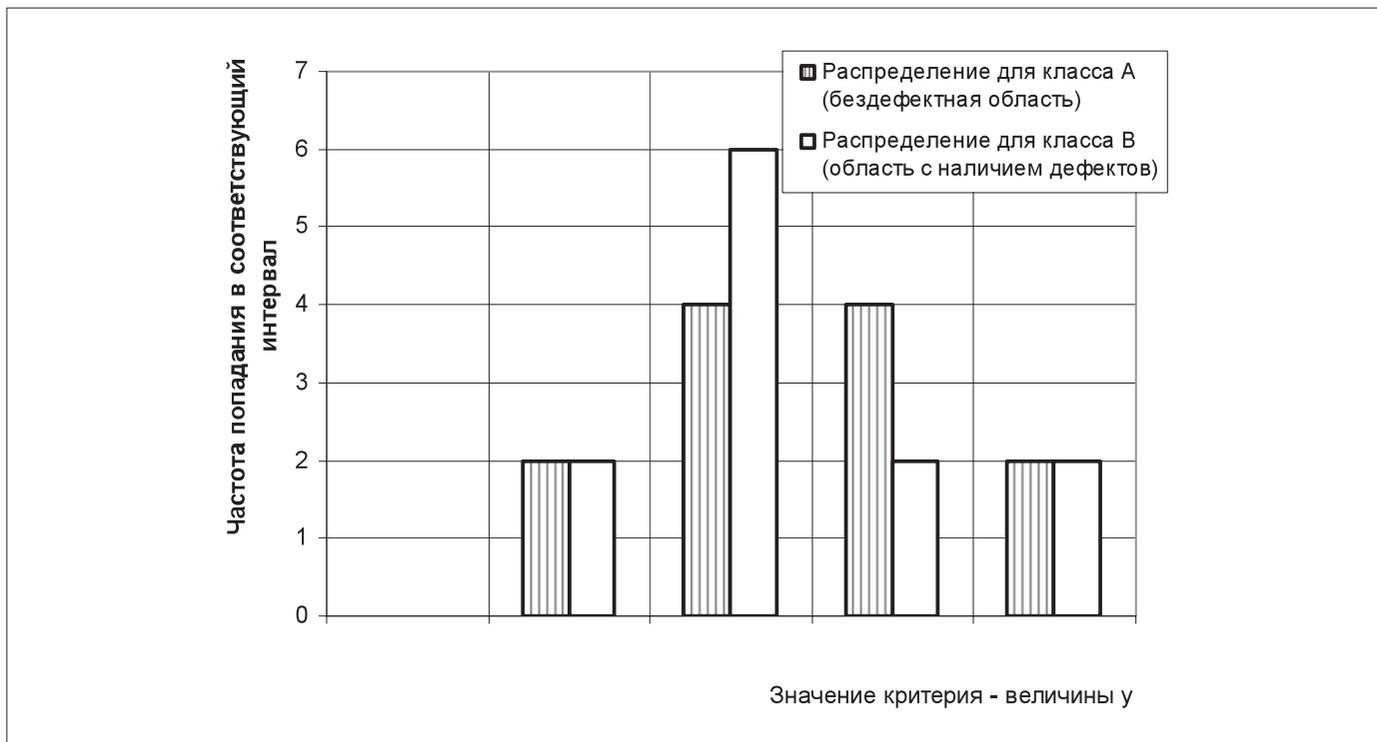


Рис. 4. Распределение для классов А и В в задаче построения поверхности, разделяющей дефектную и бездефектную области

Полученное классифицирующее правило, позволяющее относить объект к одному из классов (класс А – бездефектная область, класс В – область существования внутренних дефектов). Для реализации решения задачи была разработана программа в оболочке Delphi. Дальнейшим развитием полученных результатов может быть проведение математического планирования эксперимента и последующую оптимизацию [1, 9], с целью выявления влияния конструктивных параметров оснастки на смещение в трехмерном пространстве разделяющих плоскостей, и позволяющие определить значения конструктивных параметров оснастки, обеспечивающие минимальный объем дефектной области в литых деталях.

Выводы

В результате проведенного исследования с помощью методов компьютерного моделирования процесса заполнения кокиля расплавом, стало возможным решить задачу выявления мест дислокации внутренних дефектов. Таким образом, применения методы статистической классификации возможно прогнозировать на стадии выбора конструкции кокиля и технологических режимах литья области литой детали, в которых вероятно образование дефектов. Результаты компьютерного моделирования могут быть использованы для разработки мероприятий по устранению брака отливок и повышению их качества.

Список литературы:

1. Пономаренко О. И. Оптимизация технологических решений в условиях работы литейных цехов / О. И. Пономаренко. – Харьков: НТУ «ХПИ», 2007. – 320 с.
2. Алёхин В. И. Компьютерное моделирование процессов при производстве литых деталей двигателя / В. И. Алёхин, О. В. Акимов, А. П. Марченко // Литейное производство. – 2010. – № 9. – С. 31–33.

3. Алёхин В. И. Компьютерно-интегрированное моделирование литейных процессов в автомобильных поршнях на основе конструкторско-технологической методики проектирования деталей ДВС / [В. И. Алёхин, А. В. Белогуб, А. П. Марченко, О. В. Акимов] // Двигатели внутреннего сгорания. – 2009. – № 2. – С. 101–104.

4. Алёхин В. И. Моделирование литейных процессов при изготовлении автомобильных поршней / [В. И. Алёхин, А. В. Белогуб, А. П. Марченко, О. В. Акимов] // Цветные металлы. – 2010. – № 8. – С. 81–83.

5. Алёхин В. И. Моделирование мест проявления дефектов усадочного характера при проектировании литых деталей ДВС / [В. И. Алёхин, А. В. Белогуб, А. П. Марченко, О. В. Акимов] // Металл и литье Украины. – 2010. – № 12. – С. 27–30.

6. Дёмин Д. А. Диагностика технологического процесса. Руководство для технолога / Д. А. Дёмин // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2005. – № 5/1(17). – С. 29–40.

7. Дёмин Д. А. Применение параметрических методов распознавания образов для исследования длительности модифицирующего эффекта / Д. А. Дёмин // Научно-техническая конференция «Информационные технологии: наука, техника, технология, образование, здоровье». – 1996. – С. 56–58.

8. Тренев Н. С. Применение метода распознавания образов для описания локализации дефектов в отливках / Н. С. Тренев, О. И. Пономаренко // Матеріали VIII Університетської науково-практичної студентської конференції магістрантів Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут» (22–24 квітня 2014 р., м. Харків) – Харків: НТУ «ХПИ». – 2014. – С. 38.

9. Дёмин Д. А. Оптимизация технологического процесса в цехе предприятия / Д. А. Дёмин // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2005. – № 6. – С. 48–59.