

This paper shows the practical application of algorithm for calculating the volume fraction of solids for the computer simulation of aluminum castings technology.

П. Е. ЛУЩИК, БНТУ

Научный руководитель канд. техн. наук, доцент И. В. РАФАЛЬСКИЙ, БНТУ

УДК 669.131.7

ТЕРМОСЕНСОРНАЯ ДИАГНОСТИКА ПРОЦЕССА ЗАТВЕРДЕВАНИЯ СПЛАВА АК9ч ПРИ РАЗРАБОТКЕ ТЕХНОЛОГИИ ПОЛУЧЕНИЯ БЕЗДЕФЕКТНЫХ ОТЛИВОК

Современные системы моделирования литейных процессов, которые в последнее время приобретают все большее развитие, серьезно упрощают задачу технологу-литейщику в совершенствовании технологии. В то же время применение САПР в ряде случаев осложняется отсутствием надежных данных о свойствах материалов, опираясь на зависимости, рассчитанные с использованием так называемого «правила рычага» или уравнения Шейла. Однако имитационная модель процесса затвердевания не может быть самодостаточной при использовании теплофизических свойств сплавов, полученных с помощью бинарных диаграмм состояния, построенных при равновесном затвердевании.

Разработчики систем компьютерного моделирования рекомендуют использовать в качестве исходных параметров для расчета температурные за-

висимости свойств материалов, полученные экспериментальным путем. Для определения теплофизических свойств сплавов используются методы термического анализа, а в качестве измерительных датчиков (сенсоров) – термопреобразователи с высокой разрешающей способностью (чувствительностью) по температуре. Оборудование для проведения термического анализа и алгоритмы обработки данных стремительно развиваются, о чем свидетельствует ряд статей известных ученых [1, 2]. Авторами работы разработан алгоритм вычисления объемной доли твердой фазы на основе данных компьютерного термического анализа (КТА) сплавов в производственных условиях с использованием стандартизованных измерительных термосенсоров [3,4].

Целью данной работы является практическое применение разработанного алгоритма вычисле-

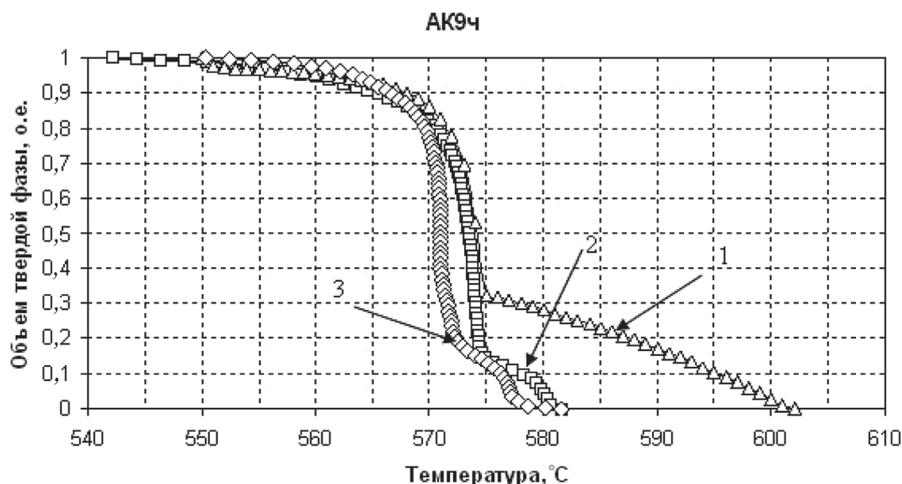


Рис. 1. Зависимости выделения твердой фазы от температуры в интервале кристаллизации для сплава АК9ч, рассчитанные с использованием CompuTherm Material Thermodynamic Database (1); с использованием данных КТА исходного сплава (2); с использованием данных КТА модифицированного сплава (3)

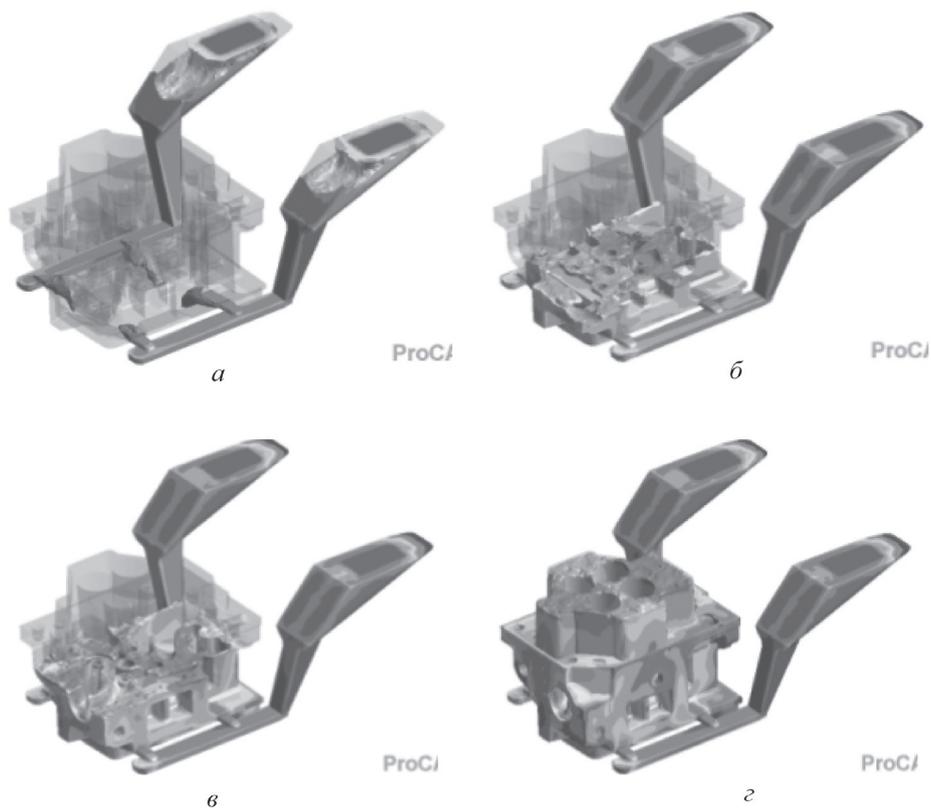


Рис. 2. Процесс заполнения кокиля металлом в моменты времени: *a* – 1,9 с; *б* – 3,5; *в* – 5; *г* – 9,96 с

ния объемной доли твердой фазы для компьютерного моделирования технологии изготовления отливки «Головка цилиндра» в системе ProCAST.

В качестве исходных данных для моделирования использовали электронную модель отливки «Головка цилиндра», изготавливаемую на ОАО «Минский моторный завод» из сплава АК9ч. Те-

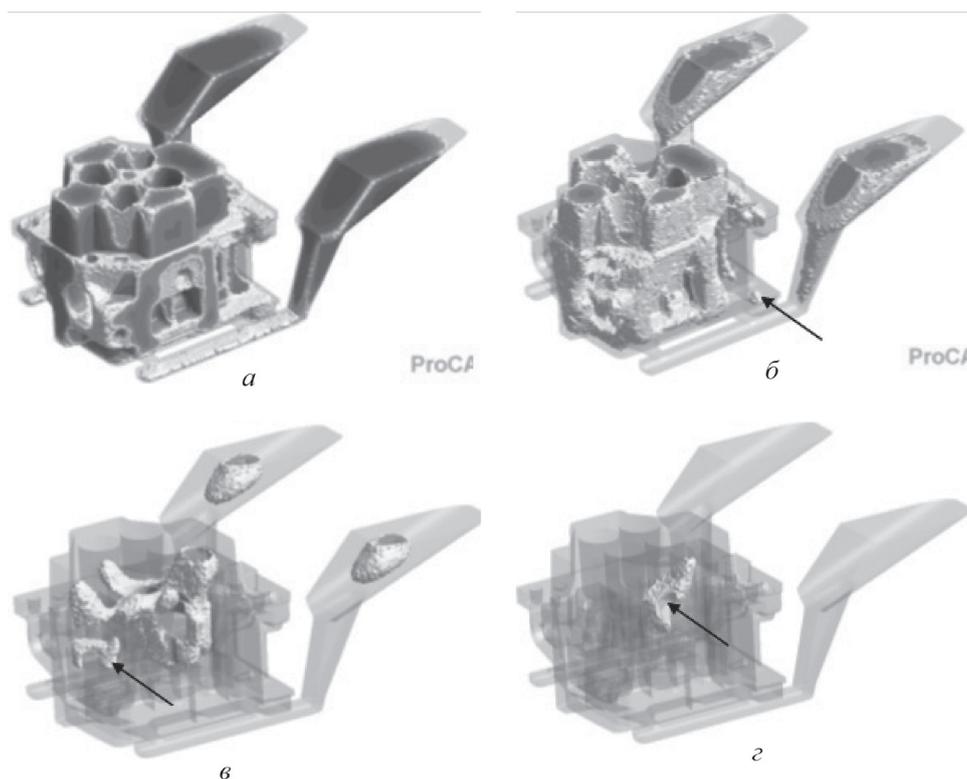


Рис. 3. Процесс затвердевания отливки «Головка цилиндра» в моменты времени: *a* – 39,9 с; *б* – 52,23; *в* – 201,16; *г* – 291,16 с

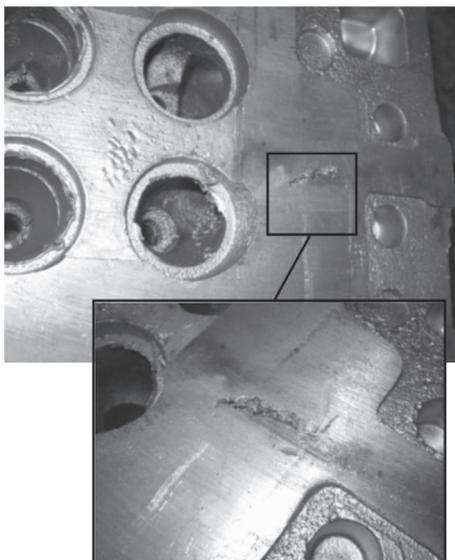


Рис. 4. Усадочная пористость на поверхности отливки

физические свойства сплава (теплопроводность, теплоемкость, плотность) рассчитывали с помощью встроенного модуля ProCAST (CompuTherm Material Thermodynamic Database). Зависимость выделения твердой фазы от температуры, а также критические точки ликвидуса и солидуса были получены с использованием разработанного алгоритма расчета двухфазной зоны в интервале кристаллизации и вычисления объемной доли твердой фазы. В процессе производства отливки «Головка цилиндра» расплав модифицируют флюсом на основе натрия перед раздачей металла на участки. На рис. 1 показаны отличия зависимостей выделе-

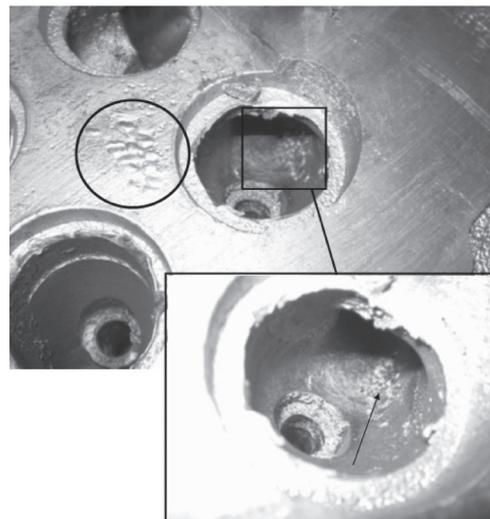


Рис. 5. Усадочные дефекты в канале и по плоскости удаления прибыли

ния твердой фазы от температуры в интервале кристаллизации для сплава АК9ч, рассчитанных с использованием CompuTherm Material Thermodynamic Database; с использованием данных КТА исходного сплава; с использованием данных КТА модифицированного сплава.

Как видно из рисунка, кривая выделения твердой фазы, рассчитанная с использованием CompuTherm Material Thermodynamic Database, отличается от кривых, полученных экспериментальным путем. При этом температура начала затвердевания на 21 °С превышает реальные условия. Температура и характер эвтектической кристаллизации для

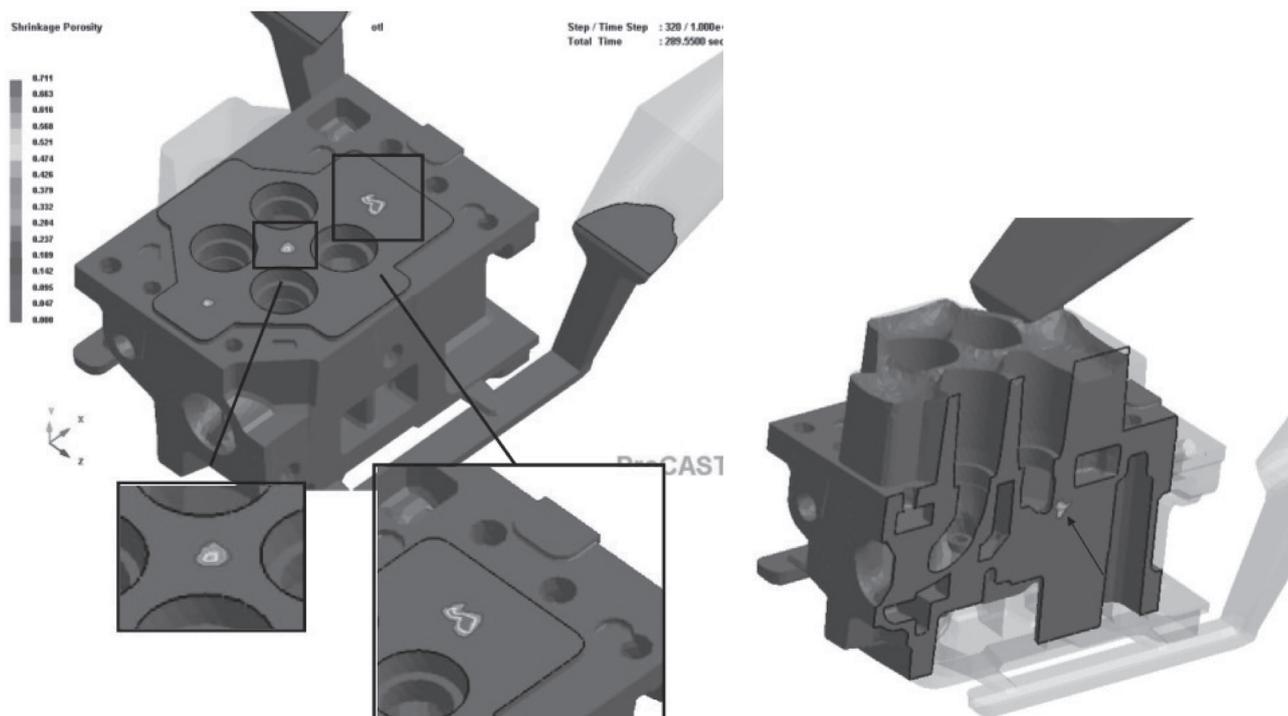


Рис. 6. Усадочная пористость, полученная на компьютерной модели

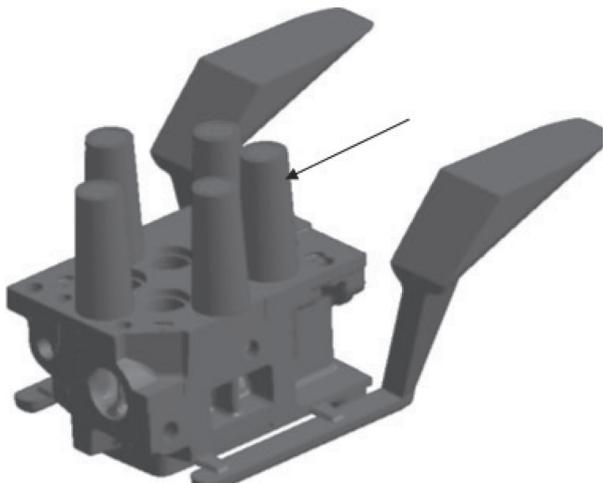


Рис. 7. Геометрия отливки «Головка цилиндра» после оптимизации прибылей с применением утеплительных вставок

модифицированного состава сплава также отличаются.

Компьютерное моделирование технологии изготовления отливки «Головка цилиндра» включало два этапа: анализ процесса заполнения кокиля расплавом и анализ затвердевания и образования усадочных дефектов в отливке.

Последовательность процесса заполнения показана на рис. 2. Из рисунка видно, что процесс заполнения отливки «Головка цилиндра» характери-

зуется спокойным и равномерным распределением расплава в форме, преждевременное перемерзание питателей во время заливки отсутствует.

Моделирование процесса затвердевания в режиме CutOff (отображение только жидкой фазы выше 60%) приведено на рис. 3. Из рисунка видно, что затвердевание происходит в направлении от питателей к прибыли. Несмотря на наличие массивной прибыльной части, в отливке образуются отдельные замкнутые участки жидкой фазы (рис. 3, б–г), где, как правило, после окончания затвердевания обнаруживаются усадочные дефекты в виде пористости.

Анализ образования усадочных дефектов выполняли путем сравнения экспериментальных и расчетных данных. Отливки, в которых после механической обработки были обнаружены дефекты, отбирались для сравнения с компьютерным расчетом.

При моделировании были выявлены тепловые узлы, в которых, как правило, после окончания затвердевания образовывается усадочная пористость. Однако на предприятии критичными показателями брака являются только те места, где пористость выходит на поверхность отливки или вскрывается после механической обработки. Наиболее критичны дефекты усадочного характера,

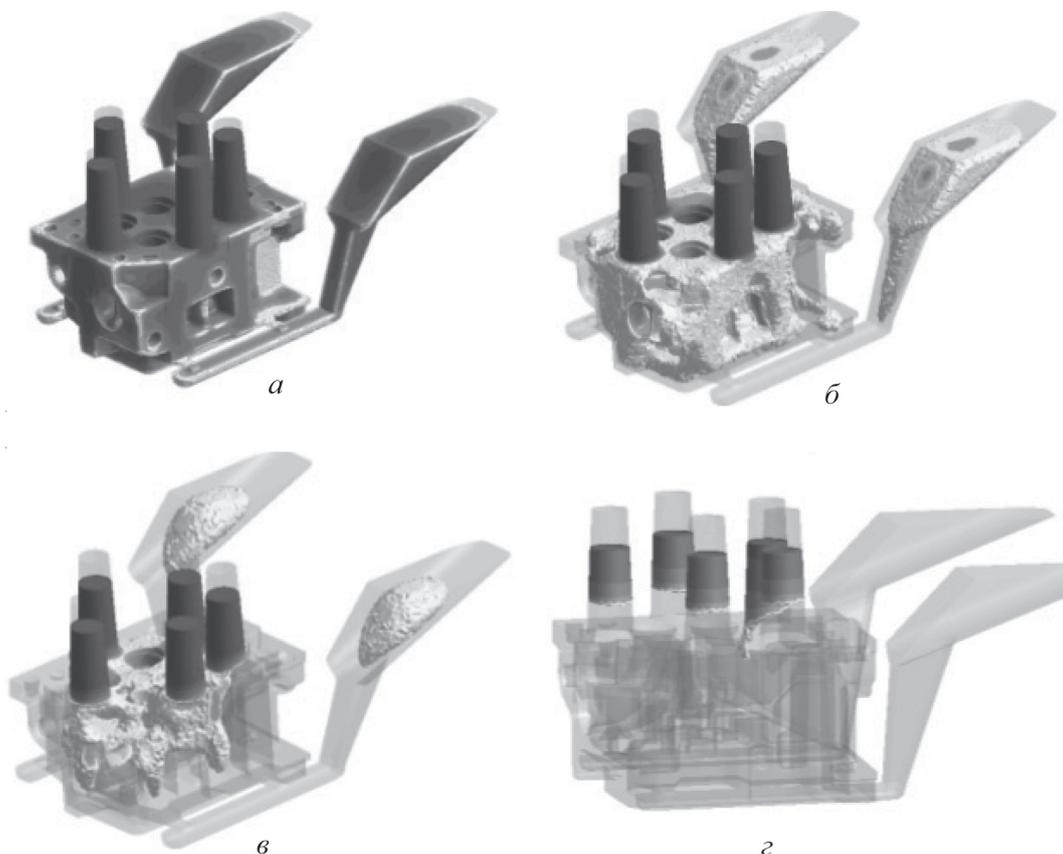


Рис. 8. Процесс затвердевания оптимизированной отливки «Головка цилиндра» в моменты времени: а – 9,3 с; б – 33,9; в – 66,7; г – 165 с



Рис. 9. Анализ образования усадочной пористости по сечению отливки «Головка цилиндра» после оптимизации прибыльной части

образующиеся по плоскости удаления прибыли и в каналах сверху (рис. 4, 5).

Результаты анализа усадочной пористости при компьютерном моделировании представлены на рис. 6.

Как видно из рисунка, усадочные дефекты, полученные на основе компьютерного моделирования в ProCAST, находятся в тех же местах, что и в реальном эксперименте в производственных условиях. Совпадение результатов численного моделирования с реальным экспериментом позволяет

утверждать о совпадении тепловых условий при затвердевании отливки. Это дает возможность разработать и проанализировать технологию производства отливки с использованием точечной подпитки прибылями с утеплительными вставками (рис. 7). Как видно из рисунка, в оптимизированном варианте подпитка осуществляется только в местах образования тепловых узлов. Данная корректировка позволит значительно снизить металлоемкость отливки, утеплительные вставки, повысить питающую способность прибылей, исключая их преждевременное затвердевание.

Процесс затвердевания отливки «Головка цилиндра» после оптимизации показан на рис. 8. Как видно из рисунка, кристаллизация происходит направленно, от нижней части отливки к прибылям, без образования замкнутых областей жидкой фазы. Прибыли затвердевают в последнюю очередь, равномерно подпитывая рабочую область отливки. Анализ образования усадочной пористости по сечению отливки «Головка цилиндра» после оптимизации на рис. 9.

Как видно из рисунка, корректировка прибыли может полностью устранить риск образования усадочной пористости в верхней части отливки, а, следовательно, снизить брак на производстве до минимума.

Литература

1. Saunders N., Li X., Miodownik A. P., Schillé J.-P. Modelling of the thermo-physical and physical properties for solidification of Al-alloys // *Light Metals*. 2003.
2. Emadi D., Whiting L., Djurdjevic M., Kierkus W. T., Sokolowski J. H. Comparison of Newtonian and fourier thermal analysis techniques for calculation of latent heat and solid fraction of aluminum alloys // *Metalurgija – MJOM*. 2004. P. 91–106.
3. Rafalski I., Arabey A., Lushchik P., Chaus A. S. Computer modeling of cast alloys solidification by Computer-Aided Cooling Curve Analysis (CA-CCA) // *International Doctoral Seminar, Proceedings*. Trnava: AlumniPress, 2009. P. 291–301.
4. Луцкий П. Е., Рафальский И. В. Расчет двухфазной зоны в интервале кристаллизации алюминиевых сплавов с использованием термического анализа // *Литье и металлургия*. 2012. № 1. С. 79–83.