

ПРИМЕНЕНИЕ ЧИСЛЕННЫХ МЕТОДОВ МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРОЦЕССА ЛИТЬЯ СЛИТКОВ Pt

Махов Д.И., Павлов Е.А.

Научный руководитель д-р техн. наук Скуратов А.П.

Сибирский федеральный университет

В работе представлены результаты численного моделирования процесса литья слитков Pt с использованием программных комплексов ProCAST и ANSYS. В указанных программных продуктах в основу имитации литейного процесса положена действующая промышленная установка. Схема процесса слива расплава платины из тигля в водоохлаждаемую изложницу с подвижным дном отображена на рис.1.

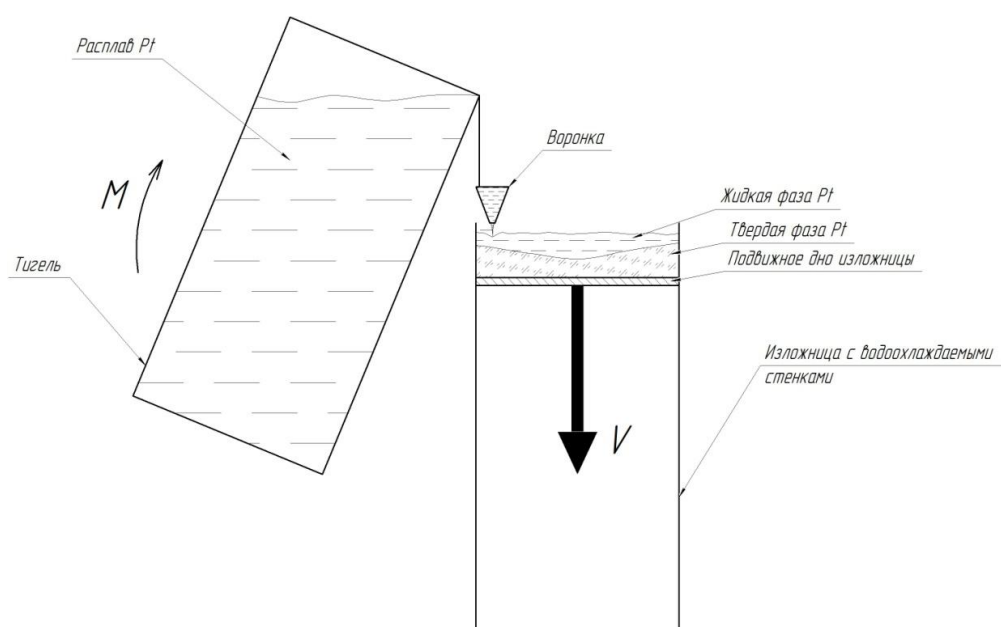


Рисунок 1 - Схема процесса слива расплава Pt

Согласно приведенной схеме, в установке осуществляется низкоскоростное литье с направленной кристаллизацией, оптимальные условия и преимущества которого описаны в [1]. Технологический процесс получения слитка платины заключается в следующем: в индукционной печи происходит плавление металла с некоторым его перегревом; после этого тигель наклоняют, тем самым сливая расплавленный металл через воронку в изложницу с водоохлаждаемыми стенками и опускающимся дном; после слива производят выдержку готового слитка в изложнице в течении пяти минут.

В рамках данной статьи представлены результаты исследования процесса слива расплава Pt в изложницу с водоохлаждаемыми стенками и подвижным дном, полученные в литейном программном комплексе ProCAST. Цель исследования – выявление оптимального литейного режима для получения слитка Pt с минимальным количеством дефектов: усадочная полость более 5%, поверхностных и внутренних трещин, пор и т.д.

В связи с трудностями проведения промышленных опытов на установке, оценка достоверности результатов моделирования проводилась путем сопоставления температурных полей, также полученных с помощью универсального программного комплекса ANSYS.

ProCast и ANSYS – это два мощных программных продукта, расчет дифференциальных уравнений в которых основан на методе конечных элементов (МКЭ). Исключение в программных модулях ProCAST составляет модуль расчета газовой и усадочной микропористости (Advanced Porosity Module), использующий метод конечных разностей (МКР), и модуль расчета процесса зарождения и роста зеренной структуры (SAFE), сочетающий в себе МКЭ и клеточные автоматы. На конечный результат использование в ANSYS и ProCAST разных методов практически не влияет, так как для сравнения используются результаты, полученные только тепловыми модулями программных продуктов, основанных на МКЭ. Отличия в результатах может иметь место лишь из-за разной реализации данных методов в самих программных алгоритмах [2]. Если говорить о сравнении ProCAST и ANSYS, то нужно упомянуть о предназначении данных программ. Прежде всего, программный комплекс ANSYS имеет огромный спектр возможностей, связанный с большим количеством различных в нем модулей и отличается от ProCAST, главным образом, своей универсальностью. ProCAST примитивен тем, что основной его задачей являются только литейные процессы, но как утверждают разработчики этой программы, ProCAST позволяет моделировать практически все варианты литейных технологий, включая свободное литье в формы, литье под низким и высоким давлением, литье по выплавляемым моделям и т.д. Поэтому сравнивать функциональные недостатки и преимущества этих двух продуктов было бы некорректно.

При разработке математической модели в ProCAST и ANSYS был принят ряд допущений: образование усадочной полости при кристаллизации расплава в слитке не происходит (для ANSYS); считаем, что нет гидравлического удара от струи расплава о поверхность жидкой фазы металла, находящейся в изложнице – заполнение расплавом в единицу времени происходит равномерно по всему поперечному сечению изложницы; так как расплав однокомпонентный и высокой чистоты, то в модели выполняется условие гомогенности.

В разработанных моделях для ProCAST и ANSYS теплофизические свойства платины [3], начальные и граничные условия совпадают полностью: начальная температура расплава $T_{\text{расплава}} = 1800 \text{ }^\circ\text{C}$; начальная температура внутренней поверхности изложницы $T_{\text{излож}} = 27 \text{ }^\circ\text{C}$; I рода: на верхней плоскости изложницы: $T_{\text{поверх}} = T_{\text{расплава}}$; III рода: на боковых поверхностях слитка происходит теплообмен со средой по закону Ньютона-Рихмана [4]:

(1)

где Q – количество теплоты; α – коэффициент теплоотдачи; $T_{\text{поверх}}$ – температура поверхности слитка; $T_{\text{среда}}$ – температура охлаждающей среды; F – площадь поверхности; t – время.

Механизм теплопереноса представлен уравнением теплопроводности [4]:

где ρ — плотность среды, c_v — теплоёмкость среды при постоянном объёме и λ — коэффициент теплопроводности зависят от температуры; v — скорость движения дна; t — время; x, y, z — координаты; $T = T(x, y, z, t)$ — температура металла; $F = F(x, y, z, t)$ — источники теплоты: латентная теплота P_t и теплота вносимая в изложницу расплавом.

На рис. 2 представлены результаты моделирования температурных полей с помощью ProCAST и ANSYS, которые соответствуют окончанию слива расплава Pt (20 сек). Как видно, характер распределения температур, полученных с помощью этих программных комплексов, носит практически одинаковый характер. Расчетные поля температур имеют плавные изогнутые вглубь изотермы и соответствуют реальному процессу охлаждения. Близки оказались и области с высоким $\text{grad}T$ (точка А). При этом полученное распределение температур в осевой зоне слитка позволяет получить невысокую величину усадки.

Результаты, представленные на рис. 3 получены по истечении 40 секунд после остановки слива. Видно, что дальнейшее охлаждение не оказывает влияния на структуру образовавшегося слитка.

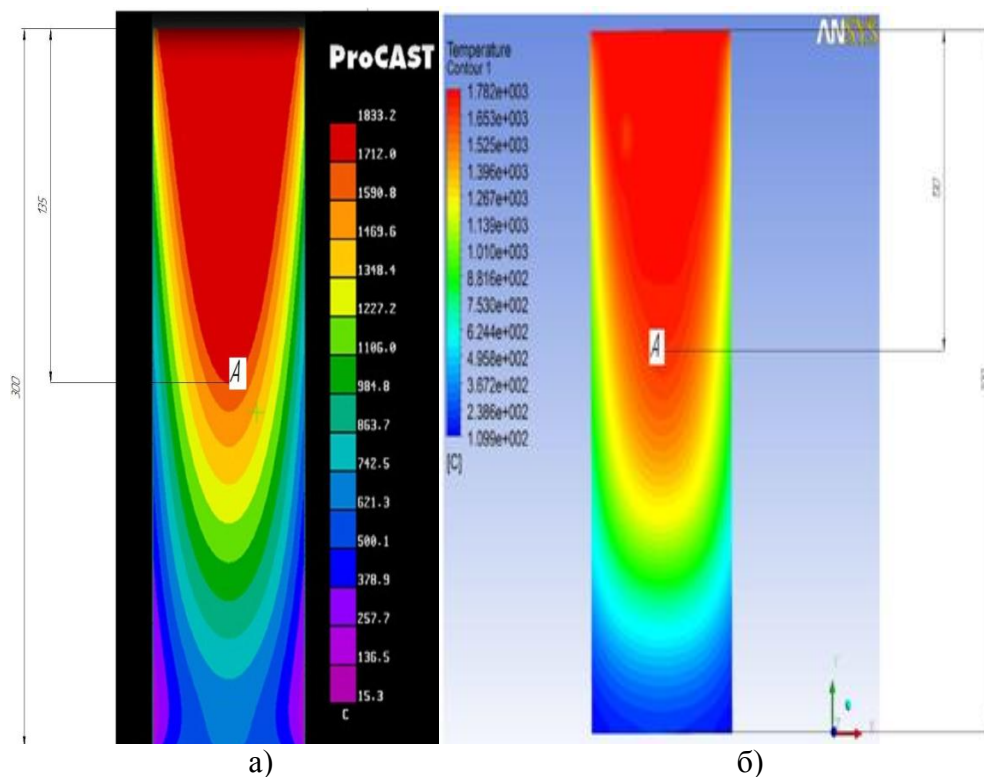


Рисунок 2 – Температурные поля в сечении отливки полученные в ProCAST (а) и в ANSYS (б)

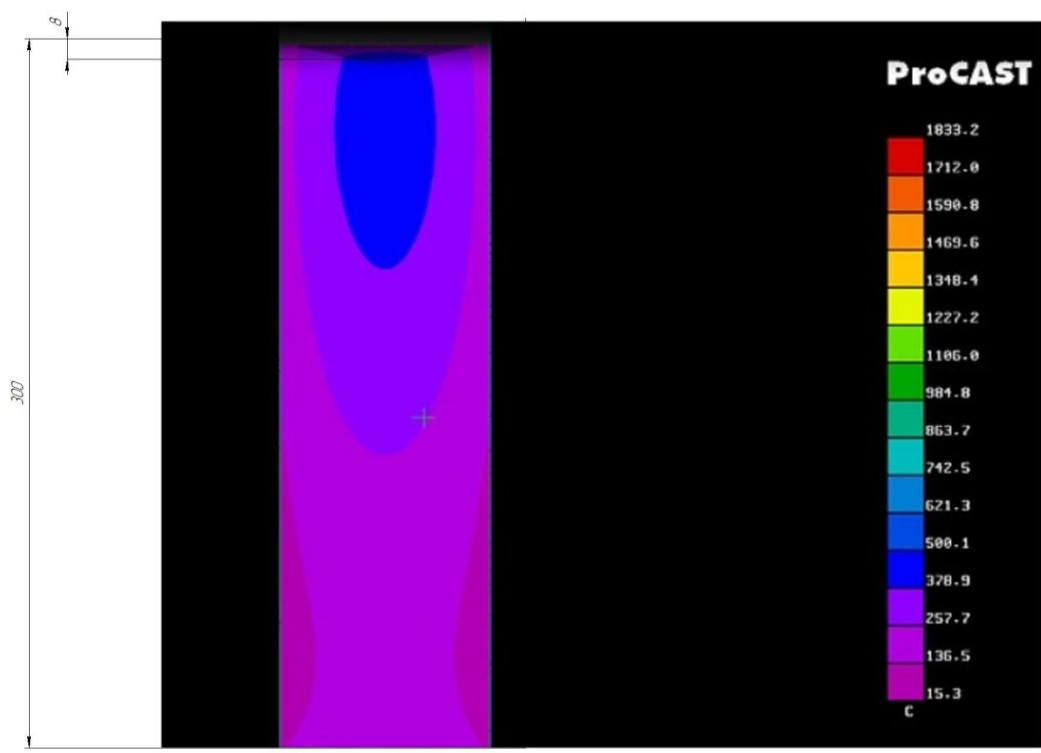


Рисунок 3 – Температурное поле в сечении отливки и величина усадочной раковины после выдержки слитка в изложнице, полученные в ProCAST.

Расчетная оптимизация литейного режима осуществлялась с целью исключения поверхностных и внутренних дефектов, а также снижения величины усадочной раковины. Варьировались значения скорости движения дна (время слива расплава), температуры перегрева расплава и интенсивности охлаждения изложницы. При этом процесс выбора оптимальных параметров основывался на возможностях действующей промышленной установки. На рис. 3 отчетливо видно, что при выбранных режимных параметрах усадочная раковина в виде темно-серого среза расположена в верхней части слитка. Анализ показывает, что величина усадки удовлетворяет технологическим требованиям и не превышает 3 %, образование пор не наблюдается.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Андронов В.П. Плавильно-литейное производство драгоценных металлов и сплавов. – М.: Металлургия", 1974. – 320 с.
2. Лебедев В.Г., Попов А.Г. Моделирование литейных процессов: желаемое и действительное. – НПО МКМ, 2005 / http://lvm.mkmssoft.ru/upload_files/mkr.htm
3. Зиновьев В.Е. Теплофизические свойства металлов при высоких температурах / Справочное изд. – М.: Металлургия, 1989. – 384 с.
4. Исаченко В.П., Осипова В.А., Сукомел А.С. Теплопередача. Учебник для вузов, Изд. 3-е, перераб. и доп. – М.: Энергия, 1975. – 488 с.;
5. Мамина Л. И., Лесив Е. М., Гильмашина Т. Р. Теоретические основы литейного производства. [Электронный ресурс] :конспект лекций /– Электрон. дан. (9 Мб). – Красноярск: ИПК СФУ, 2009.