

Создание оптимизационной модели техпроцесса ЛВМ с использованием СКМ «Полигон»

С.В.Жеглов, А.А.Щетинин

(Воронежский государственный технический университет)

На сегодняшний день методы и алгоритмы автоматизированного проектирования технологических процессов литья недостаточно изучены и нуждаются в постоянном развитии.

Имеется необходимость разработки новых методик автоматизации и совершенствовании существующих САПР ТП в литейном производстве.

В настоящее время не существует строгих правил проведения работ по оптимизации литейных процессов затвердевания. Поэтому одной из ключевых задач является совершенствование применяемой в большинстве случаев методики автоматизированного проектирования литейной технологии с использованием СКМ.

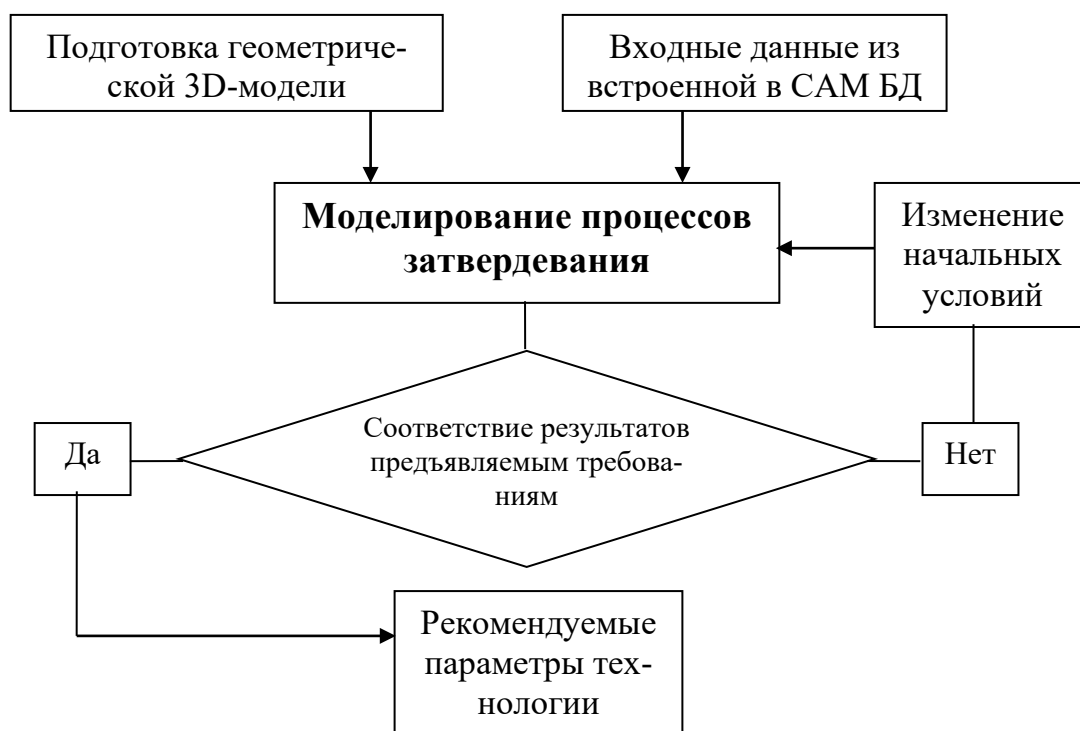


Рис.1. Методика автоматизированного проектирования литейной технологии на этапе «заливка-затвердевание»

Как видно из рис.1, существующими методами практически невозможно получить оптимальные параметры, т.к. в этом случае условием завершения проектирования является соответствие результатов расчета предъявляемым требованиям. Поэтому применяемая в большинстве случаев методика была усовершенствована (рис.2.).

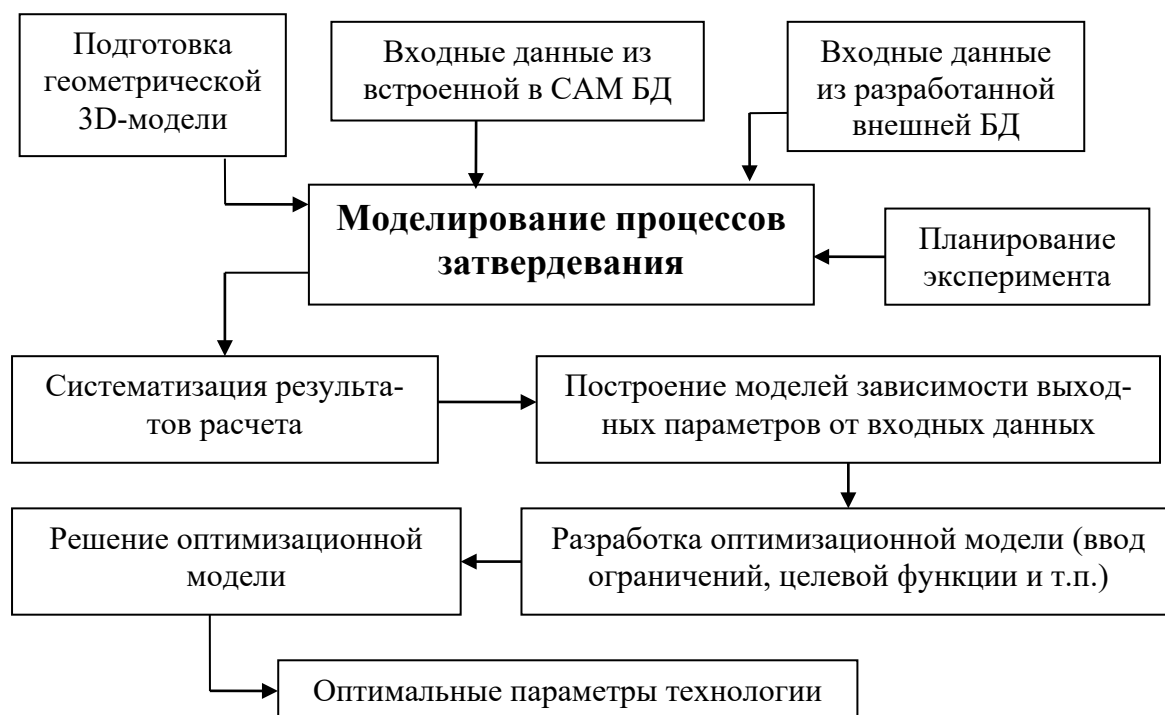


Рис.2. Предлагаемая методика автоматизированного проектирования литейной технологии на этапе «заливка-затвердевание»

Как видно из рисунков, основными отличиями предложенной методики от «стандартной» являются:

- использование планирования эксперимента в ходе проведения моделирования с целью построения моделей зависимости выходных параметров (уровни дефектов, температуры отливки, время затвердевания и т.п.) от исходных данных (температуры печи и формы, скорости перемещения и т.п.);
- разработка оптимизационной модели, задание условий и расчет оптимальных технологических параметров на этапе «заливка-затвердевание»;
- использование собственной внешней базы данных, позволяющей более адекватно учитывать особенности технологии.

Условием для завершения проектирования является решение оптимизационной модели, т.е. получение оптимальных параметров технологического процесса.

Исходные технологические параметры:

Отливка типа «Корпус». Габаритные размеры: $\varnothing 76 \times 100 \times 131$ мм, преобладающая толщина стенки - 4 мм. Материал - сплав ВНЛ-1 (08Х14Н7МЛ). Способ изготовления отливки: заливка металлом огнеупорной оболочки в вакууме на установке направленной кристаллизации.

Процесс направленной кристаллизации отливки обеспечивается за счет управляемого теплоотвода, а именно:

- 1) использованием водоохлаждаемого холодильника;
- 2) перемещением оболочки с затвердевающей отливкой из зоны нагрева с в зону охлаждения.

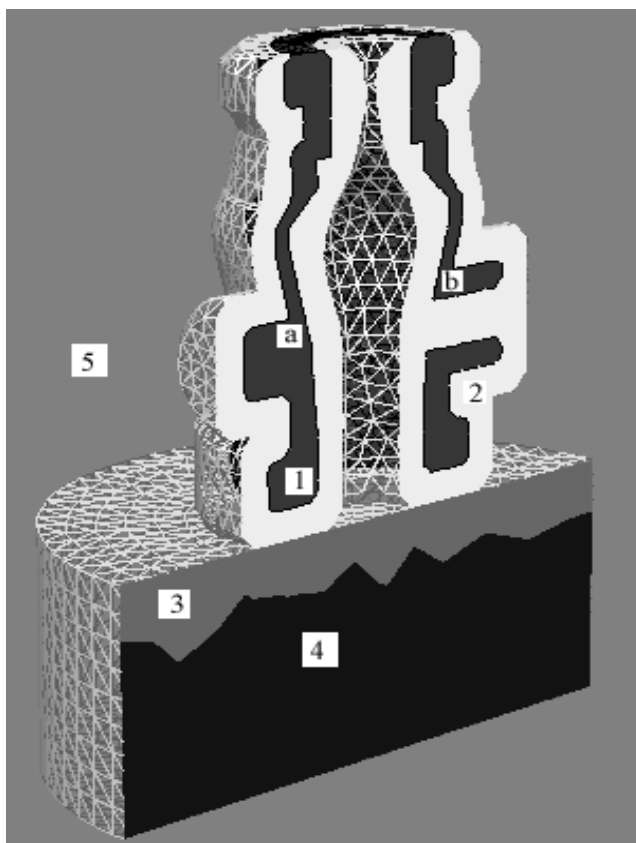


Рис.3. Геометрическая 3D-модель оболочки и формы в разрезе
 1 - отливка; 2 - керамическая огнеупорная оболочка; 3 - медный водоохлаждаемый поддон Ø180 мм высотой 50мм и толщиной стенки 8 мм; 4 - вода, постоянная температура 45° С; 5 – термодинамическая среда; а – область в районе бобышки, потенциально подверженная пористости; б – область в районе фланца, потенциально подверженная пористости

Из полученных ранее результатов экспертного ранжирования было известно, что в наибольшей степени на процесс направленного затвердевания в вакуумной печи влияют начальные температур формы и отливки, а также скорость выведения затвердевающей отливки в зону охлаждения.

Построение моделей зависимости проводилось с использованием метода активного эксперимента. В условиях эксперимента основная цель заключается в извлечении максимального количества объективной информации о влиянии изучаемых факторов на производственный процесс с помощью наименьшего числа наблюдений.

Были просчитаны 27 вариантов технологии. Различия заключались в начальном распределении температур печи и формы, а также в динамическом режиме выведения оболочки из печи.

Время затвердевания (с) и уровень дефектов в точках а и б (%) при различных технологических условиях

Таблица 1

		Т формы 800 °С			Т формы 1100 °С			Т формы 1400 °С		
		Т средней части печи, °С			Т средней части печи, °С			Т средней части печи, °С		
		1500	1550	1600	1500	1550	1600	1500	1550	1600
Скорость V, мм/мин	20	$Y_{VZ} = 714$ $Y_a = 0,06$ $Y_b = 0,2$	$Y_{VZ} = 750$ $Y_a = 0,06$ $Y_b = 0,12$	$Y_{VZ} = 810$ $Y_a = 0,13$ $Y_b = 0,28$	$Y_{VZ} = 714$ $Y_a = 0,07$ $Y_b = 0,13$	$Y_{VZ} = 750$ $Y_a = 0,03$ $Y_b = 0,2$	$Y_{VZ} = 810$ $Y_a = 0,12$ $Y_b = 0,34$	$Y_{VZ} = 714$ $Y_a = 0,03$ $Y_b = 0,1$	$Y_{VZ} = 750$ $Y_a = 0,04$ $Y_b = 0,24$	$Y_{VZ} = 810$ $Y_a = 0,17$ $Y_b = 0,22$
	12	$Y_{VZ} = 1125$ $Y_a = 0,06$ $Y_b = 0,05$	$Y_{VZ} = 1170$ $Y_a = 0,05$ $Y_b = 0,05$	$Y_{VZ} = 1230$ $Y_a = 0,04$ $Y_b = 0,12$	$Y_{VZ} = 1125$ $Y_a = 0,08$ $Y_b = 0,04$	$Y_{VZ} = 1170$ $Y_a = 0,06$ $Y_b = 0,06$	$Y_{VZ} = 1230$ $Y_a = 0,01$ $Y_b = 0,15$	$Y_{VZ} = 1125$ $Y_a = 0,09$ $Y_b = 0,05$	$Y_{VZ} = 1170$ $Y_a = 0,06$ $Y_b = 0,04$	$Y_{VZ} = 1230$ $Y_a = 0,02$ $Y_b = 0,16$
	4	$Y_{VZ} = 3060$ $Y_a = 0,07$ $Y_b = 0,08$	$Y_{VZ} = 3120$ $Y_a = 0,03$ $Y_b = 0,099$	$Y_{VZ} = 3210$ $Y_a = 0,06$ $Y_b = 0,04$	$Y_{VZ} = 3060$ $Y_a = 0,07$ $Y_b = 0,08$	$Y_{VZ} = 3120$ $Y_a = 0,03$ $Y_b = 0,095$	$Y_{VZ} = 3210$ $Y_a = 0,06$ $Y_b = 0,02$	$Y_{VZ} = 3060$ $Y_a = 0,07$ $Y_b = 0,08$	$Y_{VZ} = 3120$ $Y_a = 0,03$ $Y_b = 0,096$	$Y_{VZ} = 3210$ $Y_a = 0,06$ $Y_b = 0,02$

Целью следующего этапа работы являлся анализ полученных результатов и построение моделей зависимости времени затвердевания Y_{VZ} , уровня дефектов в точке а Y_a и уровня дефектов в точке б Y_b от скорости выведения отливки из зоны нагрева V , температуры оболочки T_1 и температуры средней части печи T_2 (таблица 1).

Наиболее существенными входными переменными (факторами) являются: X_1 – скорость V ; X_2 – температура оболочки; X_3 – температура средней части печи.

Для каждой из переменных определены уровни варьирования отраженные в табл.2.

Таблица 2

Уровни варьирования переменных

Уровень фактора	X_1 мм/мин	X_2 , °С	X_3 , °С
Базовый $x_{бi}$	12	1100	1550
Верхний $x_{вi}$	20	1400	1600
Нижний $x_{нi}$	4	800	1500
Шаг варьирования Δx_i	8	300	50

Переменные переведены в безразмерный вид по формуле:

$$X_i = \frac{x_i - x_{0i}}{\Delta x_i} \quad (1)$$

В табл.3 показана матрица планирования и результаты эксперимента.

Таблица 3

Матрица планирования эксперимента

1	X ₀	X ₁	X ₂	X ₃	X ₁₂	X ₁₃	X ₂₃	X ₁₂₃	Y _{VZ}	Y _a	Y _b
1	+	-	-	-	+	+	+	-	3060	0.07	0.2
2	+	+	-	-	-	-	+	+	714	0.06	0.2
3	+	-	+	-	-	+	-	+	3060	0.07	0.08
4	+	+	+	-	+	-	-	-	714	0.03	0.1
5	+	-	-	+	+	-	-	+	3210	0.06	0.04
6	+	+	-	+	-	+	-	-	810	0.13	0.28
7	+	-	+	+	-	-	+	-	3210	0.06	0.02
8	+	+	+	+	+	+	+	+	810	0.17	0.22
b											

На основании матрицы планирования были определены коэффициенты уравнения регрессии.

Модель зависимости уровня дефектов в точке а Y_a может быть представлена в виде:

$$Y_a = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \beta_3 X_3 + \beta_{12} X_1 X_2 + \beta_{13} X_1 X_3 + \beta_{23} X_2 X_3 + \beta_{123} X_1 X_2 X_3, \quad (2)$$

где $\beta_0 = \frac{Y_{a1} + Y_{a2} + \dots + Y_{aN}}{N_L};$

$$\beta_i = \frac{z_{i1} Y_{a1} + z_{i2} Y_{a2} + \dots + z_{iN} Y_{aN}}{N_L};$$

$$\beta_{ij} = \frac{z_{ij1} Y_{a1} + z_{ij2} Y_{a2} + \dots + z_{ijN} Y_{aN}}{N_L};$$

$$\beta_{ijk} = \frac{z_{ijk1} Y_{a1} + z_{ijk2} Y_{a2} + \dots + z_{ijkN} Y_{aN}}{N_L};$$

N_L – число линейных эффектов;

z_i; z_{ij}; z_{ijk} – значения факторов в условиях переменных («+1» или «-1»)

В ходе решения получены следующие значения коэффициентов уравнения: $\beta_0=0,8125$; $\beta_1=0,01625$; $\beta_2=0,00125$; $\beta_3=0,02375$; $\beta_{12}=0,00125$; $\beta_{13}=0,02875$; $\beta_{23}=0,00875$; $\beta_{123}=0,00875$.

Модели зависимости времени затвердевания Y_{VZ}, уровня дефектов в точке а Y_a, уровня дефектов в точке b Y_b проверены с помощью F критерия Фишера.

В результате получены следующие модели:

$$\begin{aligned} Y_{vz} &= 1194.25 - 96.0625 \times X_1 + 1.635 \times X_3 - 0.03375 \times X_1 \times X_3; \\ Y_a &= 10.63 - 0.116 \times X_1 - 0.009 \times X_2 - 0.0068 \times X_3 + \\ &+ 7.25 \times 10^{-5} \times X_1 \times X_3 + 5.208 \times 10^{-6} \times X_1 \times X_2 + 5.83 \times 10^{-6} \times X_2 \times X_3; \\ Y_b &= 4.77 - 0.19698 \times X_1 - 1.974 \times 10^{-3} \times X_2 - 2.96 \times 10^{-3} \times X_3 + 1.325 \times 10^{-4} \times X_1 \times X_3 \end{aligned} \quad (3)$$

По данным зависимостям была разработана оптимизационная модель, в которой в качестве целевой функции использовалось условие:

$$Y_{vz} \rightarrow \min \quad (4)$$

Ограничения были представлены в виде:

$$\left\{ \begin{array}{l} Y_a < A \\ Y_b < B \\ 800 \leq X_2 \leq 1400 \\ 1500 \leq X_3 \leq 1600 \end{array} \right. \quad (5)$$

где А и В заданный уровень дефектов в точках а и b, соответственно.

Решение полученной модели является задачей линейного программирования и выполняется стандартными методами.

С использованием построенной модели возможно определение оптимальных значений для важнейших технологических параметров изготовления отливок при заданном ограничении уровня дефектов. При условии, что уровень дефектов не превышает 0,1%, оптимальными параметрами являются: скорость выведения отливки из зоны нагрева $X_1 = 18.1$ мм/мин; температура оболочки в момент заливки $X_2 = 944$ °С; температура средней части печи $X_3 = 1500$ °С.

В итоге проведенной работы были получены следующие результаты:

- комплекс регрессионных моделей зависимости времени затвердевания и уровня дефектов корпусных отливок от наиболее значимых параметров ТП ЛВМ, отличающийся возможностью прогнозирования развития усадочных процессов;
- оптимизационная модель ТП изготовления корпусных отливок методом ЛВМ с использованием установки направленного затвердевания на этапе «заливка-затвердевание», позволяющая задавать различные уровни дефектов и находить оптимальные сочетания температурно-временных параметров технологии;
- оптимальные значения динамического режима, температур печи и оболочки.

Предлагаемая методика автоматизированного проектирования литейных технологий отличается универсальностью и может быть применена к различным способам литья и конфигурациям отливок.

**Применение статистических методов анализа данных
для оценки результатов процесса формирования усадочных дефектов
в чугунных отливках.**

А.В.Щетинин, А.А.Щетинин, С.В.Жеглов, В.В.Корнеева

Вычислительный эксперимент во многом аналогичен натурному, роль экспериментальной установки играют специализированные вычислительные программы, которые получили название систем автоматизированного моделирования (САМ).

Наибольшее распространение получили САМ, основанные на следующих методах решения задач: метод конечных элементов (МКЭ), метод конечных разностей (МКР), метод конечных объемов (МКО). Другие численные методы также находят применение, но в более частных задачах. Разработанные САМ являются эффективными, если достоверность решения более 90%. Численные методы, реализованные в САМ позволяют достигать и более высокой точности, что связано с размерами дискретизации расчетной области, а также с возможностями вычислительной техники.

Достоинства численного моделирования очевидны – они дешевле натурального, в эксперимент можно легко и безопасно вмешиваться, эксперимент можно повторить и прервать в любой момент, в ходе эксперимента можно смоделировать условия, которые не реализуются на лабораторных установках. Поэтому в данной работе рассмотрены вопросы решения основной задачи технологического процесса формирования отливки – образование усадочных дефектов и способы их устранения, а также решается задача построения математической модели формирования пористости в форме с регулируемой скоростью отвода тепла.

Реализация вычислительного эксперимента была осуществлена в САМ ЛП «Полигон», которая основана на МКЭ, как наиболее адекватном методе решения усадочной задачи и задачи теплопроводности.

До проведения вычислительного эксперимента решаются задачи построения геометрической модели, дискретизация области отливки и формы. Непосредственно сам вычислительный процесс может занимать от нескольких минут до десятков часов, в зависимости от размеров модели и размеров элементарных областей. Даже при минимальном размере конечного элемента вычислительный процесс быстрее, чем натуральный. Построение моделей, дискретизация областей, проведение расчетов для отливок – трудоемкие процессы, на которые затрачивается много машинного времени и труда специалистов.

Проведение вычислительных экспериментов и построение по этим данным математической модели позволяет определить значения контролируемых параметров, по ряду исходных данных, что в свою очередь сократит время для поиска оптимальных начальных условий. То есть построен-

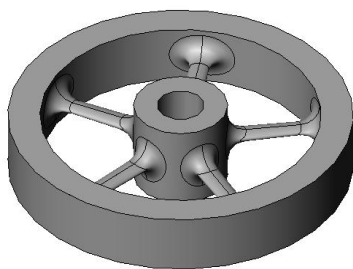


Рис.1 – Отливка

ная математическая модель конструкции отливки не нуждается в построении геометрической модели, дискретизации области, вычислительных экспериментах, а требуется задать только теплофизические параметры литейного процесса.

Для построения математической модели образования усадочных дефектов в литой заготовке, получаемой литьем в песчано-глинистые

формы, решаются следующие задачи:

- исследуется влияния теплофизических параметров литья на качество отливки;
- определяются модели процесса литья, описывающие изменения пористости в отливке под влиянием различных факторов.

В качестве типовой детали была выбрана деталь «Шкив» (рис.1), размеры которой определяются по ГОСТ 20889-88, ГОСТ 17383-73. Наиболее критичным местом в деталях таких конструкций является сопряжение спицы с ободом, поскольку в процессе построения отливки в большинстве случаев не учитывается соотношения толщин обода и спиц.

Следствием изменения размеров в результате усадки металл являются усадочные дефекты – раковины, макро- и микропористость.

Основными факторами влияющими на усадочные дефекты являются:

- конструкция формы (наличие охлаждающих вставок и их эффективность);
- конструкция литниковой системы;
- свойства формы;
- температура заливки;
- химический состав металла.

Для выравнивания скорости отвода тепла от спицы и обода, под обод был установлен холодильник (рис.2). Толщина холодильника изменялась $0 \leq x_n \leq 2R$. Таким образом определялось оптимальное значение толщины холодильника.

Материалом отливки выбран рекомендуемый стандартом для данного типа деталей серый чугун СЧ-20. Определена оптимальная литниковая система с тангенциальным подводом металла и горизонтальной линией разъема формы [1]. Материалом формы выбрана сухая песчано-глинистая смесь со следующими параметрами: теплоемкость формы изменяется в пределах 770-1160 кДж/(м³К) при температуре от 100 до 1000°C; теплопроводность формы изменяется в пределах 0,59-1,06 Вт/(мК) при температуре от 100 до 1400°C.

Температура заливки металла изменялась в интервале от 1300 до 1400 °C [2].

$$P = 83,6539 - 2,2848X - 0,1191Y + 0,229X^2 + 0,0013XY + 4,2516e^{-5}Y^2,$$

где X – толщина холодильника, мм; Y – температура заливки, °C.

Таблица 1

Зависимость пористости от температуры заливки и толщины холодильника

Толщина холодильника, мм	Температура заливки серого чугуна, °C					
	1300	1320	1340	1360	1380	1400
0	0,7942	0,7543	0,6735	0,3947	0,2122	0,2959
0,75	0,4803	0,37	0,2579	0,18	0,196	0,2468
15	0,4544	0,2577	0,15	0,08	0,0343	0,09
22,5	0,3154	0,2205	0,1241	0,0712	0,0621	0,0899
30	0,3379	0,24	0,15	0,0821	0,0647	0,079
37,5	0,3839	0,23	0,15	0,107	0,0687	0,079
45	0,3428	0,2298	0,1634	0,09	0,0687	0,0700
52,5	0,3222	0,1784	0,0846	0,0667	0,0541	0,06

Такая модель дает погрешность до 30%, что естественно, не удовлетворяет даже самым грубым оценкам усадочных дефектов.

Описать результаты эксперимента какой-либо стандартной функцией с необходимой точностью невозможно. Поэтому необходимо разбиение исходной совокупности значений на более простые группы. Для этого необходимо воспользоваться классификацией объектов по признакам. В решении таких задач очень часто прибегают к кластерному анализу.

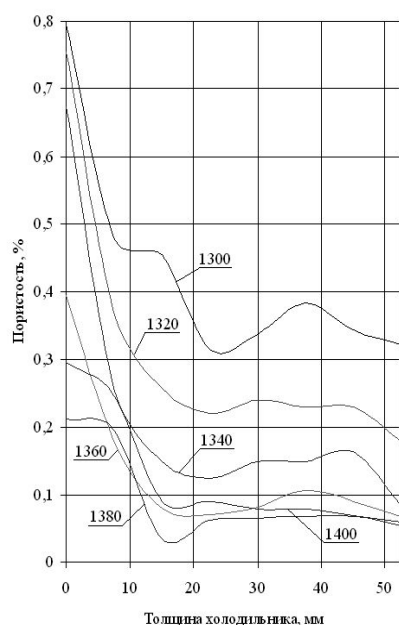


Рис.4 - Зависимость пористости от толщины холодильника и температуры заливки

В проведенной работе предварительная нормировка факторов осуществлялась в программном статистическом пакете STATISTICA по формуле:

$$z = \frac{x - \bar{x}}{\sigma},$$

где z – влияющий фактор (температура заливки, толщина холодильника); x – исходное значение; $\bar{x}$ и σ – соответственно среднее и средне квадратичное отклонение. Такое разбиение позволило выявить 4 группы на всем исследуемом пространстве. Остатки e_i , т.е. отклонение исходного значения исследуемого параметра от линии регрессии для этих групп имеют

нормальное распределение. Наличие сериальной корреляции в последовательности остатков e_i проверялось с помощью критерия Дарбина-Уотсона:

$$d = \sum_{i=2}^n \frac{(e_i - e_{i-1})^2}{Q_e},$$

где Q_e – остаточная сумма квадратов.

В зависимости от числа факторов (в рассматриваемой задаче их два) и количестве значений факторов (по восемь для каждого фактора) по таблице [3] определяем нижнюю 0,980 и верхнюю 1,54 точки критерия Дарбина-Уотсона. Полученные значения для всех групп приведены в табл.2.

Таблица 2

Значение критерия Дарбина-Уотсона			
1 группа	2 группа	3 группа	4 группа
1,5377	1,43	1,1068	0,9258

Для каждой группы построено разрешающая квадратичная зависимость для двухфакторного эксперимента:

$$\begin{cases} \Pi_1 = 66.24 + 0,237X - 0.096Y - 0.091X^2 - 6e^{-6}XY + 3.458e^{-5}Y^2 \\ \Pi_2 = 228.232 - 4.618X - 0.33Y - 0.39X^2 - 0.0029XY + 0.0001Y^2 \\ \Pi_3 = 111.20 + 2.44X - 0.16Y - 0.268X^2 - 0.0013XY + 6.14e^{-5}Y^2 \\ \Pi_4 = 52.25 + 2.46X - 0.074Y - 1.174X^2 - 0.003XY + 2.654e^{-5}Y^2 \end{cases}$$

Полученная система уравнений позволяет находить решения с допустимой погрешностью менее 5% (для большинства точек значения погрешности не превышает 1%).

Для проверки адекватности вычислительного эксперимента был проведен натурный эксперимент на типовой отливке. Результаты приведены на рис.5 и 6. На рис.5 видна образовавшаяся усадочная раковина в области ступицы, которая так же была получена при вычислительном эксперименте в САМ ЛП «Полигон» (рис.3). Твердость измерялась по центру тела ступицы. По результатам измерений видно уменьшение твердости к верху отливки, то же самое показала численная модель - количественное увеличение дефектов в рассматриваемой отливке. На рис.6 видно уменьшение твердости в вертикальном направлении, что, как и в первом случае соответствует результатам вычислительного эксперимента.

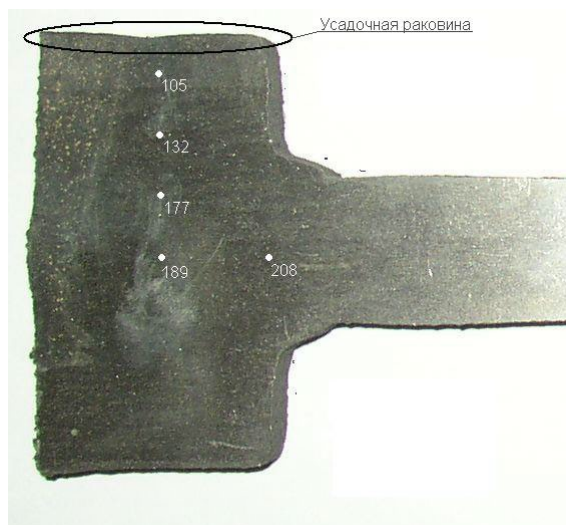


Рис.5 – Зона усадочной раковины и значение твердости (НВ) в ступице отливки

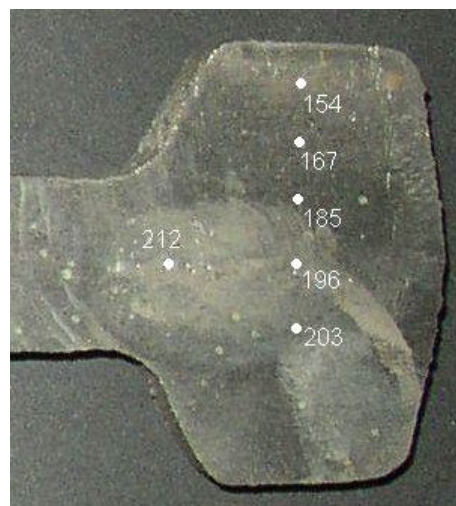


Рис.6 – Значение твердости в ободке отливки (НВ)

В результате вычислительного эксперимента по полученным данным была выбрана модель, описывающая с допустимой точностью процесс формирования пористости в чугунных отливках, получаемых литьем в песчано-глинистые формы. Такая модель позволяет определить значение усадочных дефектов в отливке без специализированных программных средств, сократить время на поиск оптимальных значений температуры заливки и толщин холодильников.

Литература

1. Щетинин А.В. Регулирование процесса охлаждения чугунных отливок в форме // А.В. Щетинин, Л.С. Печенкина, Т.И. Сушко // Вестник ВГТУ, Сер. Энергетика. – 2004. – Вып. 7.4. – С. 25 – 31.
2. Справочник по чугунному литью / Под. ред. д-ра техн. наук Н.Г.Гиршовича – 3-е изд., перераб. и доп. – Л.: Машиностроение. Ленинград. отд-ние, 1978 – 758 с.
3. Боровиков В. Искусство анализа данных на компьютере: Для профессионалов. 2-е изд. – СПб.: Питер. 2003. – 688 с.: ил.

Новые компьютерные технологии и перспективы развития моделирующих систем (2004-2005г).

Комаров И. А., (ООО «Фокад», Санкт-Петербург)

Наверное, всем пользователям хотелось бы иметь у себя в распоряжении самый лучший и самый быстрый компьютер для решения наших задач. Специфика моделирующих расчетов такова, что имеющихся мощностей всегда недостаточно для выполнения моделирования с желаемой степенью адекватности. Более быстрые компьютеры позволяют производить численные эксперименты лучше приближенные к реальности. Попробуем выяснить, какие именно технологические решения предлагаются компьютерной отрасли для создания все более мощных вычислительных машин.

В этом обзоре ограничимся рассмотрением только центральных процессоров (ЦП) новых поколений. Это обусловлено тем, что, во-первых, именно в этой области сейчас происходят весьма интересные изменения и, во-вторых, тем, что при решении задач моделирования именно быстродействие ЦП чаще всего играет решающую роль в общей производительности системы.

Последние несколько лет развитие процессоров происходило в одном направлении. Прежде всего, постоянно увеличивалась тактовая частота процессоров, что обеспечивало увеличение количества выполняемых операций за единицу времени. Кроме того, постепенно менялась архитектура процессоров: добавлялись новые команды, вводились новые регистры. В то же время следует заметить, что принципиально новых изменений не происходило с момента появления на рынке модели Intel 386. Именно начиная с этой модели, процессоры стали поддерживать 32-разрядные вычисления в защищенном режиме; фактически это ознаменовало наступление эпохи 32-разрядных операционных систем (ОС) Windows. Процессоры следующих поколений отличались для конечного пользователя лишь более быстрой работой привычных операционных систем и прикладных программ. Сейчас, однако, все меняется коренным образом.

Ведущие производители процессоров для настольных систем, фирмы Intel и AMD натолкнулись на технологические ограничения, которые делают невозможным ставшее уже привычным для нас наращивание тактовой частоты. Это вынудило их прорабатывать альтернативные варианты повышения производительности систем и к настоящему времени нам предложены две принципиально новые технологии: 64-битные и многоядерные процессоры. Заметим, что для серверных систем 64-битные процессоры стали уже делом привычным, но в сегменте настольных систем они появились только сейчас. Что же стоит за этими названиями, и как они повлияют на моделирование?

Сразу стоит отметить, что имеет смысл в общих чертах разобраться с этими технологиями, хотя бы для того, чтобы аргументировано подходить к выбору нового компьютера. В ближайшее время поставщики компьютерной техники предложат большое разнообразие систем на основе новых процессоров и, выбирая компьютер, надо представлять себе, за что конкретно будут заплачены деньги, и какую пользу та или иная технология, в конечном счете, принесет. Рассмотрим основные критерии выбора.

Уже сейчас можно купить **процессор с поддержкой 64-битных вычислений**. Но не следует думать, что увеличение в два раза разрядности процессора автоматически означает соответствующий прирост производительности. Это не так. Более того, по скорости вычислений 64-битная технология сама по себе не обещает никакого преимущества. Главное преимущество, которое она дает – возможность адресовать практически неограниченное количество оперативной памяти, в отличие от весьма ощутимой для 32-разрядных процессоров границы в 4Гб. Конкретно фирма Intel, например, гарантирует поддержку не менее 64Гб оперативной памяти новыми процессорами. Так что если Ваши задачи требуют при расчете несколько гигабайт памяти – то эта технология для Вас. Если нет – то, вероятно, вложить деньги можно более рациональным образом.

Немного технических подробностей. Новые 64-битные процессоры поддерживают 3 режима работы:

- 32-разрядный режим – режим полной обратной совместимости со «старыми» процессорами. В данном режиме процессор может работать под управлением 32-разрядной операционной системы и прозрачно поддерживает все имеющиеся приложения. Однако под управлением 32-разрядной ОС получить доступ к новым ресурсам процессора невозможно.
- 64-разрядный совместимый режим. Подразумевается, что в этом режиме процессор функционирует под управлением уже 64-разрядной операционной системы, но может выполнять «старые», 32 разрядные программы.
- Полностью 64-разрядный режим. Для работы в этом режиме требуется 64-битная ОС и переработанные соответствующим образом приложения.

Отметим, что для получения доступа к 64-разрядным возможностям нужна 64-разрядная ОС. Кроме поддержки большего количества оперативной памяти в этих процессорах есть еще некоторые усовершенствования. В частности, регистры общего назначения расширены до 64 бит, кроме того, их количество возросло вдвое – до 16. Также до 16 увеличено и количество MMX регистров. Потенциально за счет этого можно получить некоторый прирост производительности, но только при соответствующей поддержке со стороны программного обеспечения. Какое-то время производители

программного обеспечения не смогут предлагать обновленные продукты просто потому, что не будут достаточно распространены компиляторы, умеющие работать с новой регистровой моделью процессоров. Делая общее заключение, можно предположить, что ждать существенного прироста производительности от замены компьютера на 64-разрядный не следует. В лучшем случае он будет составлять 15-20%, о чем свидетельствуют проводимые тесты.

Второе серьезное изменение в стратегии повышения производительности – разработка **многоядерных процессоров**. Системы на основе многоядерных процессоров будут представлять собой практически полный аналог симметричных многопроцессорных систем. Сейчас фирмами Intel и AMD предлагаются двухъядерные процессоры, а в перспективе число ядер на процессоре будет увеличиваться – 4, 8 и т.д. Несомненно, с точки зрения повышения быстродействия вычислительных задач это усовершенствование является более полезным, чем поддержка 64-битного адресного пространства. Но, как и в предыдущем случае, само собой быстродействие моделирующих программ не улучшится. Более того, если обеспечить формальную поддержку 64-битных вычислений сравнительно легко, то для использования многоядерности процессора необходимо коренным образом перерабатывать программное обеспечение. Обычное, однопоточное, приложение будет работать на многоядерном процессоре с такой же скоростью, как и на аналогичном одноядерном. И даже формально многопоточное приложение может не давать ожидаемого прироста производительности.

Для того чтобы лучше понять последнее утверждение, следует вспомнить, что зачастую общая производительность системы определяется не быстродействием самого процессора, а производительностью шины данных: в большинстве реальных задач процессор может обрабатывать данные существенно быстрее, чем они поступают на обработку. Таким образом, два процессора, подключенные к общей шине данных (архитектура многоядерных процессоров Intel) не смогут произвести вычисление быстрее, чем один – «узким местом» все равно будет являться оперативная память. На этом фоне сейчас более перспективными выглядят процессоры AMD с отдельным подключением каждого ядра к оперативной памяти. Тем не менее, при грамотном построении алгоритмов, можно свести к минимуму подобные негативные явления.

К чему такие технические подробности? Дело в следующем. Пока проектирование грамотных многопоточных приложений не станет общепринятой нормой, не приходится ждать увеличения производительности вычислений на многоядерных процессорах соответственно количеству ядер на процессоре (а в перспективе, теоретически, можно стремиться именно к этому). Кроме того, декларируемая производителем программно-

го обеспечения поддержка многопоточности на деле может не дать существенного ускорения. Формально такая программа будет являться многопоточной, но из-за несоответствия алгоритмов решения особенностям архитектуры многоядерных процессоров, не сможет рационально использовать их потенциальную вычислительную мощность. Выход тут может быть только один – если Вас всерьез интересует, насколько быстро будут выполняться расчеты на многоядерном процессоре, необходимо протестировать Ваше, конкретное, приложение на таком процессоре. Предсказать заранее, будет ли оправдано использование такого процессора, невозможно. А к заверениям производителей программного обеспечения следует относиться скептически.

Есть еще один момент, о котором стоит упомянуть. У многоядерного процессора всегда неоспоримое преимущество над одноядерным, заключающееся в том, что на нем можно производить несколько расчетов одновременно без потери суммарной производительности системы. Или, как вариант, одновременно с проведением ресурсоемкого расчета, можно использовать компьютер для других целей – готовить данные, просматривать полученные результаты и т.п.

Выводы. 64-битная архитектура постепенно будет распространяться на настольные компьютеры, но не следует на нее рассчитывать, как на средство ускорения расчетов. Всерьез она будет полезна лишь в тех случаях, когда для расчета требуется огромное количество оперативной памяти – более 2-4 гигабайт.

Многоядерные процессоры с одной стороны теоретически способны многократно повысить скорость выполнения расчетов, но с другой – это произойдет только в случае грамотной поддержки таких процессоров со стороны программного обеспечения, но никак не само по себе. Выяснить, насколько быстрее конкретная программа будет работать на таком процессоре можно только одним способом – тестированием.

Современный подход к изготовлению литейной оснастки. *Плаксина А.Е., Денисов Л.Ю. (ООО «Фокад»)*

Ни для кого не секрет, что в настоящее время любое предприятие, пытающееся выжить в рыночных условиях, должно действовать по двум направлениям:

1. Повышать объем реализации своей продукции.
2. Снижать затраты на производство продукции.

Литейное производство здесь не исключение. В силу своей специфики подготовка производства в литье является наиболее длительным процессом. А в условиях мелкосерийного производства, является фактором, значительно влияющим на конечную цену изделия. Наиболее трудоемкая и дорогостоящая часть подготовки производства - это разработка литейной технологии, проектирование и изготовление литейной оснастки.

Кроме того, качество изготовления литейной оснастки определяет часто и качество литья, а значит и его стоимость. Скорость изготовления оснастки является также немаловажным фактором.

В настоящее время в связи с бурным развитием информационных технологий, вычислительной техники и станков с числовым программным управлением (ЧПУ) появилась возможность использовать совсем другие подходы на этапе подготовки производства.

Рассмотрим современный подход этапа разработки литейной технологии, проектированию и изготовлению литейной оснастки.

Основные стадии:

- Построение трёхмерной компьютерной модели отливки
- Согласование чертежа отливки с заказчиком
- Компьютерное проектирование литейной технологии
- Оптимизация литейной технологии с использованием СКМ «ПОЛИГОН»
- Создание 3D моделей элементов литейной оснастки
- Обработка формообразующих поверхностей на станках с ЧПУ по 3D моделям оснастки
- Сборка литейной оснастки

Более подробно наш подход рассмотрим на примере отливки из алюминиевого сплава, получаемой литьем по выплавляемым моделям.

Построение объемной модели:

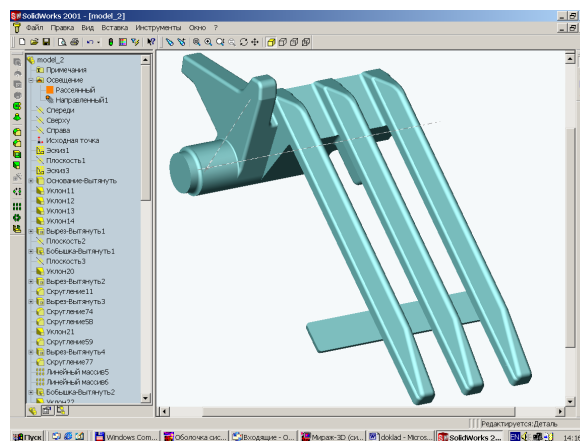
- по чертежу детали, полученному от заказчика, строится 3D модель отливки с учетом технологических элементов (уклонами, припусками, литниками, усадкой и д.т.);
- выпускается чертеж отливки. Чертеж имеет ассоциативные связи с объемной моделью. (Т.е. если изменяется модель, то автоматически изменяет-

ся чертеж, следовательно, сокращаются трудозатраты на выпуск чертежа отливки);

Согласование чертежа отливки с заказчиком.

Готовый чертеж отливки отправляется заказчику на согласование. Это важный момент, т.к. приемка заказа будет происходить по согласованному чертежу. В данном проекте при согласовании заказчик потребовал добавить к отливке технологическую перемычку между зубьями для предотвращения коробления восковой модели и отливки (см. рис.1).

Общее время построения объемной модели отливки и всех операций при согласовании составило 5 рабочих дней. Из них 3 дня ушло на согласование чертежей с заказчиком.



Компьютерное проектирование литейной технологии Рис.1

На этой стадии, при необходимости, мы можем провести компьютерное моделирование литейной технологии с помощью, представленной в предыдущих статьях, системы ПОЛИГОН. Когда мы уверены в годности технологии, приступаем к проектированию пресс-формы.

После получения конфигурации полуматриц производится их виртуальная сборка, добавляются необходимые крепежные и фиксирующие элементы, толкатели и пр. можно провести проверку на извлекаемость модели. В данном случае (см. рис.2) извлечение модели из пресс-формы, без повреждения модели, не возможно. В связи с этим были внесены некоторые изменения. На рис.3 представлен окончательный вариант.

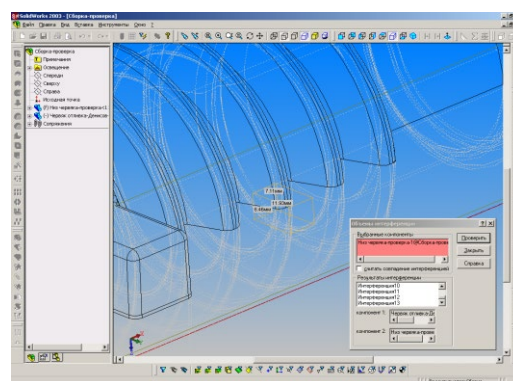


Рис. 2

Полученные модели элементов пресс-формы передаются в систему для генерации управляющих программ обработки для станка с ЧПУ. Затем формообразующие поверхности обрабатываются на 3-х координатном фрезерном станке (станки «Декел» и «Вабеко», Германия).

И в заключение, хотелось бы отметить явные преимущества предлагаемого подхода:

- Сокращение сроков за счёт устранения «бумажной» стадии на этапе проектирования

- Возможность оптимизации литейной технологии на этапе проектирования за счёт применения системы компьютерного анализа
- Сокращение количества элементов оснастки за счёт возможности получения сложнопрофильных поверхностей в одном элементе
- Получение оснастки с высокими точностью и качеством поверхности устраняет трудоёмкую стадию ручной доводки

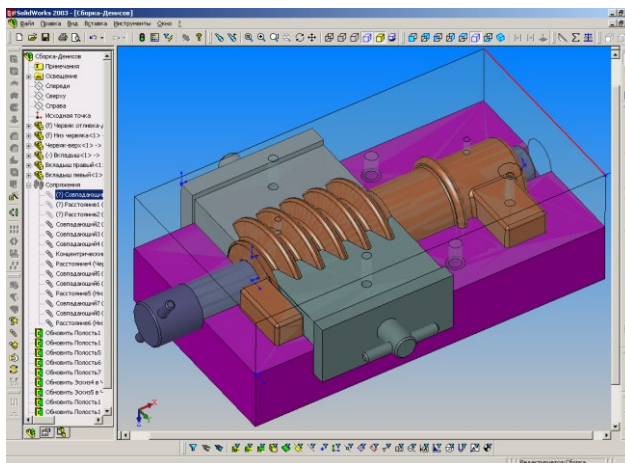


Рис.3

Проектирование литниково-питающей системы при литье по выплавленным моделям

Ребонен В.Н. (ФГУП ЦНИИМ, Санкт-Петербург)

Прообразом современных процессов литья по выплавленным моделям (ЛВМ) является метод восковой формовки, по которой лили колокола, детали оружия, украшения и т.п. За прошедшее время метод не только претерпел существенные изменения, но и приобрел промышленное значение и расширился за счет применения различных методов воздействия на формирование формы и отливки, применения большей номенклатуры формовочных материалов и металлов, технологических приемов и т.д.

В настоящее время можно выделить более 70 разновидностей технологического процесса. На каждом отдельном предприятии применяется не более 3...4 разновидностей ЛВМ. Все разновидности объединяют единые представления об изготовлении выплавленной модели, о кинетике заполнения и затвердевания металла, о формировании дефектов а также терминология .

К сожалению, приходится констатировать, что высококвалифицированных технологов-литейщиков становится все меньше из-за непривлекательности работы и низкой зарплаты. Приходящие им на смену не имеют большого опыта в разработке технологии и пользуются скорее интуицией, чем устоявшимися положениями литья по ЛВМ. В связи с этим представляется целесообразным еще раз напомнить об основных принципах разработки технологии ЛВМ, об известных уже методах расчета литниково-питающей системы, дефектах литья и т.п.

Необходимо отметить, что в состав литниково-питающей системы кроме воронки, стояка, литников, питателей, прибылей входят также зумпф, шлаковик, шлакоуловитель, выпор без применения, которых маловероятно получение качественной отливки. К сожалению, в практике разработки технологии ЛВМ эти элементы используются достаточно редко. Кроме того, цеховые технологи применяют только тот вид модельного блока, который использовался в производстве ранее, забывая, например, что наряду с традиционно применяемым стояком могут быть использованы горизонтальные и вертикальные коллекторы в виде балок, радиальных лучей, дисков, колец и т.п. Часто забывается такое теплофизически обоснованное понятие, как «приведенная» толщина стенки отливки или «приведенная» толщина узла, представляющие отношение объема отливки или узла к площади теплоотводящей поверхности. Хотя на этих показателях основаны все расчеты элементов литниково-питающей системы.

При оценке дефектов отливки спай (неслитину) или плену отождествляют с холодной трещиной, утяжину с горячей трещиной, шлаковые раковины – с газоусадочными и т.д. Правильные подходы к разработке

технологии ЛВМ и виды дефектов подробно изложены в общедоступной книге [1], а также в периодической литературе.

В заводской практике наблюдаются случаи, когда приведенная толщина питателя меньше приведенной толщины питаемого узла, что недопустимо. Размеры элементов питающей системы должны быть определены по формулам, приводимым в упомянутой литературе. Во всех случаях толщина питателя должна быть больше толщины теплового узла, а толщина стояка – больше толщины питателя не менее, чем в 1,15 раза (под толщиной элемента понимается приведенная толщина).

Длина питателя должна быть минимальной – 5...15 мм. Если длину питателя увеличивают, то необходимо увеличивать и площадь его сечения, сохраняя приведенную толщину питателя на уровне расчетной.

Объем цилиндрической прибыли ($V_{пр}$ в см³) в первом приближении можно рассчитать по формуле:

$$V_{пр} = 200 R_y + 0,2 V_y;$$

где R_y – приведенная толщина узла в см; V_y – объем узла в см³.

Высота прибыли принимается в 1,25 – 1,5 раза больше ее диаметра. При литье тонкостенных деталей (стенка менее 5 мм) вопросы питания отходят на второй план. Основным становится заполнение тонких стенок. Необходимая скорость заливки, обеспечивающая заполнение наиболее тонкой стенки составляет:

$$Q = 0,05 \dots 0,08 l/a,$$

где Q – скорость заливки в кг/см; l – протяженность стенки в мм; a – толщина стенки в мм.

Если одновременно заполняются несколько отливок, расположенных на одном уровне, то скорость заливки должна быть во столько же раз выше. Применение зумпфа длиной около 40 мм, позволяет избежать незаполняемость нижнего ряда отливок и избежать попадания в рабочую полость формы первых, наиболее холодных и загрязненных порций металла. Удаление и изоляция инородных включений и шлака достигается применением шлаковика, шлакоуловителя, суженного сечения стояка и фильтров.

При литье пленообразующих сплавов рекомендуют поддерживать скорость подъема металла в форме не менее 40 мм/сек, так как во время заполнения происходит окисление поверхности потока и образование вторичных плен.

Соблюдая перечисленное и другие, указанные в литературе параметры ЛВМ удастся получать отливки с высоким качеством поверхности, высокой плотностью и минимальным браком.

Литература

1. «Литье по выплавляемым моделям», под общ. ред. Я.И.Шклянника и В.А.Озерова. Москва. Машиностроение. 1971, 1984г.г.

Опыт получения литых рабочих колес литьем по выплавляемым моделям с использованием керамических стержней.
Сабиров Д.Х. Денисов Л.Ю. (ООО «Фокад», Санкт-Петербург)

В конце 2004 года у одного из наших заказчиков возникла необходимость изготовить опытную партию из 5 пар отливок (правых и левых) рабочих колес диаметром 170 мм из нержавеющей стали. В связи с тем, что объем заказа небольшой, крупные предприятия, имеющие опыт изготовления подобных колес, необходимое оборудование и квалифицированный персонал отказались от выполнения заказа. Кроме этого имелась еще одна проблема. Она заключалась в том, что у заказчика не было чертежей собственно лопаток рабочих колеса, а имелись лишь чертежи для механической обработки.

Предварительно заказчик обратился к нам по вопросу проектирования и изготовления оснастки. Во время проведения переговоров мы решили, кроме изготовления пресс-форм, изготовить отливки, используя производственную базу ЦНИИМатериалов. Необходимо отметить что в 80-х годах ЦНИИМ имел все необходимые условия для выполнения такого заказа- оборудование и персонал. Конечно, здесь никогда не изготавливались отливки в промышленных масштабах. Однако такой заказ ЦНИИМ выполнил бы без труда. Однако за прошедшие 15 лет ситуация в корне поменялась. Имеющиеся специалисты ушли, новых не прибавилось, большая часть оборудования пришла в негодность. Нам предстояло в части изготовления литья провести большую организаторскую работу: собрать различных специалистов и оборудование в единое целое, пускай даже и временно. Задача осложнялась тем, что время на выполнение всего заказа было отпущено 3 месяца. Однако в связи с тем что эта работа лежала в русле дальнейшего развития предприятия, а мы хотим в дальнейшем у себя еще и изготавливать отливки, мы решили взяться за нее.

Изготавливать отливки решили методом литья по выплавляемым моделям. Внутренние полости лопаток решили оформлять керамическими стержнями, изготовленными низкотемпературной формовкой. Соответственно, для этого необходимо было изготовить 2 пресс-формы (правую и левую) и два стержневых ящика.

Первый шаг, как и для любой пресс-формы это построение объемной модели отливки и согласование чертежа отливок. В данном случае это задача осложнилась тем, что у нас отсутствовали оцифрованные чертежи профиля лопаток, а имелись лишь линии их проекций. Однако, используя оцифрованные линии проекций, удалось восстановить геометрию лопаток. Геометрическое моделирование проводилось в CAD системе Solidworks. Объемная модель представлена на рис.1.

Следующий этап – проектирование пресс-формы и стержневого ящика. Используя полости отливки, были получена объемная модель формообразующих частей стержня. Затем к ней были добавлены знаковые части, и была получена объемная модель стержня (рис.2). Сделав сборку стержней и отливки, мы получаем полость пресс-формы и вычитанием получаем полуматрицы (рис.3).

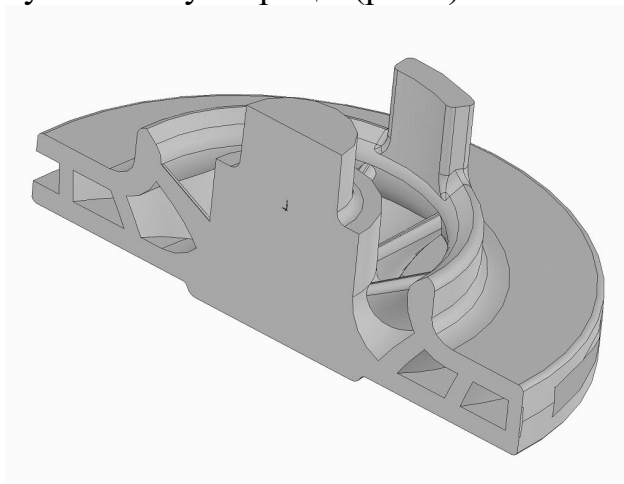


Рис1. Объемная модель отливки «Рабочее колесо». (Половина модели отсечена)



Рис. 2. Объемная модель стержня для отливки «Рабочее колесо».

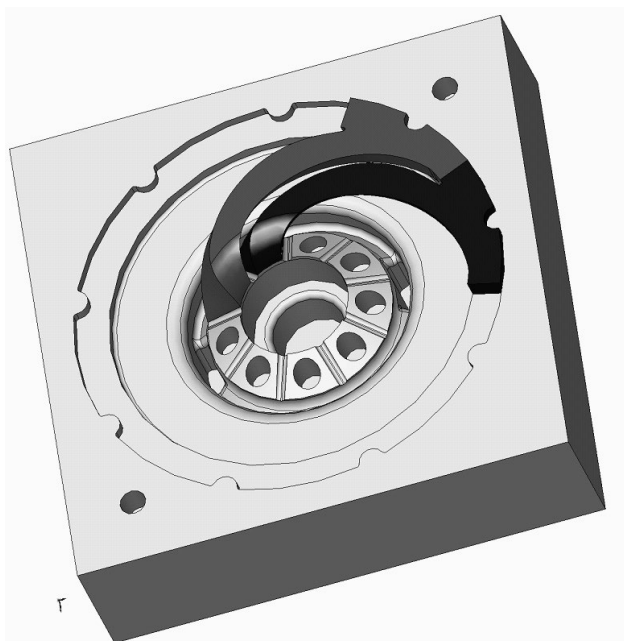


Рис. 3. Объемная модель сборки полуматрицы со стержнями.

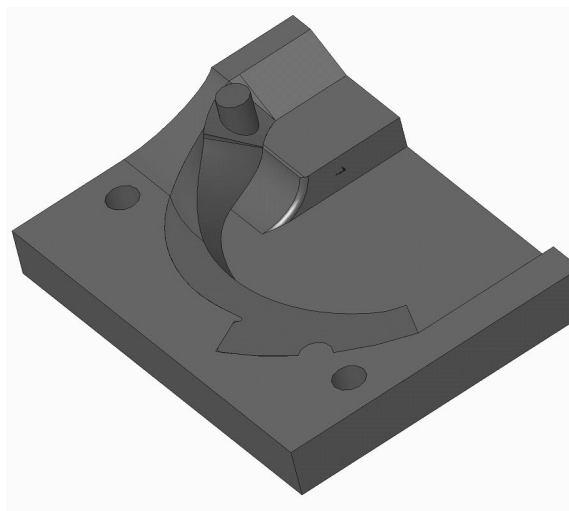


Рис. 4. Объемная модель половины стержневого ящика со стержнем.

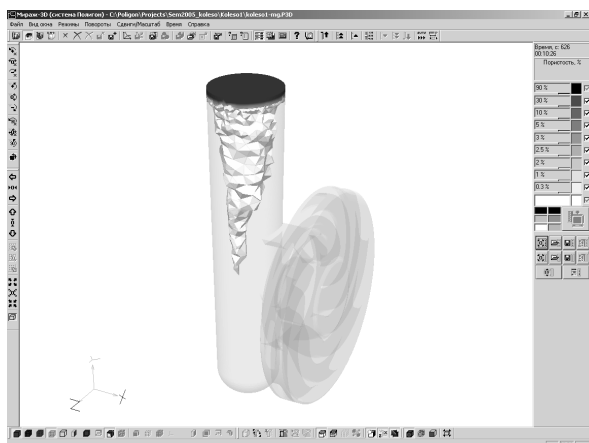


Рис. 5. Зоны с пористостью выше 1% для отливки с вертикальным расположением.

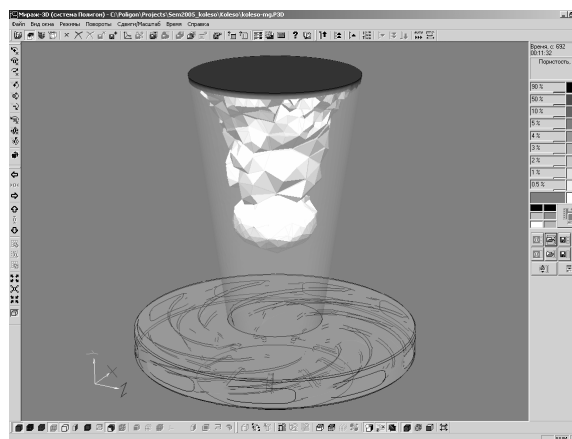


Рис. 6. Зоны с пористостью выше 1% для отливки с горизонтальным расположением

Затем надо было спроектировать стержневой ящик, имея объемную модель стержня. Технология здесь аналогична. Ситуация немного осложнилась тем что линия разреза стержневого ящика не лежит в плоскости. Однако это не помешало в результате получить полость стержневого ящика, а затем две половинки его (рис.4).

Параллельно с проектированием оснастки шло моделирование литейных процессов для подбора оптимальной литейной технологии. Предлагалось принципиально две схемы: с горизонтальным расположением колеса с заливкой через прибыль и вертикальным расположением с заливкой через стояк с тремя питателями. Результаты моделирования по разным технологиям показаны на рис. 5 и 6. Т.к. отливка достаточно равностенная, а прибыль в обоих вариантах достаточно массивная, проблем с питанием отливок не должно было возникнуть. Это и показали результаты компьютерного моделирования.

Основные трудности, как и предполагалось, начались на этапе изготовления отливки. Планировалось все изготавливать по традиционной технологии. Заготовки стержней прокаливались 2 часа при температуре 850°C, при котором они приобретали необходимую прочность. Затем собиралась пресс-форма со стержнями и запрессовывался модельный состав. Затем получали корочку из плавленого кварца, прокаливали ее при температуре 900°C. Затем корочку заформовывали в опоку, прогревали до 750-800°C и заливали расплав при температуре 1600°C. Основные моменты изготовления моделей показаны на рис.7.

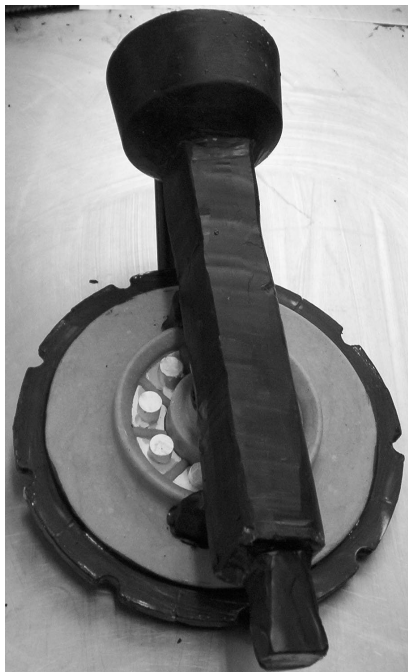


Рис. 7. Собранный куст по вертикальной технологии



Рис. 8. Брак корочки

Первые проблемы появились на этапе изготовления стержней. Выяснилось, что температура спекания 850°C недостаточна для обеспечения необходимой прочности для таких условий запрессовки. Ввиду того, что стержень имеет в некоторых местах относительно тонкое сечение, модельный состав при запрессовке ломает некоторые из них. Самое неприятное, что это не видно сразу после запрессовки. Снаружи все выглядит замечательно, а брак выявляется только после заливки и выбивки отливок. Для устранения этих дефектов пришлось не запрессовывать модель, а использовать свободную заливку. Это привело к дополнительным трудозатратам при изготовлении куста, но в целом проблему решило.

Имелись также трудности при изготовлении корочки. Выяснилось, что существуют места в районе знаковых частей, которые плохо обсыпаясь во время изготовления корочек. Это приводило к характерным дефектам, показанным на Рис.8. Для устранения дефектов пришлось уделять дополнительное внимание этим местам.

Кроме того, имелись определенные проблемы с выбивкой стержней. Обычная технология выщелачивания в кипящей щелочи была мало результативна, т.к. щелочь слабо поступает в глубины стержня. Приходилось предварительно, высверливать стержни насколько позволяла геометрия, а затем выщелачивать.

В целом все проблемы удалось решить и сдать отливки в срок.

Проектирование литейной технологии в САД-системах при подготовке студентов-литейщиков

*Ердаков И.Н., канд. техн. наук, доцент.
(Южно-уральский государственный университет, г. Челябинск)*

В связи с усложнением профессиональной деятельности происходит изменение и процесса обучения будущих специалистов. В ВУЗах вводится новая двухуровневая модель обучения: бакалавр → инженер или магистр. В этой связи претерпевают изменения и учебные планы, в том числе и по курсу систем автоматизированного проектирования (САПР). Для каждой ступени образования курс САПР следует рассматривать как двухуровневую модель, где на каждом уровне ставится задача – сформировать у студентов соответствующие навыки и умения (рис.1).



Рис.1—Модель двухуровневого обучения по курсу САПР

На первом уровне бакалавра у студентов должны сформироваться навыки самостоятельной разработки электронной чертежной документации. На втором уровне инженера или магистра предполагается сформировать навыки создания электронных чертежей при помощи компьютерных трехмерных тел проектируемых деталей, которые предварительно подвергаются инженерным расчетам на ЭВМ. Полученные навыки также дополняются умениями автоматизированного проектирования литейной модельной оснастки.

Вузовское обучение включает теоретический курс и практику на предприятиях, соответствующего профиля. Как правило, студенты проходят основные виды практик на одних и тех же предприятиях. Поэтому материалы практики и приобретаемые знания во время обучения должны позволить студентам дифференцировано и методично совершенствовать

реальный технологический процесс, с которым они ознакомились на производстве.

Первый этап совершенствования базовой заводской технологии изготовления детали осуществляется в квалификационной работе бакалавра. Второй и третий этап на уровне инженера (магистра). Во время преддипломного проектирования появляется возможность корректировки студенческого проекта и качественного усовершенствования (модернизации) базового технологического процесса. Многоуровневая схема совершенствования и качественного улучшения студентами реальных технологий во время обучения представлена на рис.2.

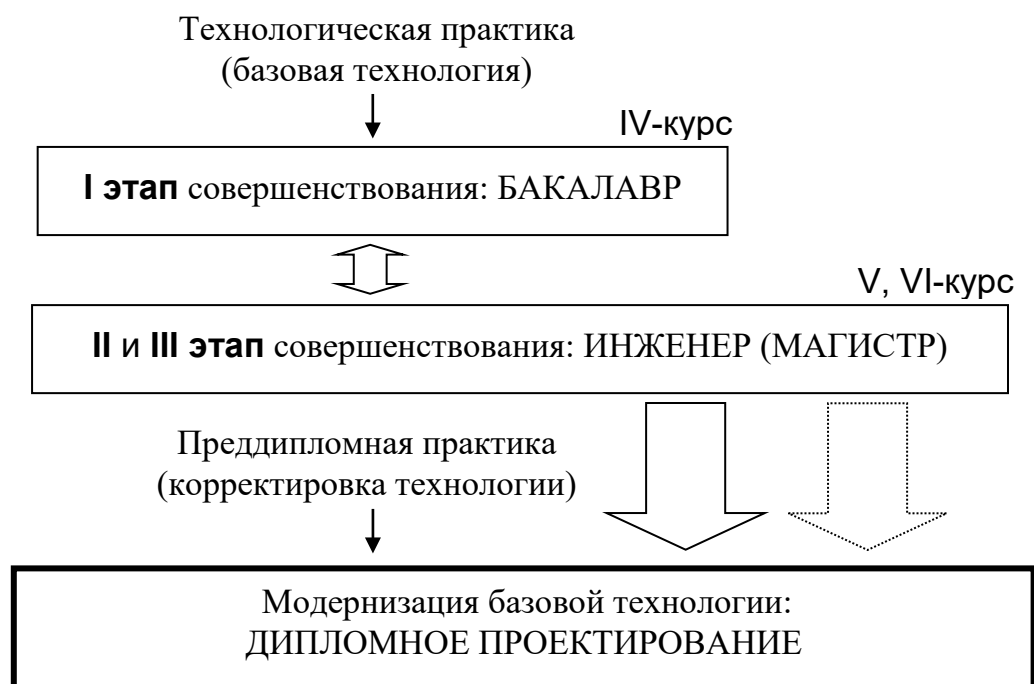


Рис.2—Многоуровневая схема совершенствования и модернизации студентами реальных технологий в процессе обучения

Результатом объединения указанных выше схем является сквозная модель использования САД-систем в учебном процессе подготовки студентов, например, по специальности «Литейное производство черных и цветных металлов» в Южно-уральском государственном университете (ЮУрГУ) (рис.3).

На первом уровне студенты в курсе компьютерной графики или компьютерного проектирования литых деталей создают электронный аналог (заготовку) чертежа отливки с элементами литейной формы. Индивидуальную технологическую документацию и чертежи реальной отливки студенты берут во время производственной практики на соответствующую

щих предприятиях. Разработка чертежа ведется в системе T-FLEX CAD 2D с модулем «ОТЛИВКА».



Рис.3—Сквозная модель использования CAD-систем в учебном процессе

На лекционных занятиях по САПР рассматриваются основные понятия и принципы проектирования литейной технологии. Изучаются правила графического обозначения чертежа отливки по ГОСТ 3212–92, а также методы построения электронных чертежей, к которым относятся метод, представляющий собой аналогию черчения на бумаге, и метод, использующий элементы построения, где строится каркас чертежа с последующим нанесением на него линий изображения.

На практических занятиях при помощи модуля «ОТЛИВКА» уточняется класс точности отливки, элементы литой детали, назначаются припуски на механическую обработку, формовочные и технологические уклоны. После чего средствами T-FLEX CAD 2D наносится литейная технология на электронный чертеж в соответствии с требованиями ГОСТ 3212–92.

Полученный электронный вариант чертежа заводской литейной технологии, навыки работы в CAD-системе T-FLEX 2D позволяют студентам в дальнейшем самостоятельно и быстро оформить чертежную документацию для выпускной квалификационной работы бакалавра. Пример чертежа отливки «Цилиндр колесный» с элементами литейной формы, разработанный студентом в T-FLEX CAD 2D представлен на рис.4.

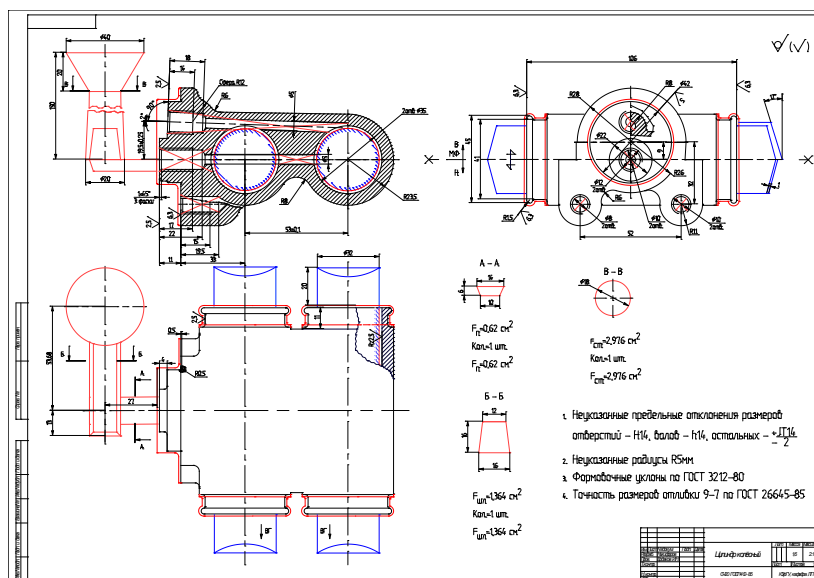


Рис.4—Чертеж отливки «Цилиндр колесный» и элементов литейной формы, разработанный студентом в T-FLEX CAD 2D

На втором уровне обучения САПР в курсе «Компьютерные технологии в литейном производстве» предусмотрено твердотельное трехмерное проектирование отливки и литейной формы в таких CAD-системах, как КОМПАС 3D и T-FLEX 3D. За время обучения студенты получают представления о трехмерных CAD-системах, знакомятся с твердотельным моделированием, методами построения сборок и формируют навыки построения 3D тел.

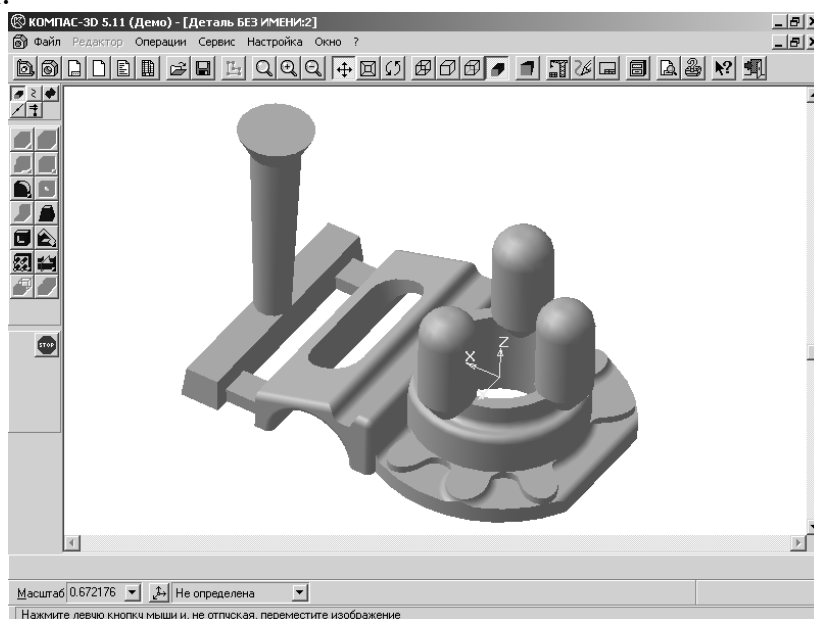


Рис.5—Отливка «Крышка» с элементами литейной формы, выполненная студентом в CAD-системе КОМПАС 3D

Заданием на проектирование является электронный чертеж технологии изготовления отливки выпускной работы бакалавра. При этом отливка с элементами литейной формы может строиться как одно 3D тело или представлять собой 3D сборку отдельно построенных деталей: отливки, литниковой системы, прибыли и выпоров. В последнем случае, появляется возможность создать базу данных указанных элементов и ускорить процесс проектирования типовых литейных форм. Отливка «Крышка» с элементами литейной формы, выполненная студентом в САД-системе КОМПАС 3D показана на рис.5.

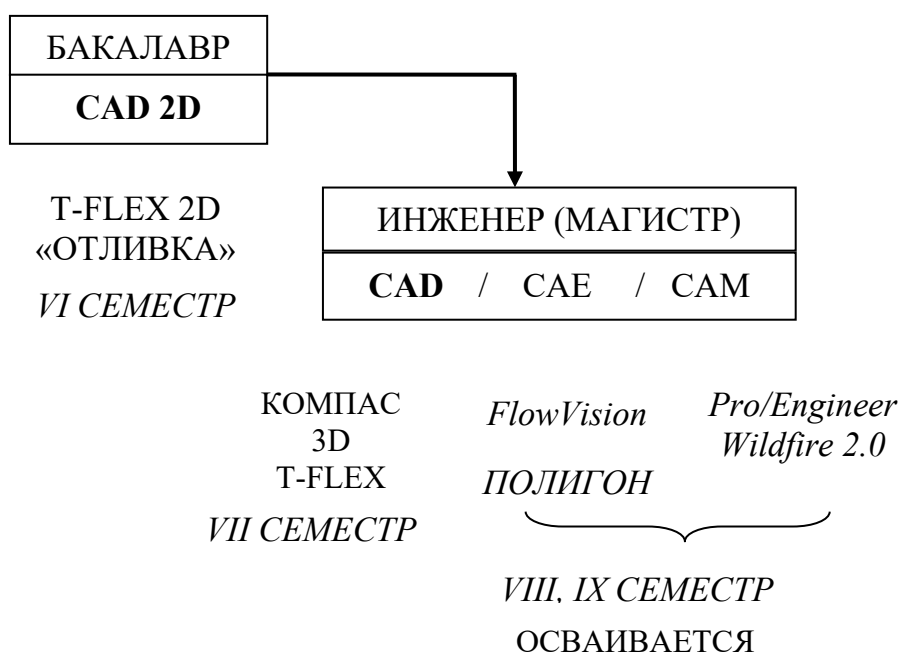


Рис.6—Сквозная модель проектирования
чертежной документации в САД-системах при подготовке
студентов-литейщиков ЮУрГУ

После построения трехмерной отливки и формы осуществляется инженерный компьютерный анализ технологии ее изготовления, проектируется литейная оснастка. Лекционный материал посвящен теоретическим подходам моделирования литейных процессов: понятию вычислительного эксперимента, методу конечных разностей, методу конечных элементов и методу граничных объемов, а на практике студенты осваивают САПР «FlowVision» и «ПОЛИГОН». Прделанные вычислительные исследования и знания специальных предметов обеспечивают дальнейшее совершенствование (II-этап) технологии изготовления индивидуальной отливки и соответствующие изменения в электронной чертежной документации. Проектирование литейной модельной оснастки ведется в автоматизиро-

ванной системе Pro/Engineer *Wildfire* (III-этап модернизации базовой технологии).

Предложенная сквозная модель проектирования чертежной документации в САД-системах при подготовке студентов-литейщиков успешно реализуется на физико-металлургическом факультете ЮУрГУ на кафедре литейного производства (рис.6).

На данный момент заканчивается освоение систем компьютерного моделирования литейных процессов: заполнение литейных форм «FlowVision» и затвердевание отливок «ПОЛИГОН», а также русифицированной версии САПР Pro/Engineer *Wildfire 2.0*.

Подводя итог, отметим, что предложенная сквозная схема использования САД-систем в учебном процессе позволяет динамично и наглядно проектировать реальный технологический процесс изготовления отливки за время обучения в ВУЗе, а будущим выпускникам быстро и самостоятельно адаптироваться на предприятиях, применяющих САПР.