

Иоффе М.А., Фарисов Р.Д., Хайруллин М.Р., Бройтман О.А.  
(ООО «Литьё сервис», г. Санкт-Петербург; ПАО «КАМАЗ» Литейный завод,  
г. Набережные Челны; ООО «ВНИЦТТ», г. Санкт-Петербург)

### Выбор технологических параметров изготовления композиционных отливок

Изготовление композиционных декоративных изделий из чугунных литых и стальных пластически обработанных элементов [1] позволяет обеспечить высокий уровень их художественной выразительности и минимизировать затраты. Жидкофазные способы получения композиционных материалов с использованием литейных технологий обладают рядом существенных преимуществ по сравнению с твердофазными, к числу которых относятся возможность изготовления декоративных изделий сложной конфигурации с минимальной последующей обработкой, широкая номенклатура элементов, используемых для создания изделий, относительно несложное машинно-аппаратурное обеспечение и др.

В рамках настоящей работы изучали процессы формирования переходной зоны и качество соединения жидкофазных чугунных и твердофазных стальных элементов. Опытная отливка, представляющая собой комбинацию литого чугунного шара и стальной трубы, и конструкция литейной формы показаны на рис. 1.

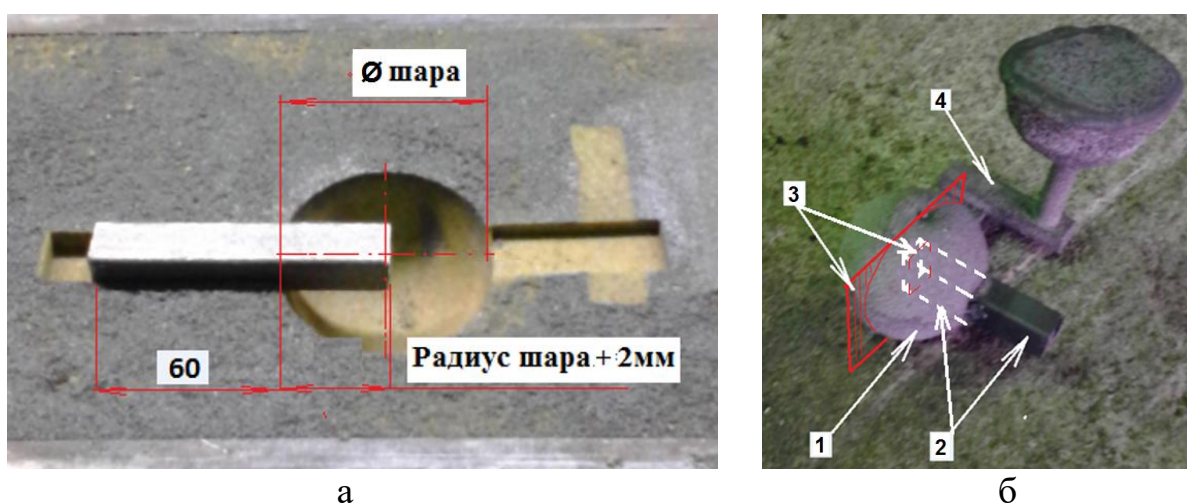


Рис. 1. Нижняя полуформа с установленным стальным элементом (а)  
и опытная отливка (б): 1 – литой чугунный шар;  
2 – стальная труба (контур трубы в теле отливки показан пунктиром);  
3 – плоскость для вырезки заготовки под шлиф; 4 – литейная система

Трубу квадратного сечения 1,5x20x20 мм ГОСТ 13663-86 из стали марки 30 ГОСТ 1050-88 перед установкой в форму подвергали дробеструйной очистке. Форму изготавливали из смеси на основе кварцевого песка (100% мас.) со смоляным связующим КФ (2,5%), отверждаемым ортофосфорной кислотой (0,5%). Заливку форм осуществляли чугуном двух марок СЧ25 ГОСТ 1412-85 и ВЧ50 ГОСТ 7293-85. Диаметр литого чугунного шара варьировали в диапазоне

от 40 до 80 мм, температуру заливки СЧ25 – в пределах от 1340 до 1370°С, температура заливки ВЧ50 составляла 1450°С.

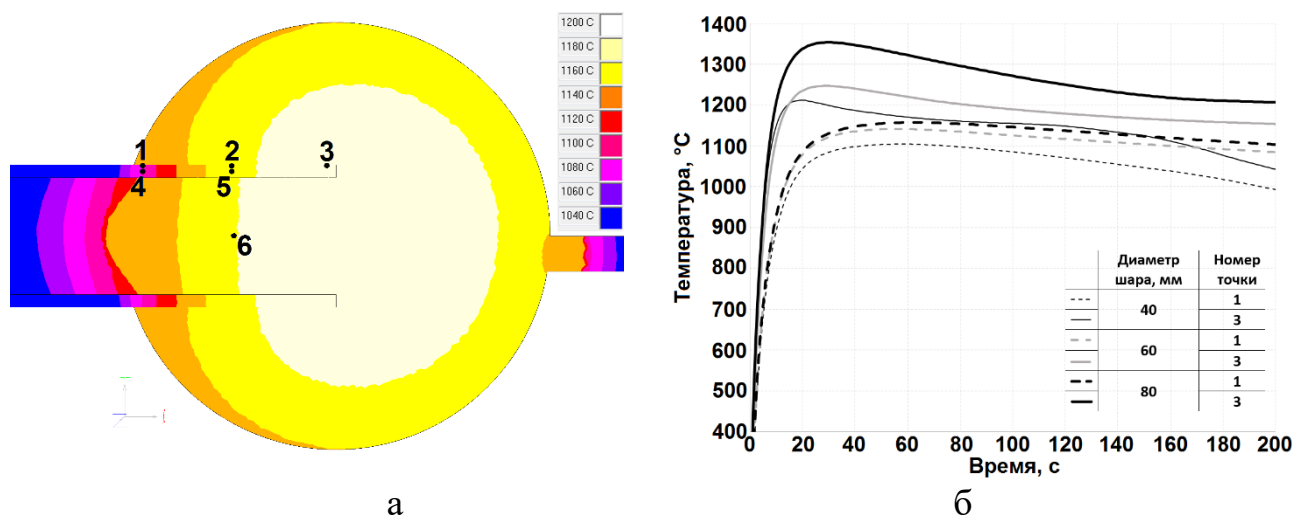


Рис. 2. Температуры в стальном и чугунном элементе по результатам расчётов:  
 а – на 45 с после заливки шара Ø60 мм, отмечены контрольные точки;  
 б – термические кривые для избранных контрольных точек у поверхности стальной трубы при заливке проб разного размера

Тепловые условия формирования переходной диффузионной зоны исследовали с использованием системы компьютерного моделирования литейных процессов «ПолигонСофт». При анализе результатов расчётов рассматривали температуры в контрольных точках на поверхности и центре стальной трубы, а также в объёме чугунной отливки (рис. 2, а). На рис. 2, б дана иллюстрация случая заливки ВЧ50 при получении отливок разного размера – показаны типичные термические кривые, характеризующие перепад температур на поверхности трубы.

Таблица 1

Значения технологических параметров литья  
 и ширины переходной зоны

Диаметр шара, мм	№ образца	Марка чугуна	Температура заливки, °С	Ширина переходной зоны, мм
80	1	СЧ25	1370	0,35
	2	СЧ25	1340	0,30
	3	ВЧ50	1450	—*
60	4	СЧ25	1370	0,27
	5	СЧ25	1340	0,20
	6	ВЧ50	1450	0,38
40	7	СЧ25	1370	0,25
	8	СЧ25	1340	0**
	9	ВЧ50	1450	0,30

\* Стальной элемент расплавился

\*\*На значительных участках стального элемента переходная зона не образовалась

Таблица 2

## Микроструктура элементов по результатам анализа пробы

Диаметр шара, мм	№ образца	Микроструктура чугунного элемента	Микроструктура в середине сечения стального элемента
80	1	Соответствует серому чугуну: графит пластинчатый, равномерно распределённый, размер включений 90-120 мкм	Феррито-перлитная смесь в соотношении Ф/П 80/20, зерно соответствует 3 баллу
	2		
	3	Соответствует высокопрочному чугуну: шаровидный графит правильной и неправильной формы, равномерно распределённый, средний размер включений 45 мкм	– (Стальной элемент отсутствует)
60	4	Соответствует серому чугуну: графит пластинчатый, распределение ПГр3 и ПГр9, размер графитовых включений ПГд45-ПГд180	Феррито-перлитная смесь нормализованная, П5Ф95, зерно соответствует 7 баллу по ГОСТ 5639-82
	5		Перлит пластинчатый и феррит осколочной формы. Видманштетт 2-3 балл, ГОСТ 5640-68
	6	Соответствует высокопрочному чугуну: графит шаровидный правильной и неправильной формы, равномерно распределённый ШГр1, размер графитовых включений ШГд25-ШГд45.	Феррит осколочной формы и пластинчатый перлит. Видманштетт 2-3 балл
40	7	Соответствует серому чугуну: графит пластинчатый прямолинейный, длина включений 15-60 мкм	Феррито-перлитная П5Ф95, зерно 6-7 балл по ГОСТ 5639-82
	8		Феррито-перлитная П20Ф80, зерно 7-8 балл по ГОСТ 5639-82
	9	Соответствует высокопрочному чугуну: графит шаровидный правильной и неправильной формы (ШГф4) и вермикулярной извилистой формы (ВГф2); соотношение вермикулярного графита к шаровидному (70:30) ГОСТ 3443	Феррито-перлитная П20Ф80, зерно 7-8 балл по ГОСТ 5639-82

Как показали расчёты и эксперименты, выбранные диапазоны изменения размеров литого шара и температуры заливки чугуна охватывают практически встречающиеся случаи, включая крайние состояния отсутствия сплошной переходной зоны вследствие недостаточной интенсивности диффузионных процессов и полного расплавления стальной трубы вследствие чрезмерной температуры взаимодействия с жидким металлом.

В табл. 1 приведены значения технологических параметров литья и ширины переходной диффузионной зоны, в табл. 2 – результаты исследований микроструктуры элементов, в таблице 3 – вычисленные максимальные температуры в контрольных точках у поверхности стальной трубы и интервалы времени нахождения металла при максимальной температуре.

Таблица 3

Расчётные значения максимальной температуры в контрольных точках у поверхности стального элемента и продолжительности её присутствия

Диаметр шара, мм	№ образца	Максимальная температура в контрольных точках, °С			Интервал времени при максимальной температуре в контрольных точках, с		
		1	2	3	1	2	3
80	1	1100...1125	1190...1220	1230...1260	50	38	25
	2	1075...1100	1175...1200	1205...1228	85	50	30
	3	1135...1105	1255...1280	1330...1355	100	62	38
60	4	1085...1110	1170...1180	1200...1215	75	28	20
	5	1070...1195	1150...1170	1175...1190	90	47	42
	6	1125...1150	1225...1250	1285...1310	78	32	28
40	7	1050...1075	1120...1140	1125...1150	53	55	78
	8	1045...1060	1105...1130	1125...1140	50	63	65
	9	1075...1100	1150...1175	1185...1210	78	60	35

Из приведённых данных следует, что решающее влияние на формирование переходной диффузионной зоны оказывает изменение температуры на поверхности раздела стального и чугунового элементов, с ростом которой ширина переходной зоны увеличивается. При этом оказывается существенным даже относительно небольшое увеличение температуры на поверхности раздела.

По результатам экспериментов для СЧ25 построили уравнение регрессии, описывающее зависимость ширины переходной диффузионной зоны ( $y$ ) от изменения диаметра литого шара (кодированное значение фактора  $X_1$ ) и температуры заливки (кодированное значение фактора  $X_2$ ) в изученных диапазонах:

$$y = 0,23 + 0,10X_1 + 0,08X_2 - 0,05X_1X_2.$$

Из уравнения очевидно, что на увеличение толщины переходной зоны повышение диаметра чугунового элемента влияет в большей степени, нежели рост температуры заливки.

При выборе значений технологических параметров – размеров (массы) чугунового жидкофазного элемента и температуры заливки – по результатам моделирования тепловых процессов следует отдавать предпочтение варианту, позволяющему максимизировать температуру на поверхности раздела. Ограничением при этом является недостижение температуры ликвидуса сплава прогнозного состава, который способен образоваться в результате диффузионных процессов. Расчёт состава такого сплава следует осуществлять по уравнению Фика с учётом соответствующих значений коэффициентов диффузии [2]. Заливка высокопрочного чугуна при этом выглядит предпочтительной в силу возможности обеспечения достаточной глубины

переходной зоны за счёт повышенной температуры взаимодействия, а не размеров жидкофазного элемента.

#### Список литературы

1. Иоффе М.А., Фарисов Р.Д., Хайруллин М.Р. Исследование переходной зоны между чугунами и стальными элементами декоративных изделий. //Литейное производство, 2016, № 11, с. 10-12
2. Szota K. The Temperature Activation of Carbon Saturation Steel Process. //Journal of Applied Mathematics and Computational Mechanics, 2014, 13(4), p. 137-141