

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ПО ОБРАЗОВАНИЮ
Государственное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«ПЕНЗЕНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

А. В. Ковалева, А. А. Черный

**КОМПОЗИЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ В ТЕХНИКЕ И
ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТЕЙ ПОЛУЧЕНИЯ ИЗДЕЛИЙ ИЗ
РАЗНОРОДНЫХ МАТЕРИАЛОВ В ЛИТЕЙНОМ ПРОИЗВОДСТВЕ**

Учебное пособие

Пенза 2008

Ковалева А. В.

Композиционные материалы в технике и исследование возможностей получения изделий из разнородных материалов в литейном производстве: учебное пособие / А. В. Ковалева, А. А. Черный. – Пенза: Пензенский государственный университет, 2008. - 161 с.

Рассмотрены основные композиционные материалы, применяемые в технике, показана возможность получения изделий из разнородных материалов в литейном производстве. Приводятся результаты математического моделирования, разработки на уровне изобретений, рекомендации для практического применения, контрольные вопросы.

Учебное пособие разработано применительно к учебному процессу на кафедре «Машины и технология литейного производства». Оно может быть использовано студентами при выполнении курсовых, дипломных и научно-исследовательских работ.

Рецензенты:

научный совет Пензенского научного центра;
главный металлург ОАО «Пензадизельмаш»

А. С. Белоусов

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	5
ГЛАВА 1 СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА.....	7
1.1 Композиционные материалы в технике	7
1.1.1 Дисперсно-упрочненные композиционные материалы	8
1.1.2 Волокнистые металлические композиционные материалы	14
1.1.3 Эвтектические композиционные материалы.....	18
1.1.4 Волокнистые композиционные материалы с неметаллической матрицей.....	23
1.1.5 Повышение жаропрочности материалов	25
ВЫВОДЫ.....	26
1.2 Развитие производства биметаллических изделий	26
1.2.1 Физические методы нанесения покрытий из жидкой фазы.....	28
1.2.2 Механические методы воздействия на изделия.....	30
1.2.3 Особенности метода нанесения покрытий напылением.....	31
1.2.3.1 Классификация методов напыления	33
1.2.3.2 Напыляемые материалы	37
1.2.3.3 Применение напыления.....	39
1.2.4 Получение биметалла сваркой взрывом	41
ВЫВОДЫ.....	43
1.3 Исследования образования пригара на отливках	44
1.3.1 Причины и виды пригара на отливках.....	49
1.3.2 Термические превращения корки песчаной формы, контактирующей с расплавленной сталью	50
1.3.3 Химический пригар.....	51
1.3.4 Механический пригар.....	56
ВЫВОДЫ.....	63
ГЛАВА 2. РАЗРАБОТКА НОВЫХ СПОСОБОВ ПОЛУЧЕНИЯ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ ПРИ ЛИТЬЕ.....	64
2.1 Полезное использование отливок с пригаром	64
2.2 Новый способ получения композиционных отливок	71
2.3 Выявление новых композиционных материалов на основе математического моделирования.....	75
2.4 Экспериментальные данные для прогнозного математического моделирования	76
2.5 Выбор методов математического моделирования	83
2.6 Планы проведения экспериментов 3^2 , 3^3 применительно к компьютерным программам.....	85
2.6.1 Алгоритм математического моделирования	86
2.6.2 Выявление прогнозных математических моделей и выполнение расчетов по математическим моделям.....	87

2.6.3 Анализ полученных результатов математического моделирования .	103
2.7 Совершенствование способа получения отливок из композиционных материалов.....	116
ВЫВОДЫ.....	124
ГЛАВА 3 ЭКСПЕРИМЕНТЫ ПО КОМПОЗИЦИОННОМУ ЛИТЬЮ В УСЛОВИЯХ ЛИТЕЙНОГО ЦЕХА ОАО «ПЕНЗАДИЗЕЛЬМАШ»	125
3.1 Изготовление форм для выявления возможности получения композиционных отливок	125
3.2 Результаты экспериментов	127
ВЫВОДЫ.....	130
ГЛАВА 4 ЭКОНОМИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОГО ПРОЕКТА.....	134
4.1 Расчет себестоимости исследовательского проекта.....	134
4.2 Установление цены разработки	139
4.3 Установление нижнего предела цены и договорной цены с учетом тиражирования.....	140
4.4 Показатели эффективности проекта.....	140
4.5 Экономическое обоснование инвестиционного проекта разработки...	144
4.6 Оценка рентабельности проекта.....	152
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	154
КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ	156
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ	158

ВВЕДЕНИЕ

Развитие машиностроения потребовало разработки новых конструктивных материалов, в частности, композиционных материалов.

Композиционный материал получают путем введения в основной материал определенного количества другого материала, который добавляется в целях получения специальных свойств. Композиционный материал может состоять из двух, трех и более компонентов. Размеры частиц входящих компонентов могут колебаться в широких пределах – от сотых долей микрометров (для порошковых наполнителей) до нескольких миллиметров (при использовании волокнистых наполнителей).

Композиционный материал – конструкционный (металлический или неметаллический) материал, в котором имеются усиливающие его элементы в виде нитей, волокон или хлопьев более прочного материала. Комбинируя объемное содержание компонентов, можно получать композиционные материалы с требуемыми значениями прочности, жаропрочности, модуля упругости, абразивной стойкости, а также создавать композиции с необходимыми магнитными, диэлектрическими, радиопоглощающими и другими специальными свойствами.

Выбор конструкционного композиционного материала зависит от физико-механических и эксплуатационных свойств, на которые влияет технологический процесс получения самих конструкционных материалов и деталей из них. Процесс изготовления деталей из этих материалов характеризуется высоким коэффициентом использования материала, малой трудоемкостью, высокой механизацией и автоматизацией [4].

Настоящая работа посвящена получению с помощью специального способа литья композиционного соединения чугуна-смесь для изготовления из него отливок с улучшенным комплексом физико-механических характеристик.

Целью работы является создание научно обоснованной технологии изготовления изделия из разнородных материалов, применяемых в литейном производстве, включающей в себя рациональный выбор технологических параметров

литья для получения изделий с повышенными физико-механическими характеристиками.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

-разработать способ изготовления композиционного материала, позволяющий гибко управлять основными параметрами литья с целью обеспечения высокой прочности и технологичности изделий;

-исследовать микроструктуру и образование прослоек фаз в зоне соединения металла с пригаром;

Разработать математическую модель, позволяющую определять изменение толщины пригара.

Научная новизна работы. Разработана математическая модель расчета толщины пригара и выбора технологических параметров изготовления композиционного соединения, позволяющая управлять данными параметрами в широком диапазоне с целью получения требуемой структуры и свойств материала.

Практическая ценность работы. Разработан новый способ получения отливки из композиционного материала, осуществляющийся нанесением на поверхность модели или на поверхность постоянной формы слоя зернистого материала. При заливке в форму жидкий металл выплавляет менее тугоплавкий материал, проникает в образующиеся зазоры, затвердевает и прочно связывает зерна. На поверхности отливки образуется слой разнородных композиционных материалов. Получен патент Российской Федерации №2283724.

После того, как современная физика металлов разъяснила причины пластичности и прочности композиционных материалов, началась интенсивная систематическая разработка новых материалов. Это приведет в будущем к созданию материалов с прочностью, во много раз превышающей ее значения у обычных сплавов.

ГЛАВА 1 СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА

1.1 Композиционные материалы в технике

Композиционные материалы (КМ) широко используются в технике. Они применяются в авиации, космической технике, автомобилестроении, горной промышленности, гражданском строительстве.

Применение композиционных материалов позволяет увеличивать мощность двигателей, энергетических и транспортных установок, уменьшать массу машин и приборов.

Композиционные материалы с неметаллической матрицей, а именно полимерные карбоволокониты, используют в судо- и автомобилестроении (кузова гоночных машин, шасси, гребные винты); из них изготавливают подшипники, панели отопления, спортивный инвентарь, части ЭВМ. Высокомодульные карбоволокониты применяют для изготовления деталей авиационной техники, аппаратуры для химической промышленности, в рентгеновском оборудовании.

Карбоволокониты с углеродной матрицей заменяют различные типы графитов. Они применяются для тепловой защиты, дисков авиационных тормозов, химически стойкой аппаратуры.

Изделия из карбоволоконитов применяют в авиационной и космической технике (профили, панели, роторы и лопасти компрессоров, лопасти винтов и трансмиссионные валы вертолетов).

Органоволокониты применяют в качестве изоляционного и конструкционного материала в электрорадиопромышленности, авиационной технике, автостроении; из них изготавливают трубы, емкости для реактивов, покрытия корпусов судов [8], [10].

Композиционные материалы обладают уникальными свойствами теплоизоляции (тепло- и звукоизоляция салонов, кабин, узлов и агрегатов автомобилей, производственных и бытовых помещений).

Отработана технология изготовления деталей из фрикционного самосмазывающего композиционного материала, накладок фрикционных гасителя колебаний рессорного подвешивания.

В технике нашли широкое применение дисперсно-упрочненные композиционные материалы (ДКМ).

Материалы данного типа относятся к классу порошковых, в которых матрица из металла или сплава упрочняется искусственно введенными мелкодисперсными частицами размером менее 0,1 мкм в количестве 0,1 – 15%. В качестве упрочняющей фазы используют дисперсные частицы оксидов, карбидов, нитридов и других тугоплавких соединений.

Смеси порошков получают механическим или химическим смешиванием, поверхностным или внутренним окислением, разложением смеси солей, водородным восстановлением или химическим осаждением из растворов.

После формирования и спекания проводят горячую пластическую деформацию с целью получения плотного, беспористого полуфабриката (лент, полос, профилей).

1.1.1 Дисперсно-упрочненные композиционные материалы

Дисперсно-упрочненные композиционные материалы на основе алюминия

Наиболее распространенными соединениями, применяемыми в качестве упрочняющей фазы в дисперсно-упрочненных композиционных материалах (ДКМ) на основе алюминия и его сплавов, являются оксиды. Выпускаются три марки ДКМ, на основе алюминия: САП-1, САП-2 и САП-3, отличающиеся концентрацией оксидов (соответственно: 6-9% Al_2O_3 , 9-13% Al_2O_3 , 13-17% Al_2O_3) [1].

Наряду с материалами типа САП разработаны ДКМ Al-C, упрочняющей фазой в которых служит карбид алюминия Al_4C_3 [6]. Увеличение содержания оксида алюминия в САП приводит к повышению прочности и снижению пластичности.

При температурах 300-500 °С ДКМ на основе алюминия превосходят по прочности все промышленные алюминиевые сплавы и отличаются высокими характеристиками длительной прочности и ползучести [1].

Поставляются дисперсно-упрочненные композиционные материалы на основе алюминия в виде листов, полос, профилей, прутков, проволоки и штамповок.

Механические свойства ДКМ на основе алюминия приведены в таблице 1.1.

Таблица 1.1

Механические свойства ДКМ на основе алюминия

Материал	t, °С	$\sigma_{0,2}$, МПа	σ_B , МПа	δ , %
САП-1	20	200	290—310	7—9
	250	-	180—190	4—6
	350	-	140—150	3—4
	500	-	100	2
САП-2	20	230	320	4
	250	-	190	3
	350	-	150	2
	500	-	100	1
САП-3	20	340	400	3
	250	-	240	1,5
	350	-	190	1
	500	-	130	1
Al - 1 % С	20	-	260	7,5
Al - 1 % С	400	-	110-120	7
Al - 2 % С	20	-	360	3,5
Al - 2 % С	400	-	145-160	4,5
Al - 3 % С	20	430	450	4,2
Al - 3 % С	400	-	145-160	4,5
Al - 4 % С	20	-	470	3,5
Al - 4 % С	400	-	150-175	4
Al - 5 % С	20	-	520	3,5
Al - 5 % С	400	-	180-200	2

Дисперсно-упрочненные композиционные материалы на основе бериллия

Наиболее эффективными упрочнителями бериллия являются оксид ВеО и карбид Ве₂С. Временное сопротивление ДКМ Ве-ВеО повышается с увеличением содержания оксида, при этом эффективность упрочнения растет с увеличением температуры. Данные приведены в таблице 1.2 [1]. Сопротивление ползучести и длительная прочность Ве-ВеО композиционных материалов при по-

вышенных температурах сравнительно невелики. Применение карбида бериллия Be_2C в качестве упрочняющей фазы позволяет повысить 100-часовую прочность бериллия при $650\text{ }^\circ\text{C}$ в 3 раза, а при $730\text{ }^\circ\text{C}$ - более чем в 5 раз [1], [6].

Благодаря высокому коэффициенту рассеяния нейтронов, высокому модулю упругости и низкой плотности ДКМ на основе бериллия является перспективным материалом в реакторостроении, а также в качестве армирующих элементов в композиционных материалах с повышенным удельным модулем упругости [1].

Таблица 1.2

Механические свойства ДКМ Be-BeO

Об.доля BeO, %	t, °C	$\sigma_{0,2}$	σ_B	δ , %
		МПа		
0,8	25	195	275	-2
	400	145	245	14
	600	115	200	15
1,8	25	240	310	2
	400	175	240	4
	600	140	185	6,5
3,0	25	245	325	1
	400	210	325	7
	600	175	285	14,5

Дисперсно-упрочненные композиционные материалы на основе магния

Незначительная растворимость кислорода в магнии дает возможность упрочнять его оксидами. Наибольший эффект достигается при введении оксида магния MgO в количестве до 1%. Дальнейшее повышение содержания этого оксида практически не меняет временное сопротивление, но существенно снижает пластичность ДКМ. ДКМ Mg-MgO обладают низкой плотностью, высокой длительной прочностью и высоким сопротивлением ползучести при нагреве. Данные приведены в таблице 1.3 [1]. Применение этих материалов ограничено низкой коррозионной стойкостью в морской воде, а также на воздухе при температурах выше $400\text{ }^\circ\text{C}$. Наиболее перспективно применение ДКМ на основе магния в авиации, ракетной и ядерной технике в качестве конструкционного

материала деталей несущих и корпусных изделий минимальной массы и повышенной прочности.

Таблица 1.3

Механические свойства ДКМ Mg-MgO

Об.доля MgO, %	t, °C	$\sigma_{0,2}$	σ_B	δ , %
		МПа		
0,3	20	-	270	-
1,0	20	250 - 260	285 - 300	8
1,0	400	-	50 - 60	9
1,0	450	16 - 18	25 - 30	9
1,0	500	-	15 - 20	10 - 12
2,0	20	-	270	-

Дисперсно-упрочненные композиционные материалы на основе никеля

В качестве упрочняющей фазы в ДКМ на основе никеля и его сплавов используются оксиды ThO₂ и HfO₂. Оксид тория ThO₂ в количестве до 2 % наиболее эффективен для упрочнения никеля и нихрома (ДКМ ВДУ-1, ТД-никель, DS-никель, TD-нихром), Из-за токсичности оксида тория его часто заменяют оксидом гафния HfO₂ в ДКМ ВДУ-2 (98% Ni, 2% HfO₂), что приводит к существенному снижению жаропрочности.

ДКМ на основе никеля предназначены в основном для работы при температурах выше 1000°C. Характеристики длительной прочности при этих температурах выше у ДКМ с матрицей из нелегированного никеля, однако при температурах до 800 °C более высоким временным сопротивлением обладают ДКМ на основе никелевых сплавов типа TD-нихром (80 % Ni, 20 % Cr, упрочненный 2 % ThO₂). Данные приведены в таблице 1.4 [1].

ДКМ на основе никеля и его сплавов применяются главным образом в авиационной и космической технике для изготовления лопаток газовых турбин, камер сгорания, теплозащитных панелей, а также сосудов и трубопроводов, работающих при высоких температурах в агрессивных средах.

Таблица 1.4

Механические свойства ДКМ на основе никеля и его сплавов

t, °C	$\sigma_{0,2}$	σ_B	δ	ψ
	МПа		%	
ВДУ-1				
20	390-410	540-570	20-24	70-75
400	260-270	350-370	21-24	-
600	210-230	280-300	21-24	40-60
800	150-160	200-220	12-18	25-35
1000	120-130	140-160	10-13	20-25
1200	100-110	120-130	7-9	15-20
ВДУ-2				
20	300-350	450-500	20-24	70-75
500	180-200	220-250	21-24	40-50
800	120-140	140-160	12-18	25-35
1000	95-100	105-120	10-13	25-30
1100	80-85	95-100	8-10	20-25
1200	75-78	80-85	7-9	15-20
ТД-нихром				
20	440-460	800-850	18-19	25
400	380-390	650-700	18-19	20
600	250-260	480-500	20-23	23
800	200-220	240-260	20-22	30
1000	110-120	130-140	15-16	25
1100	85-90	95-105	14-15	25
1200	75-80	80-90	10-12	15

Дисперсно-упрочненные композиционные материалы на основе кобальта

ДКМ на основе кобальта и его сплавов с хромом, молибденом и вольфрамом упрочняются оксидом тория ThO_2 , содержание которого находится в пределах 2-4 %.

При температурах ниже полиморфного превращения (470°C) ДКМ на основе кобальта имеют более высокое временное сопротивление и меньшую пластичность, чем ДКМ на основе никеля. При высоких температурах свойства кобальтовых и никелевых ДКМ отличаются незначительно. Введение небольших добавок циркония в кобальтовую матрицу повышает пластичность, временный и длительный пределы прочности. Данные приведены в таблице 1.5 [1]. Леги-

рование хромом и никелем существенно повышает жаростойкость кобальта, что позволяет использовать ДКМ при температурах до 1100°С.

Дисперсно-упрочненные материалы на основе кобальта и его сплавов применяют для изготовления лопаток газовых турбин авиационных двигателей, а также деталей, работающих при повышенных температурах в парах ртути.

Таблица 1.5

Механические свойства ДКМ на основе кобальта

Химический состав матрицы, масс.доля, %						Об.доля ThO ₂ , %	t, °С	σ _B , МПа	δ, %
Co	Ni	Cr	Mo	W	Zr				
100	-	-	-	-	-	2	25	960	8
							780	170	16
							1090	85	9
99,8	-	-	-	-	0,2	2	25	1020	13
							780	250	24
							1090	140	13
62	20	18	-	-	-	2	25	1037	13
						2	1090	158	14
						4	1090	191	-
58	20	22	-	-	-	4	780	465	-
							1090	163	-
50	20	30	-	-	-	4	780	585	-
							1090	138	-
75	15	-	10	-	-	4	780	580	-
							1090	154	-
70	15	-	15	-	-	4	780	731	-
							1090	128	-
60	10	20	-	10	-	4	780	698	-
							1090	137	-

Дисперсно-упрочненные композиционные материалы на основе хрома

Для упрочнения хрома и его сплавов используется оксид магния MgO или оксид тория ThO₂. ДКМ на основе сплава 99,5 % Cr и 0,5 % Ti, упрочненный 6 % MgO, называется хром-30; на основе сплава 97 % Cr, 2,5% V и 0,5 % Si, упрочненный 3 % MgO - хром-90, а на основе 93,5 % Cr, 2,5 % V, 1 % Si, 0,5 % Ti, 2 % Ta и 0,5 % C, упрочненный 3 % MgO - хром-90 S.

Основное назначение ДКМ на основе хрома - конструкционный материал для деталей, работающих при высоких температурах в окислительной среде. Высокая эрозионная стойкость этих ДКМ под действием мощных тепловых потоков делает их перспективными материалами для сопел плазмотронов.

Свойства ДКМ на основе хрома приведены в таблице 1.6 [1].

Таблица 1.6

Механические свойства ДКМ хром-30

$t, ^\circ\text{C}$	$\sigma_{\text{в}}, \text{МПа}$	$\delta, \%$
20	340	15 - 20
300	265	-
650	245	-
980	125	30 - 40
1370	33	-

1.1.2 Волокнистые металлические композиционные материалы

Методы изготовления композиционных материалов (КМ) из различных комбинаций волокон и матриц определяются свойствами этих волокон и матриц. Некоторые из основных методов, используемых для получения композиционных материалов, приведены в таблице 1.7 [16]. Эти методы могут быть использованы для производства, как готовых изделий, так и полуфабрикатов: листов, полос, труб. Простые полуфабрикаты, из которых получают более сложные и более крупногабаритные изделия, представляют собой моноволокна или прутки, покрытые материалом матрицы, пучки или полосы из одного и нескольких слоев волокон, заключенные в матрицу, широкоформатные листы, состоящие из матрицы, содержащей волокна. Эти полуфабрикаты могут быть при укладке сориентированы в одном направлении или перекрестно, уложены друг на друга и сформированы в изделия диффузионной сваркой или другим термо-механическим методом.

Существующие и перспективные методы
изготовления композиционных материалов

Общее название метода	Предварительные технологические операции	Заключительные технологические операции
Порошковая металлургия	Укладка волокон в матрицу или шликерное литье в каркас из волокон или скрепление волокон летучим связующим	Спекание, горячее прессование или горячее изостатическое прессование
Технология с использованием фольги	Использование летучего связующего или склеивающего вещества для скрепления волокон с фольгой, или прессование чередующихся слоев волокон и фольги (гладкой или с канавками), или точечное либо непрерывное (например, прокаткой) соединение фольги с волокнами	Диффузионная сварка горячим прессованием или горячим изостатическим прессованием
Литье	Литье готового изделия или нанесение жидкого металла на поверхность отдельных волокон или изготовленных из непрерывных лент	При получении готовых изделий заключительные операции не нужны. В других случаях - горячее прессование или горячее изостатическое прессование

В специфических условиях использования в авиационной и космической технике КМ с металлической матрицей имеют определенные преимущества по сравнению с КМ с полимерной матрицей по своим высокотемпературным свойствам, стойкости к воздействию повышенной влажности, эрозии и повреждению посторонними объектами.

Методы производства композиционных материалов с металлической матрицей удобно классифицировать, разделив их на три основные категории процессов: твердофазные, жидкофазные и осаждения.

Свойства композиционных материалов в большой степени определяются армирующим материалом, его видом (волокно, проволока), количеством и ориентацией в матрице.

Неметаллические волокна - борные, углеродные, карбида кремния, оксида алюминия, оксида циркония, нитевидные кристаллы карбида и нитрида кремния, оксида и нитрида алюминия и др. Металлические армирующие - во-

локна (проволока) бериллия, вольфрама, молибдена, стали, титановых и других сплавов. Данные приведены в таблице 1.8 [1].

Таблица 1.8

Свойства волокон, проволоки и нитевидных кристаллов
для армирования композиционных материалов

Материал	$t, ^\circ\text{C}$	$\rho, \frac{\text{г}}{\text{см}^3}$	$\sigma_B, \text{МПа}$	$E, \text{ГПа}$	$\sigma_B / (\rho g)$	$E / (\rho g) \cdot 10^{-3}$
Волокно:						
борное	2040	2,63	2,45-3,43	372,0-411,0	95-133	14,4-15,9
углеродное	3000	1,70	1,96-2,96	196,0-296,0	117-176	11,7-17,4
карбида кремния	2827	3,21	1,96-3,92	451,0	62-24	14,3
оксида алюминия	2054	3,96	2,06-2,55	490,0	52-65	12,6
оксида циркония	2677	6,27	2,35-2,65	461,0	39-43	7,4
Проволока:						
бериллиевая	1284	1,84	0,98-1,25	284,0	55-65	15,7
вольфрамовая	3400	1,93	4,11	392,0	21	2,0
стальная	1300	7,80	3,53-3,92	196,0	45-51	2,5
титановая	1668	4,50	1,47-1,96	117,9	33-41	2,6
Нитевидные кристаллы:						
оксида алюминия	2054	3,96	27,4	490,0	710	12,6
нитрида алюминия	2400	3,30	14,7	372,0	455	11,5
карбида кремния	2650	3,21	36,2	569,0	1150	18,0
нитрида кремния	1900	3,18	14,7	485,0	472	15,6

Наиболее широкое применение в качестве матрицы КМ получил алюминий, так как именно он определяет в первую очередь те самые удельные, т.е. отнесенные к плотности, характеристики композиционных материалов, благодаря которым эти материалы считаются перспективными во многих областях новой техники. Композиционный материал ВКА-1 состоит из чередующихся слоев фольги алюминия или алюминиевых сплавов и волокон бора. Для предотвращения взаимодействия фольги с борными волокнами при нагреве в условиях длительной эксплуатации на последние наносят барьерный слой карбида кремния или нитрида бора толщиной 3-5 мкм.

Композиционный материал марки ВКУ-1 на алюминиевой основе, армированный углеродными волокнами, обладает малой плотностью в сочетании с

высокими прочностными свойствами и является перспективным для создания новых конструкций.

Для применения в различных отраслях техники перспективными являются КМ на основе алюминия, армированные высокопрочной стальной и бериллиевой проволокой, имеющие высокие прочностные характеристики и сравнительно малую стоимость.

Композиционный материал марки КАС-1 на алюминиевой основе, армированный стальной проволокой, отличается от других КМ доступностью и низкой стоимостью армирующего материала, а также лучшей тепло- и электропроводностью. В качестве матрицы в этой композиции используется фольга из алюминия и алюминиевых сплавов, армирующим элементом служит проволока из аустенитной стали ЭП322 или аустенитно-мартенситной стали ВНС-9 диаметром 0,15-0,3 мм с временным сопротивлением 3,5-4,0 ГПа.

Весьма перспективными для применения в различных отраслях техники являются композиционные материалы на основе алюминия, армированные высокопрочной стальной и бериллиевой проволокой, имеющие высокие прочностные характеристики и сравнительно малую стоимость.

В аэрокосмической технике находят все более широкое применение жаропрочные КМ, которые могут работать в условиях высоких температур и знакопеременных нагрузок. В этом случае малая плотность конструкционного материала не имеет такого большого значения, как его способность работать при более высоких температурах.

При испытаниях на длительную прочность измеряется высокотемпературная прочность КМ и ее стабильность в условиях действия постоянной нагрузки. Такие испытания КМ не только выявляют преимущества и недостатки в их изготовлении (эти вопросы в некоторой степени решаются при испытаниях на растяжение), но также и совместимость их компонентов в условиях испытания, т. е. под воздействием напряжений при высоких температурах в течение различных периодов времени.

В большинстве исследований жаропрочных КМ приводятся характеристики их прочности в течение 100 часов испытаний в интервале температур 649-1204 °С.

1.1.3 Эвтектические композиционные материалы

Эвтектическими композиционными материалами (ЭКМ) называются сплавы эвтектического или близкого к эвтектическому состава, в которых упрочняющей фазой служат ориентированные кристаллы, образующиеся в процессе направленной кристаллизации.

Методы, применяемые для направленной кристаллизации эвтектических сплавов (аналогичные методам получения монокристаллов: Бриджмена, Чохральского, зонной плавки), должны обеспечивать плоский фронт кристаллизации — поверхность раздела между жидкой и твердыми фазами и однонаправленный отвод теплоты. В этом случае фазы эвтектики кристаллизуются перпендикулярно к поверхности раздела и следуют за ней по мере перемещения фронта кристаллизации, образуя ориентированные волокнистые или пластинчатые кристаллы.

Структура эвтектических композиционных материалов, создаваемая естественным путем, а не в результате искусственного введения армирующей фазы в матрицу, обладает высокой прочностью, термической стабильностью до температур, близких к температуре плавления эвтектики, и лишена многих недостатков, связанных с химической совместимостью между матрицей и упрочняющей фазой искусственных композиционных материалов.

Из эвтектических композиционных материалов изделия можно получать за одну операцию, исключая трудоемкие процессы изготовления армирующих волокон, введение и ориентацию их в матрице.

К недостаткам эвтектических композиционных материалов относятся повышенные требования к чистоте исходных материалов, зависимость свойств от скорости процесса направленной кристаллизации и ограниченная возможность

изменения объемного содержания армирующей фазы, которое определяется в основном диаграммой состояния системы.

Выбор эвтектических композиционных материалов заключается в подборе матричной основы, удовлетворяющей заданной плотности, температуре эксплуатации, коррозионной стойкости, и эвтектики, обеспечивающей необходимую прочность.

Эвтектические композиционные материалы на основе алюминия.

ЭКМ на основе алюминия получают в основном методом направленной кристаллизации (методом Бриджмена).

Прочность ЭКМ зависит от скорости кристаллизации и ориентации армирующей фазы по отношению к направлению приложения нагрузки [5].

Наибольшая прочность и минимальное удлинение соответствуют растяжению образцов ЭКМ Al-Al₃Ni вдоль волокон ($\theta = 0^\circ$), а минимальная прочность и максимальное удлинение - растяжению под углом 45°. В ЭКМ Al-CuAl₂ с пластинчатой формой армирующей фазы CuAl₂ максимальный прогиб $a_{пр}$ наблюдается при ориентации пластинок под углом 30-45°.

Существенным недостатком пластинчатой эвтектики Al-CuAl₂ является большая хрупкость при испытаниях на ударную вязкость.

При повышенных температурах ЭКМ на основе алюминия достаточно хорошо сохраняют прочность на разрыв, при этом, начиная с температуры 227°C, у ЭКМ Al-CuAl₂ многократно возрастает относительное удлинение. Данные приведены в таблице 1.9 [1], [5].

Таблица 1.9

Механические свойства ЭКМ Al-Al₃Ni , Al-CuAl₂
при повышенных температурах

$t, ^\circ\text{C}$	$\sigma_b, \text{МПа}$	$\delta, \%$
Al – Al ₃ Ni		
100	295	-
300	180	-
500	75	-
Al – CuAl ₂		
20	270	0,7
100	270	3 - 6
300	120	50
500	30	185

Системы Al-Al₃Ni и Al-CuAl₂ обладают высокой стабильностью структуры при повышенных температурах. Волокна Al₃Ni не укорачиваются и не подвергаются сфероидизации при нагреве до 611 °С.

ЭКМ на основе алюминия обрабатываются холодной пластической деформацией и хорошо свариваются методом диффузионной сварки.

Эвтектические композиционные материалы на основе никеля и кобальта

ЭКМ на основе никеля и кобальта получают методом направленной кристаллизации или методом зонной плавки.

Никелевые и кобальтовые ЭКМ являются жаропрочными материалами и по поведению при растяжении делятся на две группы: хрупкие и пластичные. Хрупкими, например, являются никелевые пластинчатые ЭКМ с объемной долей упрочнителя более 33-35 %. К пластичным относятся волокнистые ЭКМ с объемной долей упрочнителя 3-15%, например, сплавы никеля и кобальта, упрочненные монокарбидами тантала, ниобия, гафния.

Физико-механические свойства никелевых и кобальтовых ЭКМ представлены в таблице 1.10 [1], [15].

Высокие механические свойства волокнистых ЭКМ на основе никеля и кобальта, упрочненных карбидами, объясняются композиционной структурой, при которой пластичная матрица армирована высокопрочными ориентированными кристаллами. Дополнительное увеличение прочности ЭКМ достигается легированием твердого раствора матрицы или ее дисперсным упрочнением.

Пластинчатые ЭКМ, по сравнению с волокнистыми, более чувствительны к скорости кристаллизации, влияющей на расстояние между пластинами.

Быстрая кристаллизация, приводящая к уменьшению расстояния между пластинами, способствует значительному упрочнению ЭКМ. По сравнению с жаропрочными сплавами с интерметаллидным упрочнением ЭКМ при высоких температурах разупрочняются менее интенсивно [1], [15].

Таблица 1.10

Свойства никелевых и кобальтовых ЭКМ

Матрица	Упрочнитель	Об. Доля упрочнителя, %	$t_{пл}$, С	ρ , т/м ³	Е, ГПа	σ_B , МПа	δ , %
Ni	NiBe	38-40	1157	-	215	918	9,0
Ni	Ni ₃ Nb	26	1270	8,8	-	745	12,4
Ni	Cr	23	1345	8,0	-	718	29,8
Ni	NiMo	50	1315	9,5	-	1250	1
Ni	Ni ₃ Ti	29	1300	8,2	-	-	1
Ni	W	6	1500	-	-	830	45
Ni	TiC	5,5	1307	-	-	-	-
Ni	HfC	15-28	1260	-	-	-	-
Ni	NbC	11	1328	8,8	-	890	9,5
Ni	TaC	~10	-	-	-	-	-
Ni-Cr	NbC	11	1320	-	-	-	-
Ni-Co-Cr-Al	TaC	~9	-	8,8	-	1650	5
Ni ₃ -Al	Ni ₃ Nb	44	1280	8,44	242	1240	0,8
Ni ₃ -Al	Ni ₃ Nb	32	1280	-	-	1230	2,0
Ni-Ni ₃ Al	Ni ₃ Nb	-	1270	-	-	1140	2,3
Ni ₃ Al	Ni ₃ Ta	~65	1360	10,8	-	930	1
Ni-Ni ₃ Al	Ni ₃ Ta	-	1360	-	-	1060	5
Ni ₃ Al	Ni ₇ Zr ₂	42	1192	-	-	-	-
Ni ₃ Al	Mo	26	1306	8,18	138	1120	21
Ni ₃ Al	Cr	34	1450-1455	6,4	182	1240	1
Ni-Cr	(Cr,Ni) ₇ C ₃	30	1305	-	200-290	685-960	2-11
Co	CoAl	35	1400	-	172	500-585	6
Co	CoBe	23	1120	-	-	-	-
Co	Co ₃ Nb	~50	1235	-	-	-	-
Co	Co ₂ Ta	35	1276	-	-	-	-
Co	Co ₇ W ₆	23	1480	-	-	750	<1
Co	TiC	16	1360	-	-	-	-
Co	HfC	15	-	-	-	-	-
Co	VC	20	-	-	-	-	-
Co	NbC	12	1365	8,8	-	1030	2
Co	TaC	16	1402	9,1	222	1035	11,8
Co-Cr	NbC	12	1340	-	-	1280	2
Co-Cr	TaC	~9	1360	9,0	210	1035-1160	16-20
Co-Cr	(Cr,Ni) ₇ C ₃	30	1304	8,0	296	1280-1380	1,5
Co-Cr	(Cr,Ni) ₂₃ C ₆	40	1340	7,91	276	1200	0,96
Co-Cr-Al	(Cr,Ni) ₇ C ₃	28	1295	7,8	283	1730-2011	2,5-1,0

Пределы длительной прочности ряда ЭКМ на основе никеля и кобальта превышают пределы длительной прочности современных жаропрочных спла-

вов, особенно при температурах выше 900°C, данные представлены в таблице 1.11 [1], [6].

ЭКМ на основе никеля и кобальта используют в основном для изготовления литых рабочих и сопловых лопаток, а также крепежных деталей камер сгорания газотурбинных двигателей.

Таблица 1.11

Жаропрочность ЭКМ на основе никеля и кобальта

$t, ^\circ\text{C}$	$\sigma_B, \text{МПа}$	$\tau, \text{ч}$	$t, ^\circ\text{C}$	$\sigma_B, \text{МПа}$	$\tau, \text{ч}$
Ni ₃ Al-Ni ₃ Nb			(Co-Cr-Ni)-TaC		
900	520	100	800	300	4000
1000	300	100	1070	120	1300
1100	140-150	100	1100	100	1200
			1150	100	100
(Ni-Ni ₃ Al)-Ni ₃ Nb			(Co-Cr)-(Cr, Co) ₇ C ₃		
800	670	100	1000	150 – 160	100
900	450	100	1100	70 – 80	100
1000	200	100			
1100	135				
(Ni-Co-Cr-Al-W-Re-V)-TaC			(Co-Cr)-TaC		
871	520	156	649	375	1000
871	550	154	760	350	1000
982	310	125	871	300	1000
982	275	300	982	225	1000
1093	140	171	1050	160	403
1093	120	300	1093	140	1000
(Co-Cr)-TaC			1250	55	100
800	300	710			
1072	120	170			
1100	105	618			

Эвтектические композиционные материалы на основе тантала и ниобия

ЭКМ на основе тантала и ниобия получают методом направленной кристаллизации.

Если армирующая фаза ЭКМ Ta-Ta₂C кристаллизуется в форме пластин, то временное сопротивление составляет 560 МПа при относительном удлинении 2 %. При кристаллизации армирующей фазы в форме стержней временное

сопротивление этого ЭКМ достигает 1050 МПа при относительном удлинении 1,5% [1], [5].

Прочность ЭКМ Nb-Nb₂C при комнатной температуре в 5 раз выше прочности ниобия и, благодаря высокой термической стабильности, сохраняет такие высокие значения при повышении температуры.

ЭКМ на основе тантала и ниобия используют для изготовления деталей самолетов и ракет, работающих при повышенных температурах (лопатки двигателей, защитные кромки).

1.1.4 Волокнистые композиционные материалы с неметаллической матрицей

В конструкции летательных аппаратов все более широко начинают применяться полимерные композиционные материалы (КМ), которые по сравнению с традиционными сплавами имеют ряд преимуществ, позволяющих значительно снизить массу, повысить прочность, жесткость, теплостойкость конструкций. При создании таких материалов применяют непрерывные и дискретные поликристаллические волокна и нитевидные кристаллы бора, углерода и различных соединений (оксидов, карбидов, боридов, нитридов). Из большого числа разработанных полимерных КМ наиболее перспективными являются КМ на основе углеродных волокон, (углепластики). К основным преимуществам углепластиков следует отнести: сравнительно малую плотность, высокую статическую прочность, сопротивление усталости, жесткость, коррозионную стойкость, износостойкость, малый коэффициент температурного расширения и электропроводность.

Показатель, наиболее чувствительный к температурному воздействию, предел прочности при изгибе и межслойном сдвиге, линейно понижающийся с ростом температуры вплоть до температуры стеклования связующего.

Теплозащитные КМ для летательных аппаратов многократного использования изготавливают из тугоплавких волокон (химически чистого кремния, алюмоборосиликатных волокон); они обладают сильной анизотропией теплофизических характеристик в плоскости формования и перпендикулярных к ней.

Низкая теплопроводность материала по нормали к плоскости формования обеспечивается преимущественной ориентацией волокон при формовании.

Плоскость КМ, его прочностные и теплофизические характеристики определяются относительным объемным содержанием волокон. Эффективность теплозащитного материала повышается при нанесении тонкого покрытия, служащего радиационным экраном и обеспечивающего отвод (до 80%) теплового потока.

Низкая прочность материала и малый коэффициент линейного расширения вызывают необходимость обеспечения термической совместимости теплозащитного КМ и защищаемой конструкции или изоляции КМ от деформируемой поверхности путем введения компенсирующих прокладок [1].

Композиционные материалы с неметаллической матрицей нашли широкое применение. В качестве неметаллических матриц используют полимерные углеродные и керамические материалы. Из полимерных матриц наибольшее распространение получили эпоксидная, фенолформальдегидная и полиамидная. Угольные матрицы коксованные или пироуглеродные получают из синтетических полимеров, подвергнутых пиролизу. Матрица связывает композицию, придавая ей форму. Упрочнителями служат волокна: стеклянные, углеродные, борные, органические, на основе нитевидных кристаллов (оксидов, карбидов, боридов, нитридов и других), а также металлические (проволоки), обладающие высокой прочностью и жесткостью.

Свойства композиционных материалов зависят от состава компонентов, их сочетания, количественного соотношения и прочности связи между ними. Армирующие материалы могут быть в виде волокон, жгутов, нитей, лент, многослойных тканей.

Содержание упрочнителя в ориентированных материалах составляет 60-80 об.%, в неориентированных (с дискретными волокнами и нитевидными кристаллами) – 20-30 об.%. Чем выше прочность и модуль упругости волокон, тем выше прочность и жесткость композиционного материала. Свойства матрицы

определяют прочность композиции при сдвиге и сжатии и сопротивление усталому разрушению.

По виду упрочнителя композиционные материалы классифицируют на стекловолокниты, карбоволокниты с углеродными волокнами, борволокниты и орговолокониты.

В слоистых материалах волокна, нити, ленты, пропитанные связующим, укладываются параллельно друг другу в плоскости укладки.

1.1.5 Повышение жаропрочности материалов

Жаростойкость сплавов магния с Mn, Zn, Al выше, чем нелегированного магния. Улучшает жаростойкость магния бериллий (0,02 - 0,05%), устраняя самовозгорание при технологической обработке.

Жаростойкость промышленных медных сплавов (латуней и бронз) выше жаростойкости меди, так как они легированы элементами четвертой группы. Высокой жаростойкостью отличаются сплавы меди с Be, Al, Mn; немного уступают им сплавы с Zn, Sn, Si.

Жаростойкость промышленных алюминиевых сплавов такая же хорошая, как и нелегированного алюминия.

Жаростойкость сплавов титана можно повысить применением жаростойких покрытий.

Основные жаростойкие сплавы созданы на основе железа и никеля. Химический состав высоколегированных сталей и сплавов на железной, железоникелевой и никелевой основах, предназначенных для работы в коррозионно-активных средах и при высоких температурах, приведен в ГОСТ. Согласно стандарту жаростойкие (окалиностойкие) сплавы относятся к группе II и характеризуются как стали и сплавы, обладающие стойкостью против химического разрушения поверхности в газовых средах при температуре выше 550⁰С, работающие в ненагруженном или слабонагруженном состоянии. Жаропрочные стали и сплавы, отнесенные к группе III, также обладают достаточной жаростойкостью.

Широкое применение в промышленности находит жаростойкий чугун как наиболее дешевый и доступный материал [1]. Жаростойкость чугуна определяется его сопротивлением окислению не более $0,5\text{г}/(\text{м}^2 \cdot \text{ч})$, увеличению массы и росту (не более $0,2\%$) при заданной температуре в течение 150 часов. Незначительное легирование хромом (иногда совместно с никелем) позволяет повысить температуру использования чугунов до 700°C [1].

ВЫВОДЫ

1. Перечисленные выше композиционные материалы изготавливаются методами порошковой металлургии с применением прессования и спекания при высокой температуре, что сложно в изготовлении и дорого.

2. Имеет место дороговизна и дефицитность используемых материалов, но промышленность требует такие материалы, и они находят практическое применение, несмотря на дороговизну.

1.2 Развитие производства биметаллических изделий

При конструировании современных машин, механизмов и приборов возникает потребность в материалах, обладающих комплексом различных, иногда противоположных свойств. Наиболее целесообразно эта проблема решается путем изготовления биметаллических отливок.

Изготовление биметаллических изделий способом литья получает широкое распространение в промышленности.

Известны два основных способа получения биметаллических отливок: последовательная заливка двух разных сплавов в одну и ту же форму и заливка расплавленным металлом заранее изготовленных частей изделия. Более прост в осуществлении и поэтому более широко применяется в промышленности второй способ.

Биметаллические отливки можно получать практически любым известным способом литья.

Крупные биметаллические отливки из чугуна и бронзы, армированные стальными прутками или трубами, получают чаще в песчаных формах. Технология литья в этом случае мало отличается от обычной.

Биметаллические средние и мелкие отливки с чистой поверхностью и более точным расположением армирующих вставок можно получить литьем в оболочковые формы, изготавливаемые из смесей на терморезистивных смоляных связующих.

Наиболее широко для изготовления биметаллических отливок применяют литье в кокиль. Этот метод литья позволяет получить отливки с прочной металлической связью и применяется чаще всего для цветных сплавов на медной и алюминиевой основах в комплексе с различными сталями и чугунами.

Биметаллические отливки, имеющие форму тел вращения, чаще отливают центробежным способом.

Точные, но не крупные биметаллические отливки получают способом литья под давлением.

Значительное развитие получило производство биметаллов на основе серебра. Разработаны и применяются композиционные порошковые, волокнистые, слоистые материалы, содержащие Ag. В промышленности используются следующие композиты: Ag + (1-40)% Ni; Ag + (10-70)% Mo; Ag + (10-90)% W; Ag + (5-20)% CdO; Ag + (8-10)% CuO; Ag + (≤ 15)% ZnO; Ag + (≤ 10)% SnO₂; Ag + (< 10)% PbO; Ag + (30-80)% WC; Ag + (1-20)% графита. Наиболее распространены композиты Ag + CdO и Ag + Ni. Исследованы композиты Ag + сталь, Ag + усы Al₂O₃ (сапфира), Ag + Cu, AgNi + латунь. Композиты на основе серебра применяются преимущественно для изготовления электрических контактов.

Существует несколько методов производства биметалла: совместная прокатка двух разнородных сплавов, гальваническое покрытие, металлизация, заливка элементов изделия из одного металла сплавом другого состава, литое плакирование, пакетная сварка прокаткой, автовакуумная сварка давлением, электродуговая наплавка, сварка взрывом. Все перечисленные способы не

обеспечивают требуемого качества соединения из разнородных материалов. Поэтому встал вопрос о создании нового способа изготовления композиционного материала, который обеспечивал бы требуемое качество соединения.

1.2.1 Физические методы нанесения покрытий из жидкой фазы

Нанесение покрытий из жидкой фазы: металлическое изделие погружают на определенное время в расплав наносимого металла. Этим способом можно получать покрытия из цинка, олова, алюминия, свинца и т. д.

Алитирование. Стальное изделие погружают в ванну с расплавленным алюминием, температура которого превышает 680°C . На поверхности металла изделия происходит реакция с алюминием, в результате которой образуется интерметаллидное покрытие из соединений железа с алюминием. Толщина покрытия составляет приблизительно 0,1 мм. Покрытия, полученные таким способом, обладают хорошей коррозионной стойкостью и жаростойкостью.

Цинкование. Изделия погружают в ванну с расплавленным цинком. Нанесенное покрытие состоит из слоя чистого цинка и нескольких слоев твердых хрупких соединений железа с цинком.

Диффузионное насыщение. Диффузионные покрытия образуются в результате насыщения различными металлами и неметаллами поверхности металлов и сплавов, нагреваемых в контакте с диффундирующим материалом. Диффундирующий материал в основном состоит из порошков металлов и сплавов. В качестве диффундирующего элемента могут быть использованы также газообразные продукты различных соединений металлов и пары самих металлов. Метод диффузионного нанесения покрытий широко используют для улучшения физико-технических свойств поверхности черных металлов. К методу диффузионного нанесения относятся: алитирование, диффузионное хромирование и цинкование, силицирование, покрытие родием и т. д.

Алитирование из газовой фазы. Обрабатываемую деталь помещают во вращающуюся печь вместе со смесью, состоящей из алюминиевого порошка, небольшого количества хлористого аммония и других добавок и

выдерживают при температуре 850—1000° С. В результате такой обработки на поверхности металлического изделия образуется диффузионная зона соединений железа с алюминием, которые обладают высокой жаростойкостью.

Диффузионное хромирование. Обрабатываемую деталь помещают в герметическую печь вместе со смесью, состоящей из порошков феррохрома, йодистого аммония, каолина и некоторых других веществ. Для сталей, содержание углерода в которых не превышает 0,3%, диффузионное хромирование производится при температуре 950—1100° С. Для сталей с высоким содержанием углерода температура в печи поддерживается в пределах 800—950° С. В первом случае на поверхности образуется коррозионностойкий слой, подобный высоколегированным хромо-никелевым сталям, во втором — образуется слой, который обладает высокой твердостью.

Карбидизация. Насыщение металлов и сплавов углеродом производится путем нагревания и выдержки при 900—950° С в течение нескольких часов или при 1050—1100° С в течение одного часа изделий в восстановительной атмосфере, содержащей углерод, окислы углерода, метан, или же в смеси, состоящей из древесного угля, углекислого натрия, углекислого бария, углекислого кальция и некоторых других добавок. При этом происходит диффузия углерода в обрабатываемый материал и образование диффузионного слоя, который обладает высокой твердостью (обычно HV 720—850).

Азотирование. Стальные изделия, содержащие алюминий, хром, молибден и некоторые другие металлы, нагревают в среде аммиака в течение 50—100 ч при 250—500° С, что приводит к образованию на поверхности нитридов, обладающих высокой твердостью (HV900—1200). Азотирование проводят для повышения коррозионной стойкости, износостойкости, сопротивления усталости и в некоторых других случаях. Образовавшееся диффузионное покрытие обладает твердостью, которая остается устойчивой при высоких температурах.

Цианирование. При карбидизации углеродистой стали в газ, используемый для карбидизации, добавляют несколько процентов аммиака и в

такой среде выдерживают при 750—900° С. В результате этого на поверхности стали происходит одновременно процесс карбидизации и азотирования и образуется твердое карбонитридное покрытие, обладающее высокой износостойкостью и коррозионной стойкостью.

Поверхностная закалка пламенем. Поверхность металлов нагревают кислородно-ацетиленовым пламенем таким образом, чтобы до закалочных температур прогрелся лишь поверхностный слой. В результате мартенситных превращений твердость этого слоя повысится.

Поверхностная закалка токами высокой частоты. Стальную деталь помещают в высокочастотный индуктор. Под действием токов высокой частоты происходит нагрев поверхностного слоя, при последующей закалке твердость поверхностного слоя повышается. Этот способ используют для повышения износостойкости обрабатываемых поверхностей.

Вакуумное напыление покрытий. Металлы или химические соединения испаряются при нагревании в вакууме 10^4 — 10^5 мм рт. ст. Атомы или молекулы их паров оседают на обрабатываемую поверхность, образуя тонкую пленку металла или химического соединения. Этот метод может быть использован для нанесения покрытий, изменяющих спектральные характеристики поверхности материалов.

Эмалирование. Покрытие наносят спеканием стекла или эмалей с металлической поверхностью. Этот метод используют для получения износостойких, коррозионностойких, теплостойких, декоративных и электроизоляционных покрытий. [17]

1.2.2 Механические методы воздействия на изделия

Плакирование. Метод заключается в соединении двух или более разнородных металлических пластин прокаткой, сваркой, взрывом, литьем и т. д. Плакирующими металлами могут быть коррозионностойкая сталь, никель, монель, медь, титан и др. Используют для защиты металлов от коррозии.

Напыление. Используя теплоту газового пламени или электрической дуги, разогревают частицы напыляемого металла до плавления или близкого к этому состоянию и напыляют на обрабатываемую поверхность.

Дробеструйный наклеп. Для повышения усталостной прочности металлическое изделие подвергают дробеструйной обработке стальной дробью, в результате чего на поверхности металла образуется упрочненный слой толщиной 0,3—0,5 мм. Применение дробеструйной обработки не вызывает структурных изменений в металле изделия. [17]

1.2.3 Особенности метода нанесения покрытий напылением

Напыление является одним из способов обработки поверхности материалов, который используется уже в течение нескольких десятилетий. Основное назначение напыления — защита от коррозии различных строительных конструкций и резервуаров, ремонт изношенных поверхностей деталей машин и инструмента.

За последние 10—15 лет наблюдается интенсивный прогресс в области создания материалов и методов напыления, что в значительной степени способствовало развитию его техники.

Разработка новых методов напыления, основанных на использовании плазменных струй, энергии детонации и других явлений, позволяет получать покрытия из таких материалов, которые не могли быть использованы. Напылением можно наносить покрытия с самыми различными свойствами. Можно напылять теплостойкие, теплоизоляционные, износостойкие, коррозионностойкие, электроизоляционные и другие покрытия.

При создании высокопроизводительных машин, аппаратов и инструментов в первую очередь возникает проблема получения таких материалов, которые могли бы противостоять жестким условиям работы. При решении этих задач особый интерес проявляется к напылению как к одному из способов обработки поверхностей материалов.

Выбор материала и метода нанесения того или иного покрытия зависит в основном от способности изделия противостоять воздействиям среды, в которой

ему предстоит работать. Кроме этого, улучшение качества поверхности материалов позволяет проектировать и изготавливать более производительные машины и аппараты. Это способствует повышению производительности труда в самых различных областях промышленности.

Преимущества:

1 Напылением можно наносить различные покрытия на изделия из самых разнообразных материалов. Так, например, металлы можно наносить на стекло, фарфор, органические материалы (дерево, ткань, бумага) и т. д.

2 Равномерное покрытие можно напылить как на большую площадь, так и на ограниченные участки больших изделий, тогда как нанесение покрытий погружением в расплав, электролитическое осаждение, диффузионное насыщение и другие методы могут быть использованы в основном для деталей, размеры которых не превышают рабочих объемов используемых для этих целей ванн или нагревательных устройств. Напыление является наиболее удобным и высокоэкономичным методом в случаях, когда необходимо нанести покрытие на часть большого изделия.

3 Напыление и наплавка являются наиболее эффективными способами в случаях, когда необходимо значительно увеличить размеры детали (восстановление и ремонт изношенных деталей). Этими методами можно наносить слои толщиной в несколько миллиметров.

4 Оборудование, на котором производят напыление, является сравнительно простым и легким и его можно достаточно быстро перемещать. Для газопламенного напыления достаточно иметь компрессор, который можно также использовать для предварительной пескоструйной обработки поверхности основы, горелку для напыления и баллоны с газами. Если же имеется источник электроэнергии, то напыление можно производить электрическими методами.

5 Для напыления можно использовать различные металлы и сплавы, а также большое число соединений и их смеси. Можно напылять раз-

6 Основа, на которую производится напыление, мало деформируется, тогда, как при других методах нанесения покрытий необходимо нагревать до высокой температуры всю деталь или большую ее часть, что часто приводит к ее деформации.

7 Напыление можно использовать для изготовления деталей различной формы. В этом случае напыление производят на поверхность оправки, которую после окончания процесса удаляют: остается оболочка из напыленного материала.

8 Технологический процесс напыления обеспечивает высокую производительность нанесения покрытия и характеризуется относительно небольшой трудоемкостью.

Недостатки:

1 При нанесении покрытий на небольшие детали процесс напыления является мало эффективным из-за больших потерь напыляемого материала и, следовательно, неэкономичным. В таких случаях покрытия лучше наносить другими способами.

2 Для предварительной подготовки поверхности основы перед напылением широко применяют песко- и дробеструйную обработку кварцевым песком, корундом, стальной крошкой и другими материалами, которые загрязняют рабочий участок и ухудшают условия работы операторов, обслуживающих установку.

3 В процессе напыления частицы напыляемого материала могут разлетаться, а также образовывать различные соединения с воздухом, что вредно для здоровья работающих. Поэтому на участке напыления нужны мощные вентиляционные установки. [17]

1.2.3.1 Классификация методов напыления

Газопламенное напыление

При газопламенном напылении источником тепловой энергии является пламя, образующееся в результате горения смеси кислород — горючий газ. Напыление в зависимости от состояния напыляемого материала может быть трех типов: проволочное, прутковое и порошковое. Кроме этого, к газопламенному методу относится детонационное напыление, основанное на использовании энергии детонации смеси кислород — горючий газ.

Проволочное, прутковое и порошковое газопламенное напыление

На рисунке 1.1 показан принцип проволочного газопламенного напыления. Прутковое напыление производится аналогичным образом. В обоих случаях напыляемый материал в виде проволоки или прутка подается через центральное отверстие горелки и расплавляется в пламени. Струя сжатого воздуха распыляет расплавленный материал на мелкие частицы, которые осаждаются на обрабатываемой поверхности. Подача проволоки производится с постоянной скоростью роликами, приводимыми в движение встроенной в горелку воздушной турбиной, работающей на сжатом воздухе, используемом для напыления, или электродвигателем через редукционный механизм. При этом необходима точная регулировка скорости вращения турбины или электродвигателя.

При использовании воздушной турбины трудно производить точную регулировку скорости подачи проволоки, однако в этом случае горелка более компактна и имеет меньшие габариты. Поэтому воздушные турбины используют в горелках, которые предназначены для ручного напыления. Горелки с электрическим двигателем позволяют более точно регулировать подачу проволоки и поддерживать ее постоянную скорость. Однако такие горелки имеют значительную массу, поэтому их устанавливают в механизированных установках для напыления. Диаметр напыляемой проволоки обычно не превышает 3 мм. При напылении же металлов с низкими температурами плавления (алюминий, цинк и т. д.) горелками с повышенной производительностью диаметр проволоки может составлять 5—7 мм.

Кислород + горючий газ

100-250 мм

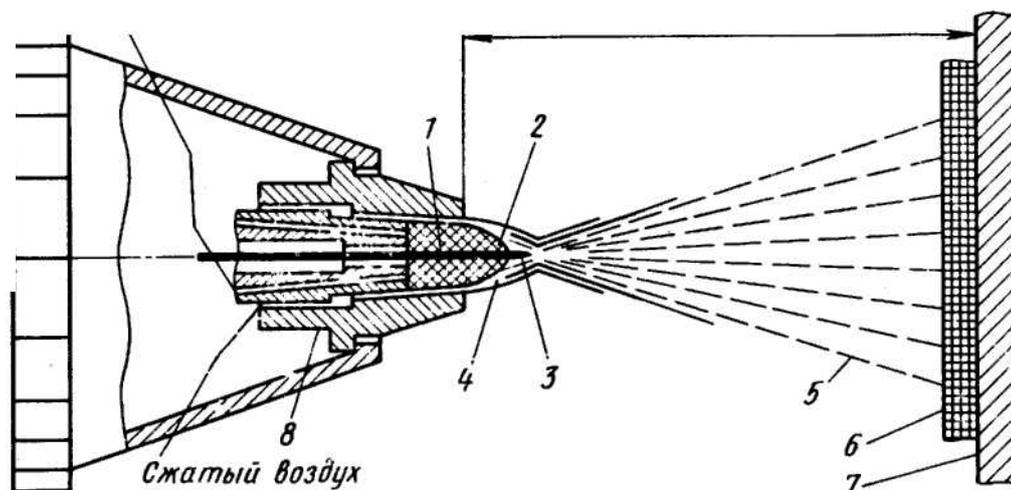


Рисунок 1.1 - Проволочное газопламенное напыление:

1 — проволока; 2 — пламя, образующееся при сгорании; 3 — оплавленный конец проволоки; 4 — воздушный поток; 5 — частицы металла; 6 — покрытие; 7 — подложка; 8 — насадок

Напыляемый порошок

100-250мм

Транспортирующий газ

Кислород + горючий газ

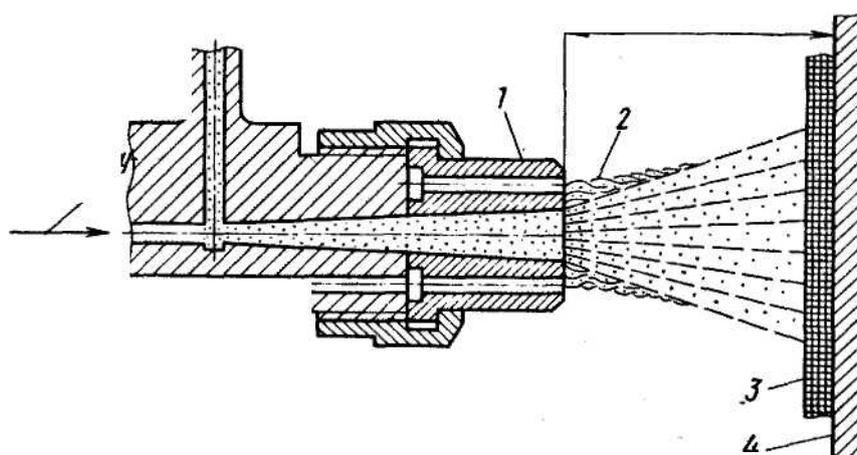


Рисунок 1.2 - Газопламенное напыление порошкового материала:

1 — сопло; 2 — факел; 3 — покрытие; 4 — подложка

На рисунке 1.2 показан принцип газопламенного напыления порошкового материала. Напыляемый порошок поступает в горелку сверху из бункера через отверстие, разгоняется потоком транспортирующего газа (смесь кислород — горючий газ) и на выходе из сопла попадает в пламя, где происходит его нагревание. Увлекаемые струей горячего газа частицы порошка попадают на напыляемую поверхность. В порошковых горелках, как и в проволочных, подача напыляемого материала в пламя и разгон образующихся расплавленных частиц может производиться при помощи струи сжатого воздуха.

Каждый из существующих методов напыления имеет технологические особенности и режимы, которые определяются особенностями конструкции распылителя, родом и формой напыляемого материала, размерами и свойствами изделия, на которое необходимо нанести покрытие, а также требованиями, которые предъявляются к напыляемому покрытию. Для различных методов напыления можно перечислить следующие общие факторы, которые влияют на свойства получаемых покрытий и технико-экономические показатели процесса.

А. Факторы, связанные с источником тепловой энергии для напыления: род горючего, количество кислорода в смеси, расход горючего и кислорода, если источник химический; потребляемая мощность, род рабочего газа и его расход, если источник электрический: конструкция горелки (источника тепловой энергии).

Б. Факторы, связанные с напыляемым материалом: состав; физические свойства; форма и грануляция в случае порошкового материала; диаметр в случае проволоочного и пруткового материала.

В. Факторы, связанные с подачей напыляемого материала: производительность подачи; род и расход транспортирующего газа в случае порошкового материала; место и угол подачи напыляемого материала в горелку.

Г. Факторы, связанные с материалом, на который производится напыление: состав; способ предварительной подготовки поверхности и степень обработки; температура материала, на который производится напыление.

Д. Факторы, связанные с процессом напыления: расстояние от сопла горелки до напыляемой поверхности (расстояние напыления); скорость перемещения горелки или напыляемой поверхности; угол наклона горелки к напыляемой поверхности; использование защитного газа и его состав; состав атмосферы напыления.

Указанные факторы связаны между собой и могут оказывать комплексное влияние на свойства покрытий. Учитывая это, условия напыления назначают для каждого отдельного случая в зависимости от напыляемого материала и материала основы. [17]

1.2.3.2 Напыляемые материалы

Создание новых, в которых для нагрева и ускорения частиц напыляемого материала используется плазменная струя или энергия взрыва смеси горючих газов, а также улучшение характеристик уже существовавших горелок позволяет напылять практически все материалы, существующие в твердом виде, которые в процессе распыления не испаряются и не изменяют значительно своих свойств.

При напылении некоторых материалов не удается получить плотного и прочного покрытия вследствие появления в напыленном слое микротрещин, образование которых связано с процессом резкого охлаждения и неравномерной усадкой расплавленных частиц в момент их соударения с подложкой.

Ниже рассматриваются свойства наиболее широко используемых для напыления проволочных и порошковых материалов.

Требования, предъявляемые к порошковым материалам, в частности к форме частиц и гранулометрическому составу (это связано с обеспечением равномерной подачи порошков в распылитель), ограничивают широкое применение порошковых способов напыления в промышленности.

Напыление композиционных покрытий является одним из методов получения плотных покрытий с малым содержанием пор, обладающих высокой жаростойкостью.

Улучшения плотности покрытия можно добиться за счет повышения качества оборудования, используемого для напыления и проведения процесса в контролируемой атмосфере, а также за счет применения плазменной горелки с насадкой, напыления с подачей порошка совместно с плазмообразующим газом, напыления при пониженном давлении.



Рисунок 1.3 - Образцы с многослойным покрытием после испытаний

Известны примеры получения плотных покрытий за счет использования композиционных материалов. Из рисунка 1.3 видно, что в структуре полученного газопламенным напылением покрытия из окиси алюминия или двуокиси циркония содержится большое количество пор, которые могут образовывать каналы, связывающие поверхность основы с поверхностью покрытия. Если в окись алюминия или двуокись циркония добавить 20—40% порошка стекла и изготовить стержни, при температуре 980—1200°C произвести спекание, а затем использовать их для газопламенного напыления, то можно получить покрытие, обладающее большой плотностью (пористость 1—2%).

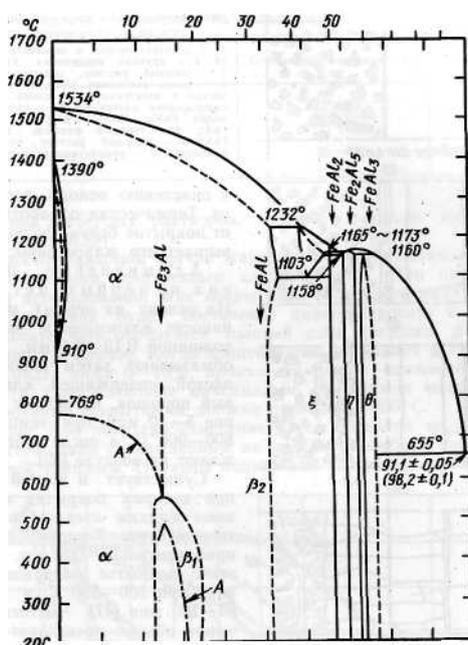


Рисунок 1.4 - Покрытие из двуокиси циркония, содержащей 20% стекла (а) и то же покрытие после испытаний при 1500°C в течение 40 ч (в), X80X3/4:

1 — напыленный слой; 2 — молибденовая основа; 3 — силикат циркония

Такие покрытия наносили на термоэлементы сопротивления, изготовленные из молибдена. Элементы помещали в воздушную атмосферу и нагревали электрическим током. Элемент с покрытием из двуокиси циркония при температуре 1500° С был защищен от окисления свыше 40 ч, а при температуре 1800°С — 30 мин. В промежуточном слое между покрытием и основой образовался силикат циркония.

Плотные покрытия из окиси алюминия с добавками порошка стекла при нагревании неустойчивы (покрытие приобретает свойства стекла). При температурах выше 1000°С в структуре покрытия появляются трещины. Поэтому можно считать, что покрытия из двуокиси циркония обладают лучшей теплостойкостью, чем покрытия из окиси алюминия. [17]

1.2.3.3 Применение напыления

В качестве источников теплоты при напылении обычно используют газовое пламя на основе кислорода — горючий газ, а также электрическую дугу. Однако газопламенным напылением нельзя получить покрытия из материалов, температура плавления которых выше температуры горения газового факела.

При электродуговом напылении материалы должны обладать электропроводностью, их используют только в виде проволоки. Этот метод напыления не позволяет напылять порошковые материалы.

Во второй половине 1950 г. появились новые методы напыления— детонационный и плазменный. Наряду с модернизацией существующего оборудования для напыления появились новые конструкции, позволяющие напылять самые различные твердые вещества не зависимо от способа их подачи (прутки, проволока, порошок).

Напыленные покрытия используют для придания поверхностям деталей различных конструкций, машин и приборов таких свойств, как износостойкость, жаростойкость, коррозионная стойкость, а также в качестве тепло- и электроизоляции и т. д.

Конструкционные материалы, из которых изготовляют различные строительные конструкции, резервуары для химических продуктов, суда и другие сооружения, при строительстве обрабатывают напылением. Напыление в этом случае применяют для защиты от коррозии. На деталях машин и аппаратов напыление в основном используют для ремонта участков, которые износились в процессе эксплуатации в результате трения или эрозии. Напылением сравнительно просто наносить покрытия на участки из самых разнообразных материалов и надежно защищать эти участки. При умелом использовании особенностей напыления еще на стадии проектирования можно в значительной степени повысить экономичность конструкции и ее технические характеристики.

Применение:

- в цементной промышленности — крыльчатка воздуходувок, детали конвейеров, клапаны и седла клапанов, подшипники;
- в химической промышленности — клапаны и седла клапанов, крыльчатка и оси насосов, кислотостойкие плунжеры насосов, втулки, кольца и др.;
- в угольной и металлообрабатывающей промышленности — лопатки насосов, детали проходческих комбайнов, защитные экраны, детали пневмооборудования, матрицы, пуансоны и другие детали штамповочного оборудования и др.;
- в станкостроительной промышленности — различные калибры, оправки, детали полировальных станков, втулки уплотнений, центры токарных станков, шнеки;
- в энергетической промышленности — шнеки для подачи каменного угля, вентиляционное оборудование, паровые клапаны, детали конвейеров и др.;
- в других областях — различные подшипники, коленчатые валы, вальцы, зубчатые колеса (зубья) и др.

Применение напыления в областях, требующих коррозионной стойкости покрытий и стойкости к окислению. Цинковые покрытия (толщина 0,08—0,38 мм) используют обычно для защиты стали в воздушной атмосфере, а также в пресной и соленой воде.

Покрытия наносят на стальные конструкции, мосты, башни, шлюзы, суда, резервуары для хранения воды, трубопроводы, различное шахтовое оборудование, газовые емкости, моечные устройства, воздуходувки, насосы, стальные шасси, перила и др.

Алюминиевые покрытия (толщина 0,13—0,51 мм) используют для защиты стали в обычной и промышленной атмосферах, а также морской воде, как при комнатной, так и при повышенной температуре.

Покрытия наносят на резервуары для хранения воды, стальные конструкции, работающие в промышленных районах в сернистой атмосфере, оборудование пищевой промышленности, камеры сгорания, дымоходы, корпуса судов и т. д.

Кадмиевые покрытия используют так же, как и алюминиевые. [17]

1.2.4 Получение биметалла сваркой взрывом

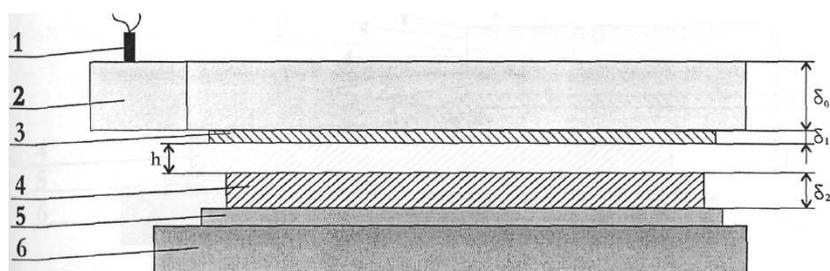
На сегодняшний день разработано достаточно большое количество схем сварки взрывом. В зависимости от конкретных особенностей соединяемых материалов с применением данных схем возможно проводить сварку широкого ряда металлов и сплавов при различной форме и размерах соединяемых элементов.

Для сварки листовых материалов наиболее распространены две основные схемы сварки взрывом: с параллельным, представлено на рисунке 1.5 и с угловым на том же рисунке, расположением соединяемых пластин [7, 9].

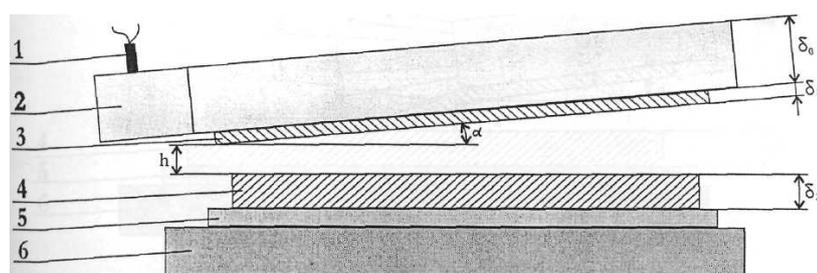
Неподвижную пластину 4 и метаемую пластину 3 располагают параллельно либо под углом α на заданном расстоянии h от вершины угла. На метаемую пластину 3 укладывают заряд взрывчатого вещества (ВВ) 2.

В вершине угла устанавливают детонатор 1. Сварка производится на опорах 5 и 6 (металлическая плита, дерево, бетон, песок и т.д.).

При инициировании по заряду ВВ распространяется фронт детонации со скоростью D до нескольких тысяч метров в секунду. Под действием высокого давления расширяющихся продуктов взрыва метаемая пластина приобретает скорость V_0 порядка нескольких сотен метров в секунду и соударяется с неподвижной пластиной под определенным углом α . Вследствие высоких скорости соударения и давления в зоне контакта происходит очистка поверхностей, их активация и образование соединения.



а - с параллельным расположением пластин;



б - с угловым расположением пластин.

Рисунок 1.5 - Схемы сварки взрывом

На первой стадии под воздействием пластической деформации атомы соединяемых металлов сближаются на расстояние, при котором проявляется действие сил межатомного взаимодействия и образуется физический контакт. При сближении возможно валентное межатомное взаимодействие с образованием слабых химических связей.

Для образования полного физического контакта необходима микропластическая деформация, а также деформация приконтактных объемов и в целом свариваемых тел.

Взаимодействие соединяемых металлов возникает, прежде всего в тех зонах, где касательные напряжения достигают своего максимума и начинаются

сдвиговые процессы - скольжение одной части кристаллита относительно другой по определенным кристаллографическим плоскостям и направлениям. На контактных поверхностях соединяемых металлов вследствие этого образуются деформационные выступы - ступеньки. Если скольжение происходит по нескольким кристаллографическим направлениям, то наибольший сдвиг возникает в местах расщепления и пересечения полос и в результате этого образуется "деформационный рельеф".

Сваркой взрывом можно получать соединения из разнообразных металлов и сплавов, что является одним из главных ее достоинств.

Номенклатура металлов сваренных взрывом, достаточно велика (около 150 сочетаний) и постоянно расширяется. Быстротечность процесса ударно-волнового нагружения, специфические условия отвода тепла и образование в материалах волн сжатия, на фронте которых развиваются высокие (до нескольких десятков ГПа) динамические давления, оказывают существенное влияние на структуру и свойства металлов и сплавов. При этом механические свойства металлов резко изменяются как в процессе взрывного нагружения, так и в результате остаточного действия возникающих при сварке взрывом напряжений.

При воздействии на материалы ударных волн существенно повышается их износостойкость, прочность, твердость, что связано с возникновением локальных напряжений и увеличением плотности дислокаций. При отсутствии полиморфных превращений степень такого упрочнения сначала растет с увеличением развиваемого давления, а затем начинает снижаться; зависимость пластичности материала носит обратный характер.

ВЫВОДЫ

1. Литые наиболее целесообразно применять для соединения таких материалов, которые известными способами получить затруднительно или невозможно.

2. Разработанные в настоящее время способы получения композиционного материала при литье не позволяют получить качественное соединение двух материалов с заданной толщиной и требуемыми свойствами.

3. Существует необходимость разработки новых способов получения композиционных материалов, отвечающих данным требованиям.

1.3 Исследования образования пригара на отливках

Отсутствие научной теории пригораемости формовочной смеси к отливкам, недостаточная изученность физико-химических процессов, протекающих на поверхности залитой формы, и сложность рассматриваемого вопроса породили значительное количество всевозможных гипотетических толкований. Поэтому установление природы и механизма образования пригара смеси к отливкам является исключительно актуальным вопросом во всей литейной промышленности.

Огромная номенклатура литых деталей различного веса и габаритов продолжает производиться обычными методами с применением песчаных форм и стержней. Поэтому получение чистых поверхностей отливок является одной из главнейших задач в литейном производстве и, особенно в производстве стального фасонного литья.

Издержки производства по очистке литья от пригоревшей смеси чрезвычайно велики, и в ряде случаев превышают стоимость формовочных и стержневых работ.

Получение отливок с чистыми поверхностями позволит снизить припуски на механическую обработку отливок.

Кроме того, механическая обработка отливок с пригоревшей формовочной смесью вызывает уменьшение скоростей резания и быстрый износ режущего инструмента. Следует также отметить, что на поверхностях отливок, не подвергшихся механической обработке, сохраняется пленка окислов, которая защищает металл от атмосферной коррозии. При удалении пригара окисная пленка разрушается, и тем самым ухудшается антикоррозийность поверхностного

сложения отливки. Все эти факты говорят о большом народно-хозяйственном значении снижения припусков на механическую обработку отливок.

Чистота поверхности отливок необходима также для долговечности деталей машин и для обеспечения механической прочности сечений деталей, особенно в тонкостенном литье. Недопустимо, например, наличие приставшего песка в деталях насосов и других машин, ибо засорение внутренней поверхности отливок песком может вызвать и засорение машины. Шероховатая и неровная необрабатываемая поверхность отливок способствует неравномерному распределению напряжений (аналогично надрезам). Замечено, что при применении сравнительно крупных песков для формовки шестерни с литым зубом имели место случаи поломок зубьев вследствие их неровной, шероховатой поверхности.

Анализируя явление пригара, А. А. Рыжиков заключает, что просачивание жидкого металла через поры и капилляры затвердевающей корки отливки снижает плотность отливки и вызывает потери металла. Таким образом, чистота поверхности отливок является одним из важнейших факторов улучшения качества отливок и вместе с тем придает отливкам хороший внешний товарный вид.

Нельзя пройти и мимо того факта, что тяжелая трудоемкая работа по очистке литья от пригоревшей смеси относится к числу вредных производств. Сильная запыленность обрубных отделений вызывает заболевания силикозисом, а сотрясение и шум от пневматических зубил, очистных барабанов и пескоструйных камер вызывают травмы слуха; значительный процент обрубщиков страдает в той или иной мере глухотой.

Как видно, наименьшими температурами плавления отличаются кислые окислы (SiO_2 , TiO_2), а наибольшими основными окислы (MgO , CaO). Температура плавления амфотерных окислов (Al_2O_3 , Cr_2O_3) занимает промежуточное положение. В литейном производстве применяются почти исключительно кварцевые пески и огнеупорные глины.

Однако, как отмечает П. П. Берг, не исключена возможность применения и «основных» смесей, т. е. состоящих из оснований типа CaO, MgO, вместо применяемых «кислых» смесей, состоящих, главным образом, из ангидридов кислот (SiO₂). В настоящей работе применению основных и амфотерных формовочных материалов уделяется особое внимание.

Если раньше песок и глина считались единственными исходными формовочными материалами, то теперь находят применение такие материалы, как хромиты, форстериты, каустический магнезит, цемент и пр.

Кварцевые пески. Пески — наиболее распространенный и доступный формовочный материал. При современных масштабах литейного производства они являются труднозаменимыми составными частями формовочных и стержневых смесей. [11]

Влияние зернового состава на температуры спекания песка. В целях проверки значения зернистости песков были проведены специальные исследования на их термофизические и физико-механические свойства. В частности были определены температуры спекания песков, в зависимости от их зернового состава. При высокой температуре заливки стали, в случае применения недостаточно огнеупорных песков, может произойти в значительной мере сплавление зерен песка. В этом случае неизбежно образуются пустоты в облицовке формы, ибо удельный вес сплавленного кварца увеличивается с 1,7 до 2,65. Увеличение удельного веса означает, что сплавленный песок занимает только 64% объема несплавленного песка. Разница в 36% будет представлять пустоты. Эти дополнительные пустоты способствуют проникновению жидкого металла в поры облицовки формы. Поэтому применение недостаточно огнеупорных, а особенно мелких, легко спекаемых песков, для стального литья сопряжено с увеличением пригара.

При чугунном литье, когда температура заливки значительно ниже, применение мелких песков, наоборот, желательно. Как указывалось выше, применение крупных песков для шестерни с литым зубом вызывало поломку зуба. Когда же для получения чистой и ровной поверхности зубьев был введен в со-

став мелкий кварцевый песок марки К-140/200 в количестве 50% шестерни получились с чистым и ровным зубом.

Испытание на водопроницаемость хотя и не является стандартным методом испытания формовочных материалов, но как дополнение к ситовому анализу дает более наглядное представление о зерновой структуре песка.

Водопроницаемость определялась методом просачивания воды до дна пробирки через слой песка высотой 50 мм.

Для испытания брали 15 см³ формовочного материала, сверху наливали 10 см³ воды и по секундомеру отмечали время прохождения воды до дна пробирки.

Таблица 1.12

Содержание пыли в %	Глубина проникновения металла в мм	Примечание
0	0,40	Поверхность удовлетворительная
10	0,45	То же
20	0,70	Имеется приставание смеси
30	1,25	Сильный пригар
40	1,6	То же
50	2,2	»

Влияние запыленности песков на пригар

Среди песков уральских месторождений встречаются очень мелкие пески, которые находят применение в некоторых литейных. Практикой установлено, что мелкие пески для чугунного и цветного литья могут быть успешно использованы. Однако, пылеватые, а также пески, запыленные многократным использованием, отрицательно действуют на качество поверхностей стальных отливок и способствуют образованию пригара. Химический состав пыли следующий:

SiO₂-78%; Al₂O₃-18%; Fe₂O₃-2%; CaO + MgO-1,5% Зерновой состав пыли: Тазик 73%.

Как видим, пылеватые пески, а также многократное использование горелой смеси без регенерации или достаточного систематического освежения,

приводит к заметному увеличению пригара, что подтверждается и практикой ряда заводов. Увеличение пыли в горелой смеси происходит в результате разрушения зерен кварца под действием высокой температуры и растирания песка во время перемешивания смеси в бегунах.

Невыгоревший при заливке крепитель образует на зернах очень тонкие органические пленки, придающие смеси черный цвет, который после прокаливания в муфеле переходит в цвет прокаленного свежего песка. Зерна при этом остаются округленными, т. е. растрескивания кварцевых зерен при прокаливании (880°) не наблюдается.

Следует отметить, что применение мелких пылеватых кварцевых песков возможно только при наличии высокого содержания в них кремнезема (не менее 90—93%). В противном случае пригар смеси увеличивается, особенно на стальном литье, так как огнеупорность мелких фракций песка значительно понижена. Кроме того, применение заливки в сырые формы, при низкой газопроницаемости формовочной смеси (менее 40—50), становится невозможным из-за опасности образования газовых раковин.

Вредной примесью в формовочных песках, значительно понижающей их огнеупорность, является полевой шпат. Полевой шпат представляет алюмосиликатные соли металлов Na, K, Ca; ортоклаз или микроклин $KAlSi_3O_8$, альбит $NaAlSi_3O_8$ и анортит $CaAl_2Si_2O_8$. Обычно они образуют между собой различные изоморфные смеси: а) калинатровых полевых шпатов с температурой плавления $1170—1450^{\circ}$ и б) натрово-известковых полевых шпатов с температурой плавления $1100—1550^{\circ}$, в то время как температура плавления кварца (SiO_2) $1710^{\circ}C$.

Термическое расширение песков. В условиях залитой формы происходит резкий нагрев поверхностных слоев песка, прилегающих к отливке. Значительное термическое расширение песка может повлечь за собой целый ряд дефектов (ужимины, плены и пр.). Поэтому необходимо знать коэффициенты термического расширения песков.

1.3.1 Причины и виды пригара на отливках

Процесс образования пригара очень сложен и зависит от следующих факторов:

- а) огнеупорности формовочной смеси;
- б) пористости формы или стержней;
- в) спекаемости формовочных смесей;
- г) температуры заливаемого металла;
- д) давления как металлостатического, так и возникающего в результате

усадки отливки.

Кроме того, пригар в сильной степени зависит от качества краски и припыла, от техники их нанесения, также от технологии самой формовки: метода подвод литников и способов заливки.

Разнообразные теории пригара можно разделить три основные группы:

- а) термический пригар — образование спекшейся корочки при недостаточной огнеупорности песка;
- б) химический пригар — образование легкоплавких силикатов железа за счет реакции между SiO_2 формы и FeO отливки;
- в) механический пригар — проникновение жидкого металла в поры облицовки формы.

Пригар является результатом сложных физико-химических процессов, протекающих на границе раздела металл — форма. Поэтому всякая теория чисто химическая, термическая или только механическая является односторонней и не может дать правильного направления для выработки практических мероприятий по устранению причин, вызывающих пригар.

Для установления природы и механизма пригара смеси к отливкам были проведены специальные петрографические исследования корки залитой формы и рентгенографические исследования поверхностной пленки отливок. Рассмотрим влияние различных факторов на образование пригара.

1.3.2 Термические превращения корки песчаной формы, контактирующей с расплавленной сталью

Согласно объяснению Таммана, при повышении температуры амплитуда колебаний ионов или частей молекул кристаллической решетки становится значительной, и они могут меняться местами. Такой обмен может происходить как между осколками кристаллов с одинаковой решеткой (рекристаллизация), так и между осколками кристаллов с разными решетками. Так, например, Fe_2O_3 способна диффундировать в кварц при температурах 400—500°, окрашивая его в розовый цвет.

Из практики производства динасового кирпича известно, что если зерна кварца малы по величине, имеют зазубренные поверхности и плотно соединены между собой, то спекшаяся корка отличается плотной структурой. Если же зерна кварца имеют окатанную форму и более или менее значительные размеры, то спекшаяся корка приобретает рыхлую структуру. В отношении формы зерна лучшими являются кварциты, которые при помоле дают зерна с рваными зазубренными гранями.

На основании данных петрографического исследования корки формы, приходившей в продолжительный контакт с жидкой сталью, установлено:

а) при соприкосновении поверхности песчаной формы с расплавленной сталью происходит спекание корки облицовки формы толщиной до 5—10 мм. Степень спекания и толщина корки зависят от природы формовочного материала, а также от температуры заливки и длительности контакта формы с горячим металлом;

б) зерна песка в спекшейся корке формы чаще не претерпевают аллотропических превращений и остаются в форме кварца, однако, некоторые зерна кварца частично или полностью переходят в кристобалит;

в) значительная часть зерен кварца в спекшейся корке формы разрушена или имеет сильную трещиноватость; наблюдаются также сильно сплавленные зерна кварца, А. П. Гончаров также отмечает, что количество зерен, сохранив-

ших свою цельность в отношении растрескивания и оплавления в корке формы, не превышает 60%;

г) в участках между зернами кварца образуется аморфная масса в виде стекла, которая цементирует отдельные зерна кварца; в образовании аморфной массы существенное значение имеют глинистые частицы формы, а также окислы железа, проникающие в поры формы со стороны отливки.

Аналогичные исследования корки формы от чугунной отливки показали, что кварцевые зерна не подвержены перерождению ни в какие иные модификации. В редких случаях наблюдается растрескивание зерен; дегидратация глины резко выражена только в поверхностной зоне формы. Никаких признаков образования вторичных минералов под влиянием высоких температур отливки не было обнаружено.

Как будет видно из дальнейшего, образование плотной спекшейся корочки, легко отстающей от поверхности отливки, исключает образование пригара, обусловленного проникновением жидкого металла в поры формы. Более плотную корку дают мелкие зерна кварца с зазубренной поверхностью. Для создания плотной спекшейся корки целесообразна добавка в формовочные смеси минерализаторов (в частности молотого кварцита или пылевидного кварца).

Приведенные положения о получении отливок чистыми поверхностями сделаны на основании петрографических исследований корки формы и были подтверждены заводской практикой.

1.3.3 Химический пригар

Теории химического пригара

Зерна кварца, т. е. чистый кварцевый песок, при отсутствии глины и флюсующих примесей, имеет высокую температуру плавления при 1710°. Однако, на поверхности заливаемого металла (чугуна или стали) имеются окислы железа и марганца, которые вступают в химическое взаимодействие с кремнеземом формы или стержня; в результате образуются различного рода силикаты железа, марганца или другие сравнительно легкоплавкие соединения.

Еще В. Е. Грум-Гржимайло отметил, что когда форма заполняется сталью, то в соприкосновение с песчинками приходит не расплавленный металл, а тонкий слой окислов, покрывающий поверхность жидкой стали. Окислы железа действуют на кремнезем формы, и ее поверхность смачивается легкоплавким силикатом $\text{FeO} \cdot \text{SiO}_2$.

Истинная температура разливки стали составляет примерно 1550° . Следовательно, пленка окислов железа (FeO), плавящаяся при температуре 1370° , будет сильно перегрета и, обладая большой жидкоподвижностью, будет легко проникать в поры формы. Совершенно очевидно, что чем больше будет пористость облицовки формы, тем легче и глубже будут проникать в нее окислы и силикаты железа.

П. И. Бидуля считает, что близкие к металлу частицы смеси, вступая в химическое соединение с окислами металла, дают шлак, пригорающий к отливке.

А. А. Рыжиков полагает, что пригар происходит не за счет контакта жидкого металла с облицовкой формы, а в течение охлаждения отливки. Проведенные исследования скорости кристаллизации отливок и скорости прогрева форм показывают, что прогрев формы происходит относительно медленно, а нарастание поверхностной корки отливки совершается быстро. Таким образом, контакт жидкого металла с формой происходит в течение короткого промежутка времени.

Принимая для углеродистой стали с содержанием 0,35% углерода температуру заливки 1550° , получим:

$$T_{\text{п}} = 0,95 \cdot 1550 = 1470^\circ.$$

Отсюда температура затвердевания данной стали может быть принята в $1470\text{—}1480^\circ$. А это значит, что при заливке любых форм в момент контакта металла с формой происходит почти мгновенное образование твердой металлической корки и в дальнейшем форма будет иметь контакт только с твердым металлом.

Процесс образования химического пригара необходимо увязать с диаграммой FeO—SiO₂. Температура плавления FeO равна 1370°. На поверхности затвердевающей отливки образуются окислы, которые находятся в достаточно жидкоподвижном состоянии и реагируют с кремнеземом формы. Как видно из диаграммы состояния, при 20% SiO₂ в этой системе имеется эвтектика с температурой плавления 1240° и при 36% SiO₂ имеется вторая эвтектика с температурой плавления 1260°.

На основании этого А. А. Рыжиков, еще несколько лет тому назад, сделал следующие заключения:

- образующиеся жидкие окислы металлов могут служить механической связкой между отливкой и материалом формы (что П. П. Берг называет промежуточным соединением);

- окислы металлов, вступая во взаимодействие с кремнеземом формы, создают новые жидкоплавкие соединения, увеличивая тем самым количество этой связки, чем, в свою очередь, увеличивается количество приставшей к отливкам смеси;

- увеличение толщины пригара будет происходить до момента затвердевания связки;

- пригар будет тем больше, чем больше образуется окислов на поверхности отливки. Количество окислов зависит от скорости охлаждения отливки, состава металла и атмосферы на поверхности контакта формы с отливкой.

В результате химического взаимодействия окислов металла с облицовкой песчаной формы последняя расплавляется и может получиться достаточно мягкой и вязкой, особенно при литье марганцовистой стали. Окись марганца является сильным флюсующим средством и разрушающим образом действует не только на кремнезем, но и на глинозем формовочной смеси. Несмотря на относительно невысокое содержание марганца в стали, в корке пригара содержание окислов марганца может быть значительным.

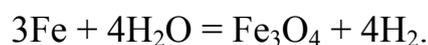
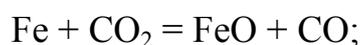
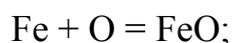
Образование поверхностных оксидных пленок на отливках

В процессе заливки металла, а также в момент контакта его с поверхностью формы, как уже отмечалось, происходит образование окисных пленок на

поверхности отливки. В зависимости от химической активности образовавшихся окислов последние могут вступить в химическое взаимодействие с облицовкой формы. Таким образом, непосредственно с облицовкой формы граничит не металлическая поверхность отливки, а слой окислов металла, скорость образования которого почти мгновенна.

На металлах адсорбционные пленки удерживаются весьма прочно. Первый слой атомов кислорода связан с металлом ковалентными силами. При длительном соприкосновении с воздухом, в особенности при высоких температурах, на некоторых металлах образуются толстые оксидные пленки. В отдельных случаях, например, на поверхности алюминия, они образуются настолько быстро, что смачивание металла другим расплавленным металлом, а следовательно и пайка или сварка, сильно затрудняется. Природа и свойства поверхностных слоев на междофазных границах системы металл — форма определяют кинетику происходящих гетерогенных процессов.

Таким образом, в условиях залитой формы неизбежно появление на поверхности отливки пленок — продуктов реакции между металлом и кислородом формы, имеющимся в полости формы, а также в межзерновых промежутках облицовки формы. Окисление поверхности отливки может произойти также за счет $\text{CO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$. Таким образом, реакции окисления металла в первые моменты после окончания заливки могут быть следующие:



В начальный момент действия реагента на металл может образоваться лишь мономолекулярная пленка, которая постепенно будет утолщаться. Таким образом, в начальный период после окончания заливки происходит как бы процесс газовой коррозии.

Окалина на железе и стали имеет макроскопически сложное строение: тонкий внешний слой (Fe_2O_3), средний крупнокристаллический толстый слой

(Fe_3O_4) и внутренний слой (FeO). Заметное на глаз слоистое строение железной окалины обнаруживается при толщине 0,1 мм.

При окислении стали в атмосфере воздуха в окалине много Fe_3O_4 ; при окислении в атмосфере CO_2 и водяного пара — много FeO . Углекислота по сравнению с другими газами является самым слабым окислителем. Газами, защищающими сталь от окисления, являются: H_2 , CH_4 и CO . Поэтому, относительная чистота в отношении пригара при заливке в сырые формы объясняется не столько охлаждающим эффектом сырой формы, сколько образующимся при этом в большом количестве водородом, в результате разложения воды.

Соединение Fe_2O_3 при высоких температурах неустойчиво и при 1400° переходит в Fe_3O_4 , которое плавится при 1560° . Если бы такое соединение существовало, то образовавшаяся окисная пленка являлась бы более огнеупорной, чем собственно металл. Однако, в условиях залитой формы при недостатке кислорода в плоскости контакта металл — форма и отсутствии заметного движения газов пленка окислов в основном состоит из FeO , температура плавления которого 1370° , т. е., примерно, на 100° ниже температуры плавления обычной углеродистой стали. Следовательно, пленка окислов при температурах разлива стали будет сильно перегрета и жидкоподвижна.

В условиях литейной формы, когда обнажается для воздействия газовой среды чистая поверхность расплавленного металла, образование оксидной пленки определенной структуры, которая в дальнейшем остается качественно неизменной, заканчивается весьма быстро — в доли секунды.

На высоколегированных жаростойких сталях образуется сплошная тонкая и плотная оксидная пленка. Обычно эта защитная пленка появляется при окислении таких элементов, которые обладают большим сродством к кислороду, чем железо. Хром, алюминий, кремний дают прочные защитные пленки (Cr_2O_3 , Al_2O_3 , SiO_2), которые с кремнеземистой облицовкой формы не вступают в химическое взаимодействие.

1.3.4 Механический пригар

Теория механического пригара

Химико-физические процессы, происходящие на поверхности контакта металла с формой, оказывают существенное влияние на природу, характер и степень пригара смеси к отливке. Однако не все случаи подобных дефектов поверхностей отливок могут быть объяснены теорией химического пригара.

Как уже отмечалось, пригар смеси к отливкам имеет место также и на отливках из медных, алюминиевых и других сплавов. В этом случае, никаких реакций образования силикатов железа или каких-либо других легкоплавких соединений не происходит, поэтому, на основании теории химического пригара не представляется возможным объяснить случаи пригара на отливках из этих сплавов.

Более общей и основной причиной пригара смеси к отливкам является чисто механическое проникновение жидкого металла в поры формы.

До тех пор, пока металл находится в жидком состоянии, он может проникать в поры между зёрнами песка. Глубина проникновения металла может быть значительной, если поверхность формы перегрета выше точки затвердевания металла. Это может иметь место в участках формы на пути движения металла, в тонких стержнях и в выступающих частях формы, окруженных значительной массой металла, в частности — во внутренних и во внешних углах формы. Прожилки металла, проникающие в поры формы, как установлено микроскопическим путем, покрыты пленкой окислов железа и эти окислы создают условия смачиваемости зерен кварца металлом.

Высокая огнеупорность формовочной смеси не может устранить явлений механического пригара, и в ряде случаев наблюдается обратная зависимость. Действительно, когда на поверхности формы образуется плотный спекшийся слой, непроницаемый для металла, пригар отсутствует. Образовавшаяся корка формы может легко отставать от отливки вследствие различных коэффициентов термического сокращения отливки и корки смеси. Таким образом, широко распространенное мнение, что пригар обуславливается недостаточной огнеупорностью песков, является несостоятельным.

На пригораемость формовочной смеси к отливкам в той или иной степени влияют различные значения физико-механических и термо-физических свойств облицовки формы. Особенное же значение оказывает пористость облицовки формы.

Рассматривая свойства формовочных материалов, П. П. Берг отмечает, что величина зерна является во многих случаях решающим свойством и стоит на первом месте. Для получения достаточно высоких значений газопроницаемости в литейной практике применяются пески определенной зернистости.

По Бергу, величина зерна песка должна быть не более 0,3 мм, но и такие пески надо считать слишком крупными; они могут быть использованы только в смеси с более мелкими песками или с добавкой пылевидного кварца.

В исследовании, проведенном А. А. Рыжиковым и А. В. Булыгиной, подчеркивается, что высокая пористость формы вызывает проникновение жидкого металла в поры и в этом случае толщина пригара может достигнуть 100 мм и более. Содержание железа в корке пригара, непосредственно прилегающей к отливке, достигает 20%.

В исследовании, проведенном А. Д. Поповым и Р. П. Кузиным, было установлено, что основная и решающая причина пригара заключается в отсутствии удовлетворительной противопригарной краски, которая давала бы плотный и прочный слой, закрывающий поры между зернами песка, т. е. устраняла бы проникновение металла в поры формы.

Н. С. Крещановский, изучая поведение формовочных материалов при взаимодействии их с различными по химическому составу жидкими сталями, также указывает, что, кроме химического взаимодействия окислов металла с облицовкой формы, происходит механическое проникновение жидкой стали в межзерновые пустоты формовочной смеси, образуя слой заваренного в металле песка, который невозможно отделить от поверхности отливки.

Если примем объемный вес песка 1,6, а удельный вес твердой фазы песка 2,6, то пористость составит 40%. Распределение этого объема по порам различного диаметра, так называемая дифференциальная пористость, у более мелких

материалов будет значительно ниже, хотя общая пористость у более мелких материалов несколько выше. Теоретически невозможно уложить неупругие шары одинакового диаметра так, чтобы они давали пористость, меньшую чем 25,5%. Величина пористости неупругих шаров одинакового диаметра не зависит теоретически от абсолютной величины этого диаметра. Неоднородная смесь, состоящая из зерен, сильно отличающихся по своему диаметру, может иметь пористость меньше чем 25,5%.

Для установления природы механического пригара было произведено изучение пригоревшей формовочной массы к стальной отливке.

Для определения характера пригара с поверхности отливки снимается корочка пригара. Навеска 3—5 г этих корочек растворяется в соляной кислоте и осадок отфильтровывается. В случае механического пригара осадок представляет собой отдельные зерна песка; при химическом пригаре осадок имеет вид отдельных зубчатых корочек из спекшихся между собой песчинок.

Глубина проникновения металла уменьшается по мере уменьшения величины зерна и связанного с этим уменьшения размера пор в облицовке. Однако, отставание песка от отливки при уменьшении величины зерна улучшается до известного предела измельчения, после которого количество пристающего песка может резко возрасти (в случае стального литья).

А. А. Рыжиков считает, что пригар металла происходит в результате просачивания жидкого сплава через поверхностный, частично затвердевший слой отливки. При этом происходит определенная потеря металла и, если она не будет компенсирована прибылью, то в отливке образуется полость, соответствующая объему ушедшего металла. Получается искусственно увеличенная усадочная раковина. Это вид пригара тесно связан с общей проблемой плотностью отливок: снижая пригар, увеличиваем гарантию более высокой плотности отливок и уменьшаем не только потери на очистке отливок, но и прямые потери металла.

Влияние поверхностного натяжения металлов на пригар

Сила, с которой расплавленный металл стремится уменьшить свою поверхность, называется силой поверхностного натяжения. Сила поверхностного натяжения зависит от атомного веса, температуры жидкого металла, наличия окисных пленок и неметаллических включений, химического состава сплава и пр.

На поверхности формы имеются поры, которые можно представить себе, как капилляры, закрытые со стороны формы. Если жидкость полностью смачивает стенки капилляра, то образуется вогнутый мениск с радиусом, приблизительно равным радиусу капилляра. Сталь и другие металлы не смачивают кремнезем и, казалось бы, вопрос смачиваемости не имеет отношения к пригару. Однако окислы железа смачивают частицы кремнезема, из которых состоит поверхность формы.

Чем ниже атомный вес металла, тем выше сила поверхностного натяжения. С повышением температуры выше ликвидуса понижается поверхностное натяжение и соответственно повышается жидкотекучесть. Чем больше в расплавленном металле посторонних включений, тем сильнее поверхностное натяжение и соответственно ниже жидкотекучесть. Поверхностное натяжение тем больше, чем выше температура плавления данного сплава. Пленки и окислы различно влияют на силы поверхностного натяжения и условия смачиваемости. Например, сплав с 15% Si с температурой плавления около 95° затвердевает в небольшом интервале температур (20—25°); на поверхности сплава в жидком состоянии наблюдается тонкая пленка окисла кремния, которая увеличивает поверхностное натяжение жидкого металла. Поэтому, поверхность отливок получается всегда чистой, и пригара формовочной смеси почти не наблюдается.

Точно также пленка окислов Al_2O_3 при литье алюминия препятствует плотному прилипанию жидкого, металла к поверхности формы, чем и объясняется чистота поверхностей алюминиевых отливок, несмотря на пониженное поверхностное натяжение.

Острые ребра твердых частиц формы увеличивает краевой угол (краевой эффект). С этой точки зрения применение хлопьевидных чешуйчатых покрытий литейной формы должно дать благоприятный эффект — меньшую глубину проникновения металла в форму. Действительно, серебристый чешуйчатый графит обеспечивает особенно хорошую поверхность чугунного литья. При сильной шероховатости поверхности (порошкообразная поверхность) краевой угол больше, чем на гладкой плоской поверхности из этого же материала.

Формовочная смесь по отношению к металлу является гидрофобной или, точнее, металлофобной. Однако наличие смачивающих поверхностных пленок окислов может эту систему в большей или меньшей степени делать металлофильной, смачиваемой. Для прохождения металла через зазоры между песчинками требуется значительное давление. Это давление, способное протолкнуть металл через поры песка, прямо пропорционально поверхностному натяжению на границе металл — воздух и обратно пропорционально ширине зазоров. Таким образом, для металлонепроницаемости поверхности формы, необходимо, чтобы она была плотной и металлофобной.

Самарин А. М. и Нехендзи Ю. А. отмечают, что смачивание является первой стадией взаимодействия между жидким и твердым телом, если между ними имеется химическое сродство. Если поверхность металла окислена, то окислы (например, FeO) дают смачивание, и металл втягивается в поры стенок формы (положительная капиллярность).

Поверхностное натяжение жидких металлов может изменяться в зависимости от среды (восстановительной или окислительной) в 2—3 раза. Окислы железа, меди, никеля (до некоторой степени растворимые в металле) способствуют смачиванию кремнекислоты жидким металлом. Окислы же многовалентных металлов, например окись алюминия, нерастворимая в металле, противодействуют смачиванию. Таким образом, влияние тончайших пленок окислов резко сказывается на смачивании поверхности формы жидким металлом, например, поверхностное натяжение алюминия покрытого пленкой Al_2O_3 больше в 2,8 раза, чем чистого алюминия.

Поверхностное натяжение в значительной степени зависит от температуры и уменьшается с увеличением последней, становясь равным нулю при достижении критической температуры. На границе раздела двух жидких фаз поверхностное натяжение резко снижается. Следовательно, в этом случае пригар смеси может возрасти, если огнеупорность ее мала.

Однако даже при наличии условий смачиваемости жидкий металл не может втягиваться в тонкие поры формы без соответствующего давления, которое могло бы преодолеть силы поверхностного натяжения металла.

Таким образом, чтобы металл мог проникнуть в поры формы требуется, как это отмечает Ю. А. Нехендзи, давление, которое прямо пропорционально поверхностному натяжению металла и обратно пропорционально диаметру пор формы.

На огнеупорность формовочной смеси, а, следовательно, на ее пригораемость значительное влияние оказывает также металлостатическое давление еще жидкого металла. Избыточное давление в несколько атмосфер в литейной форме вполне возможно, так как одной атмосфере соответствует столб жидкой стали высотой 1,3 м.

Формовочная смесь состоит из зерен кварца или другого материала, в промежутках между которыми находится связующее вещество, обладающее более низкой температурой плавления, и поэтому деформация материала под нагрузкой будет происходить при температуре размягчения связующего. Следовательно, деформация формовочной смеси под нагрузкой при высоких температурах будет значительно ниже (по литературным данным на 100—120°) по сравнению с огнеупорностью без нагрузки.

Непрерывный тесный контакт внутренних полостей отливок с поверхностью формы или стержня, находящихся под некоторым давлением, способствует в сильной мере образованию пригара.

Достаточно огнеупорная, химически нейтральная (по отношению к окислам металла), плотная и прочная корка формы не дает пригара.

Создание достаточно плотной облицовки формы является одним из главных методов устранения пригара. При этом необходимо поддерживать проницаемость формовочного материала на низшем значении, которое не вызывает других дефектов.

П. П. Берг отмечает, что чем меньше газотворность, тем меньше может проницаемость. При нулевой газотворности может быть принята и нулевая проницаемость при условии обеспечения выхода газов из полости формы. Такие случаи бывают при применении металлических форм. Следует иметь в виду, что высушенные песчано-глинистые смеси содержат газотворные составляющие, например, глину, поэтому они не могут иметь нулевую проницаемость.

На основании большого производственного опыта, в последнее время установлено, что обычно рекомендуемые нормы газопроницаемости формовочных и стержневых смесей сильно завышены, что является одной из важных причин, вызывающих низкое качество поверхности отливок. Достаточно указать, что применение молотых материалов: хромита, форстерита, кварцита с проницаемостью всего 10 см/мин не вызывало брака по газовым раковинам, при условии надлежащей просушки форм. Установлено, что проницаемость 80—100 является достаточной для сырых и подсушенных форм. Для форм, заливаемых в сухом состоянии, проницаемость может быть снижена до 10—20; для мелких стержней проницаемость 120 является вполне достаточной, а для тяжелых стержней, окруженных толстым массивом металла проницаемость может быть 10—20.

Кроме плотности, облицовка формы должна иметь достаточную прочность. Поэтому добавка в формовочные смеси некоторых минерализаторов, способствующих получению плотно спекшегося черепка, без образования жидких расплавов будет иметь весьма положительное значение в вопросе чистоты поверхности литья.

Как уже указано, механическое воздействие в результате усадки отливки при остывании, термические и фазовые расширения стержней или отдельных

участков формы способствуют образованию пригара на внутренних поверхностях и в углах отливок. Механическое воздействие в результате металлостатического давления жидкого металла имеет также существенное значение, вызывая пригар не только на внутренних, но и на внешних поверхностях отливок, если пористость облицовки (формы или стержней) была чрезмерно высокой.

ВЫВОДЫ

1. Побочным нежелательным продуктом изготовления отливок методом литья является пригар.

2. Пригар пытались устранить разными способами.

3. Выяснено от чего получается пригар и каковы его свойства.

4. Накопленные данные по образованию пригара на отливках можно использовать при разработке новых способов получения отливок из композиционных материалов с улучшенными физико-механическими характеристиками.

5. Контролируя процесс образования пригара можно получать требуемую толщину слоя композиционного соединения, где пригар в соединении с отливкой будет являться полезным композиционным материалом.

6. Исследование взаимосвязи между фазами в зоне соединения должно быть подчинено цели получения возможности прогнозировать изменение свойств композиционного соединения в процессе эксплуатации.

ГЛАВА 2. РАЗРАБОТКА НОВЫХ СПОСОБОВ ПОЛУЧЕНИЯ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ ПРИ ЛИТЬЕ

2.1 Полезное использование отливок с пригаром

Для примера рассмотрено выявление причин образования пригара при стопочном изготовлении отливок

Был предложен новый высокопроизводительный метод формовки — одновременное изготовление двухсторонних форм в одной опоке.[18]

Ранее формовка на машине 271 производилась следующим образом. К встряхивающему столу 1 каждой формовочной машины прикреплялось четыре винтами М12 основание подмодельной плиты 2 с двумя стандартными направляющими штырями и четыре откидными болтами М8. Формовочная машина приведена на рисунке 2.1. Сменные подмодельные плиты 3 надевались на штыри и дополнительно крепились откидными болтами. В дальнейшем необходимость в дополнительном креплении отпала, так как подмодельные плиты прочно удерживались на штырях. Формовка производилась в парных опоках 4 размерами в свету 400×300 мм и высотой 75—125 мм. Опоки верха формовались на одной формовочной машине, а опоки низа — на другой. Форма, собранная из двух полуформ, показана на рисунке 2.2.

При формовке по новому методу к прессовой плите 5 прикрепляется специальными болтами (М12) 6 вторая подмодельная плита 7, ранее закреплявшаяся на встряхивающем столе машины, работавшей в паре с данной. Форма приведена на рисунке 2.3.

Стандартные штыри 8 заменены более удлиненными.

Эти небольшие изменения позволяют формовать одновременно на одной и той же машине формы верха и низа в одной опоке.

Процесс наладки формовочной машины следующий:

После обдува сжатым воздухом модели верха на подмодельную плиту ставят опоку, на которую по штырям, выступающим над верхней частью опоки, накладывают вторую подмодельную плиту с моделью низа. Если выступающие

части модели низа имеют большую высоту, чем выступающие части модели верха, то можно подмодельные плиты менять местами, закрепив предварительно стояк на подмодельной плите с моделью низа. При использовании опок со значительными колебаниями высот желательно применять пружинные стояки.

Далее поворачивают траверсу в рабочее положение до упора и рукояткой воздухораспределителя пускают сжатый воздух под прессовый поршень, который, поднимаясь вверх, прижимает опоку с подмодельной плитой к прессовой плите траверсы. В таком положении верхняя подмодельная плита привертывается четырьмя болтами — крючками к прессовой плите. Затем переводят рукоятку в положение «Выхлоп» и после опускания стола в исходное положение отводят траверсу с прессовой плитой и закрепленной подмодельной плитой в сторону. В таком положении формовочная машина готова к работе.

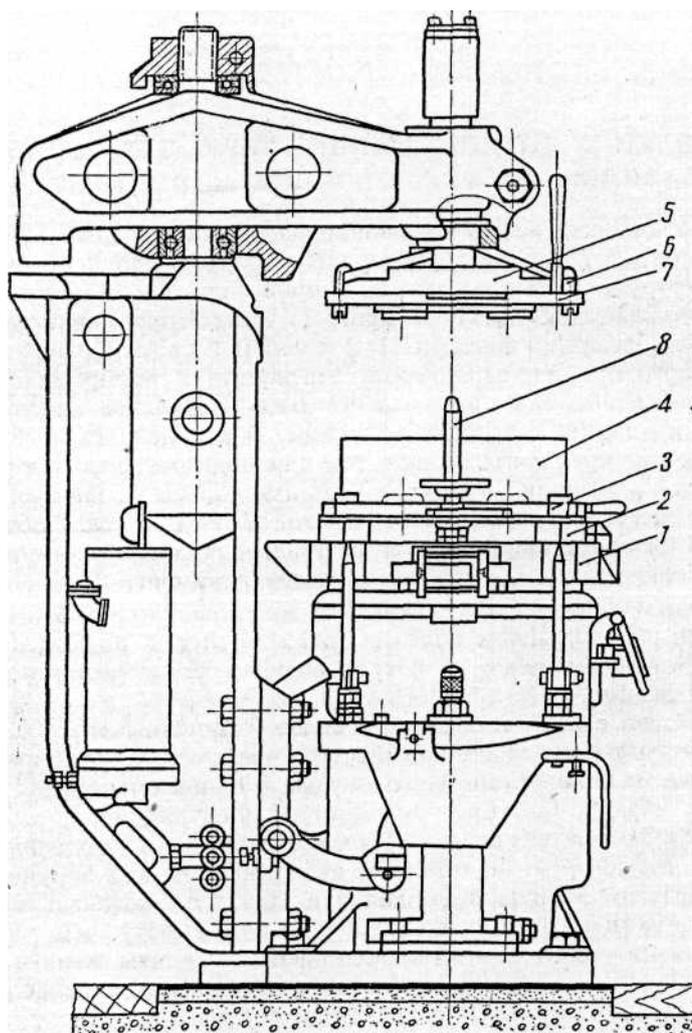


Рисунок 2.1 - Формовочная машина 271 с приспособлением для одновременного изготовления двухсторонних форм в одной опоке

Процесс формовки заключается в выполнении ряда перечисленных ниже операций.

Обдув и припылив модель графитом, ставят опоку, наполняют ее формовочной землей и, нажав коленом клапан, пускают в ход механизм встряхивания. При встряхивании разравнивают землю руками для того, чтобы одинаково уплотнилась вся опока.

Число встряхиваний при рабочем давлении сжатого воздуха 5 атм не должно превышать 20. К концу процесса встряхивания формовочная земля должна возвышаться над верхней частью опоки на 15 — 20 мм.

Встряхивание прекращают вторичным нажатием коленом на клапан. Посыпав верхний слой формовочной земли графитом, поворачивают траверсу с прессовой плитой и верхней подмодельной плитой в рабочее положение до упора и рукояткой воздухораспределителя пускают воздух под прессовый поршень, который, поднимаясь вверх, прижимает опоку к верхней подмодельной плите. Эта плита надевается на штыри и точно фиксируется, уплотняя верхний слой земли.

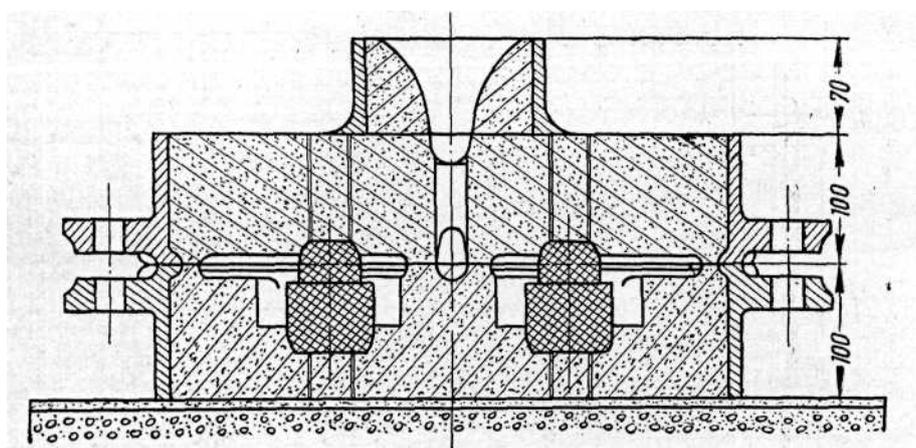


Рисунок 2.2 - Форма, собранная из двух полуформ, изготовленных обычным способом

При рабочем давлении сжатого воздуха 5 атм необходимо производить 2 — 3 удара (прессования). Опытным путем установлено, что оптимальная плотность формы достигается при 20-кратном встряхивании и 2 — 3 ударах — прессованиях.

Опустив стол в исходное положение, отводят траверсу в сторону и иглой делают несколько наколов в знаковых частях формы и в местах, удаленных от полости формы, а затем той же иглой наносят риски от полости формы к стенкам опоки.

Далее, пустив в ход механизм вытяжки, снимают штифтами опоку с нижней подмодельной плиты, прорезают стояк, если это необходимо, а потом поднятую штифтами опоку убирают с машины вручную. Заформованная опока идет на сборку, а процесс формовки повторяется.

Изготовив необходимое количество двухсторонних форм, собирают стойки.

На рисунке 2.3 показана собранная стопка.

При сборке опоки спаривают длинными штырями 1 с фиксаторами 2. Такие штыри позволяют спаривать по трем точкам, что совершенно устраняет перекос.

По выше описанному способу можно формовать отливки весом 10 кг, а иногда и больше, сложной конфигурации с простановкой в форме самых разнообразных стержней.

Если одна из отливок имеет сильно выступающие части, а вторая плоская, то можно собирать комбинированно формы в стопку.

На рисунке 2.4 показана комбинированная сборка форм.

При этом формовку необходимо производить на двух формовочных машинах 271 с комбинированной установкой подмодельных плит. В этом случае каждая форма должна иметь свою литниковую систему, а стояк общий. При формовке металлоемких отливок в низких опоках после сборки форм в стопки необходимо проставлять литниковые воронки, так как иначе статический напор в верхней форме будет мал, что может вызвать брак верхних отливок по недоливу.

Собранные в стопки формы загружают грузами, и формы готовы к заливке.

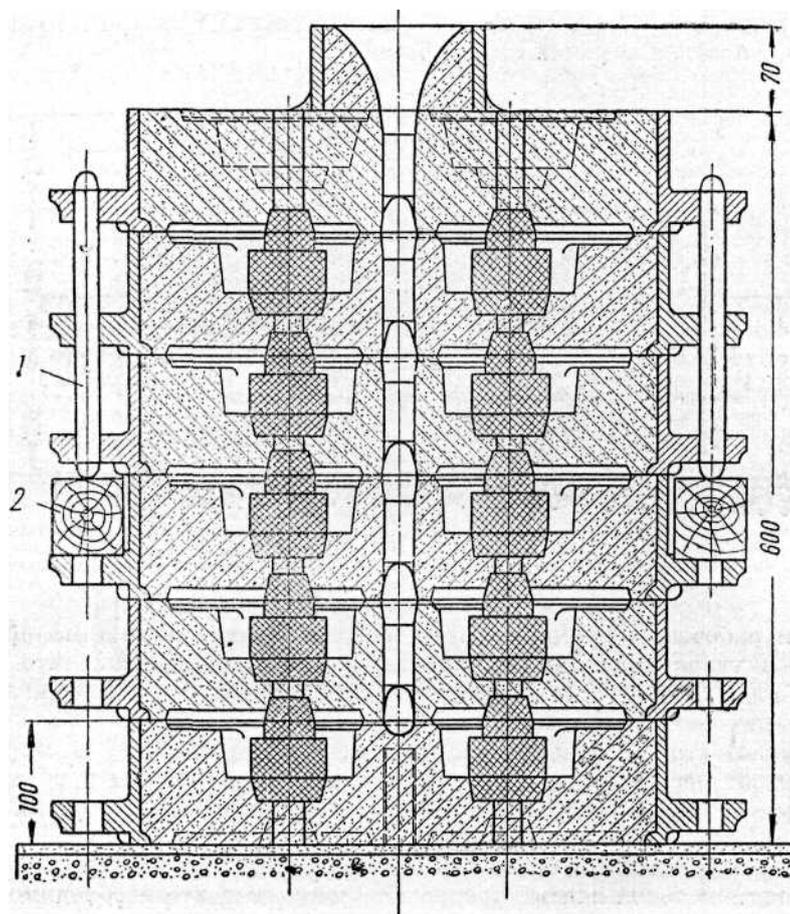


Рисунок 2.3 - Стопка, собранная из шести двухсторонних форм

При заливке форм жидким чугуном с температурой 1320, 1350° по оптическому пирометру (без поправки) случаев недолива отливок не наблюдалось. Все отливки получались качественными без усадочных и газовых раковин, несмотря на то, что формы выпоров не имели.

В связи с тем, что каждая форма стопки при общем стояке имеет свою литниковую систему, состоящую из литниковых ходов, шлакоуловителей, и питателей, шлак в формы не попадает. Обвалов форм при заливке не наблюдается, несмотря на то, что наполнительная смесь состояла из 88% горелой земли, 10% песка и 2% огнеупорной глины; влажность 4 — 5%, газопроницаемость не менее 70 единиц и прочность при сжатии 0,4 — 0,8 кг/см².

Способ изготовления двухсторонних форм на формовочных машинах 271 с применением стопочной сборки особенно эффективен в цехах, где нет конвейеров и где преобладает крупное литье, а также при отсутствии площадей под заливку.

При заливке форм из барабанных ковшей со шлакоудерживающим устройством перегретым металлом стопки можно собирать из 10 и более двухсторонних форм, что еще больше расширяет возможности применения этого метода.

Собранные стопки можно заливать крановыми ковшами, благодаря чему механизированную заливку мелких отливок можно широко применять в цехах индивидуального и мелкосерийного производства.

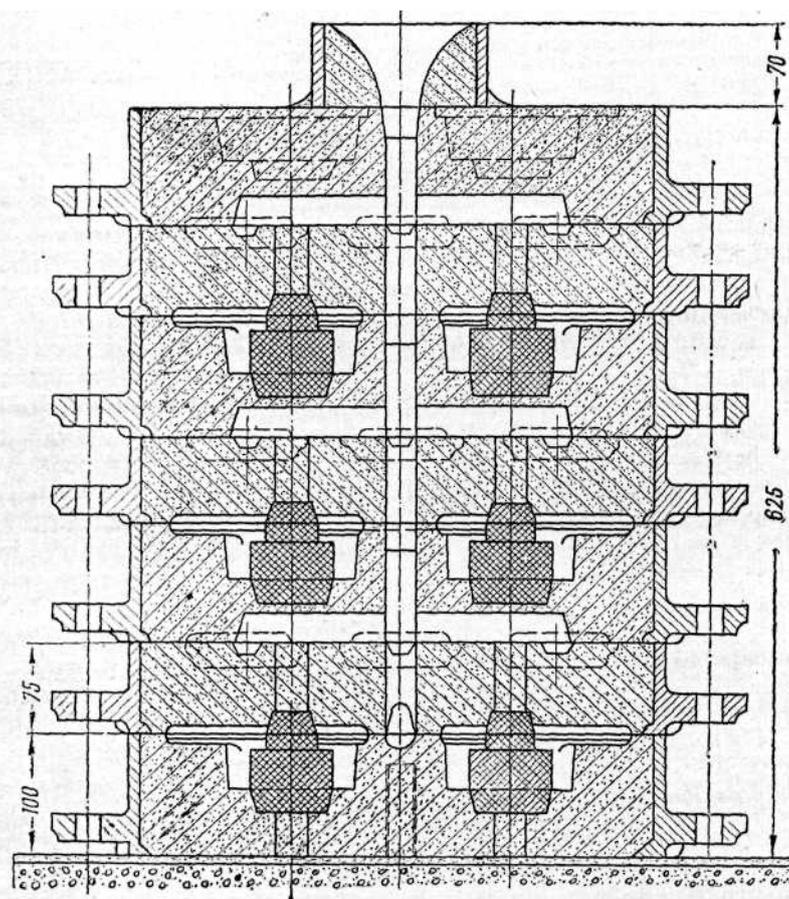


Рисунок 2.4 - Комбинированная сборка форм в стопку

Потребность в опоках уменьшается. Производительность формовочных машин 271 резко возрастает. При этом на формовке отливок того или иного наименования занята лишь одна машина.

Смена как верхней, так и нижней подмодельных плит производится быстро.

Выбивка форм не представляет трудностей. После выбивки отливки вместе с литниковой системой и стояком напоминают елку, получаемую при литье

по выплавляемым моделям, только больших размеров. Такие елки можно легко транспортировать подъемными средствами в обрубное отделение, где отливки отделяются от питателей.

Изложенным выше способом изготавливали разнообразные отливки. При изготовлении дискообразных чугунных отливок (крышек) толщиной 15-30 мм и диаметром 140-240 мм на той поверхности отливок, которая получалась со стороны формовки встряхиванием, наблюдался прочно удерживающийся пригар формовочной смеси толщиной 3-5 мм. При механической обработке отливок такой пригар удаляли только алмазными резцами. Поверхность отливок, получавшаяся со стороны формовки прессованием, была чистой без пригара.

Анализ состава формовочной смеси (единой) показал, что даже при получении хорошо перемешанной смеси встряхивание при изготовлении формы приводит к перераспределению составляющих смеси. В нижней части формы у поверхности модели скапливаются мелкие частицы смеси, содержащие много глины, а в верхних слоях формы содержание глины уменьшается в 2-3 раза. В связи с этим поверхность формы, полученная прессованием, не дает пригара на отливке, а поверхность отливки со стороны уплотнения смеси в форме встряхиванием из-за увеличения легкоплавкой составляющей в смеси получается с пригаром.

Был разработан простой способ изготовления половых плиток с пригаром, увеличивающим износостойкость рабочей поверхности полов. Отрицательный результат формовки встряхиванием может быть полезно использован. Разработаны новые конструкции половых плиток с шипами, которые прочно удерживают пригар, повышают износостойкость, долговечность плиток. Пол из таких плиток уменьшает скольжение, увеличивает сцепляемость при движении по нему пешеходов и колесных транспортных средств с резиновыми шипами.

2.2 Новый способ получения композиционных отливок

Предложен новый способ получения отливки (патент Российской Федерации № 2283724), который относится к металлургии и может быть применен в литейном производстве для получения композиционных изделий.

Известен способ получения отливки, включающий изготовление формы из песчаной смеси по модели и заливку в собранную форму жидкого металла [21]. Этим способом получают отливки с малой теплостойкостью поверхностного слоя. При необходимости применения отливок для работы при температурах выше 700°C в формы заливают специальные легированные металлические сплавы или на металлические изделия наносят дорогостоящими способами покрытия [1]. Недостатками этих способов являются высокая стоимость легирующих материалов и нанесения покрытий, большая энергоемкость процессов, трудность регулирования толщины покрытий, их огнеупорности, теплостойкости и прочности изделий.

Из известных, наиболее близким по технической сущности, является способ получения отливки, включающий изготовление формы из песчаной смеси по модели, когда на поверхность модели наносят сначала облицовочный слой, а затем засыпают наполнительную смесь, и все это уплотняют, извлекают модель из формы, форму окрашивают или присыпают противопригарными веществами, производят сборку формы и заливают в форму жидкий металл [1]. Этот способ также имеет недостатки. Он не позволяет получать отливки с теплостойкой поверхностью. На поверхности отливок не образуется слой разнородных композиционных материалов, который служил бы защитой металла от воздействия высоких температур и агрессивных сред.

Техническим результатом предлагаемого способа является упрощение и снижение трудоемкости создания на поверхности отливки слоя разнородных композиционных материалов, защищающих металл от воздействия высоких температур и агрессивных сред, уменьшение затрат на процесс образования защитного слоя на поверхности металла отливки.

На основе исследований предлагается способ получения отливки, включающий изготовление формы и заливку в собранную форму жидкого материала, который отличается от известного способа тем, что поверхностный слой формы выполняют требуемой толщины из зернистого материала, температура плавления которого выше температуры плавления заливаемого материала, в смеси с материалом, температура плавления которого ниже температуры плавления заливаемого материала, а затем заливают в форму жидкий материал, выплавляют им менее тугоплавкий материал между более тугоплавкими зернами поверхностного слоя, связывают затвердевающим материалом тугоплавкие зерна и образуют на поверхности отливки слой разнородных композиционных материалов.

Согласно предлагаемому изобретению осуществляют нанесение на поверхность модели или на поверхность постоянной формы, например, металлической формы, слой зернистого материала высокой огнеупорности, например, раздробленных высокоглиноземистых огнеупоров, кварцита, циркона, рутила, хромомagnesита, хромита, муллита, шамота, в смеси с материалом низкой огнеупорности, например, легкоплавкими глинами, криолитом, солями, стеклами, легкоплавкими металлами и сплавами в виде порошков. В эти материалы добавляют крепители, которые должны быть легкоплавкими. Материалы поверхностного слоя формы могут быть крупнозернистыми и мелкозернистыми, неметаллическими и металлическими. Зернистость материалов может быть неодинаковой, если это требуется по условиям использования отливок. Толщина слоя, величина, форма зерен и состав могут быть одинаковыми и неодинаковыми в разных местах формы в зависимости от предъявляемых требований. Заливаемый в форму материал может быть металлом или неметаллом, чугуном, сталью, медными, алюминиевыми, титановыми сплавами, расплавленными керамическими материалами и шлаком, а также материалом, который применяется для производства каменного литья. При заливке в форму жидкий материал своим теплом выплавляет менее тугоплавкий материал между более тугоплавкими зернами поверхностного слоя, проникает в образующиеся зазоры между туго-

плавкими зернами, затвердевает и прочно связывает эти зерна. На поверхности отливки образуется слой разнородных композиционных материалов. При этом основная часть отливки может иметь высокую механическую и строительную прочность, а поверхностный слой отливки будет защищать металл от воздействия высоких температур и агрессивных сред, будет износостойким. Физическая модель процесса представлена на рисунке 2.5.

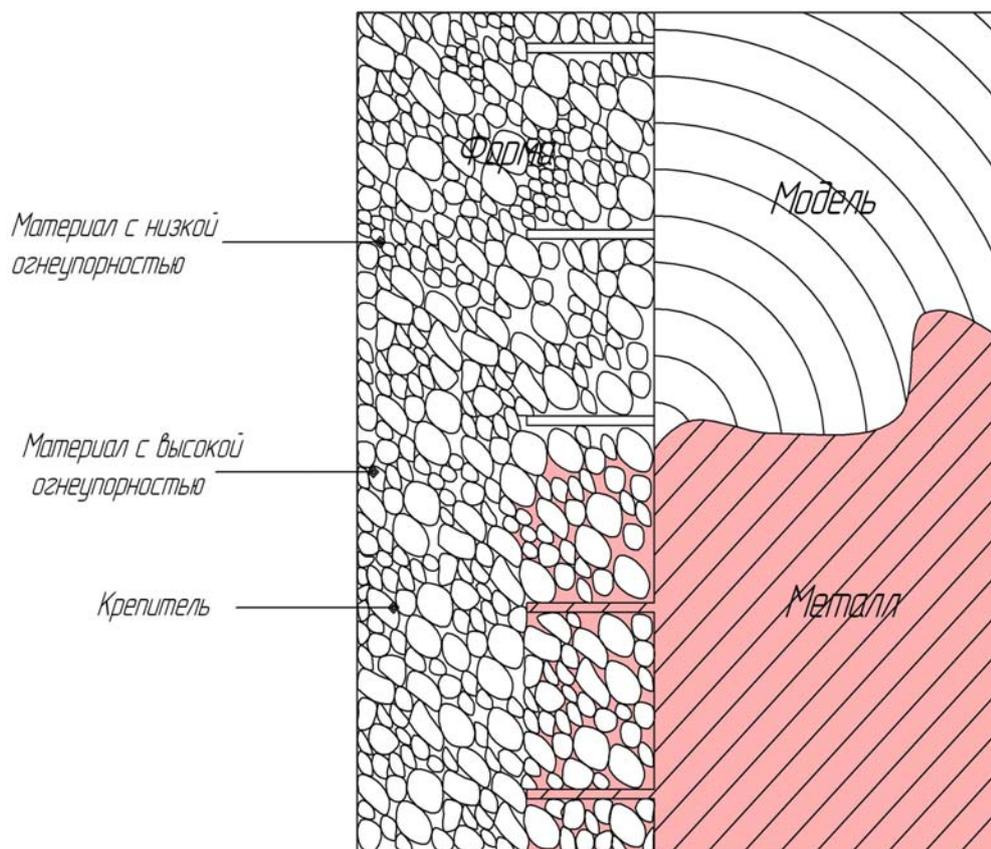


Рисунок 2.5 – Физическая модель процесса образования композиционного соединения

Такое сочетание новых признаков с известными позволяет упростить получение отливок для химических аппаратов, печей, строительных конструкций, тепловых агрегатов, водопроводов, канализационных устройств.

Предложенный способ является простым по осуществлению, не трудоемким, энергосберегающим, безопасным, экологически чистым.

Выбор материалов для получения поверхностного слоя отливки обусловлен назначением отливки, условиями ее эксплуатации. Если отливка предназначена для работы в условиях высоких температур, то применяются высокоог-

неупорные (оксиды кремния, алюминия, титана, хрома, магния) зернистые материалы для получения поверхностного композиционного слоя. Материалом, связывающим зерна, может быть чугун или сталь. При производстве литья из сплавов алюминия зерна поверхностного слоя могут быть в виде битого стекла, гранул шлака, чугунной дроби, а также в виде зерен тугоплавких оксидов, боридов и их смесей. Расплавленные алюминиевые сплавы, выплавляя легкоплавкий материал (криолит, соли) между более тугоплавкими зернами, связывают тугоплавкие зерна, причем в поверхностном слое отливки часть алюминия, может образовывать тугоплавкий оксид алюминия.

Пример осуществления предлагаемого способа.

Изготавливали отливку для двери камерной термической печи. На поверхность формы нанесли слой толщиной 20 мм из смеси раздробленного высокоглиноземистого огнеупора, температура плавления которого была 1800-1850°C, и бентонитовой глины с добавлением криолита, температура плавления которых была ниже 1000°C. В форму заливали жидкий чугун при его температуре 1420°C. Жидкий чугун выплавил легкоплавкую глину и криолит, которые прошли через жидкий металл, всплыли и были удалены из формы через выпоры. Затвердевший между тугоплавкими зернами металл прочно связал тугоплавкие частицы и образовал "шубу", то есть шершавый огнеупорный поверхностный слой композиционных материалов. Были получены жаростойкие отливки простым, дешевым эффективным способом, вместо ранее применявшихся дорогих и недолговечных отливок из легированных хромом чугунов, которые необходимо было со стороны печного пространства обкладывать огнеупорным кирпичом, что повышало трудоемкость такой защиты и требовало использования дорогого шамотного или высокоглиноземистого кирпича.

Были также получены предлагаемым способом отливки из алюминиевых сплавов с защитным поверхностным слоем из раздробленных шамотных изделий. Эти отливки были предназначены для работы в условиях воздействия на поверхностный слой движущихся порошкообразных веществ с повышенной температурой. Долговечность этих отливок была высокой. Такие отливки были

в 3-4 раза дешевле, чем композиционные отливки с созданием защитного слоя известными способами.

Предлагаемый способ обеспечивает технический эффект и может быть осуществлен с помощью известных в технике средств.

При использовании предлагаемого способа снижается трудоемкость в 2-3 раза, уменьшаются затраты на осуществление процесса, энергию и материалы в 5-7 раз по сравнению с известными способами.

Предлагаемый способ позволяет широко использовать металло-неметаллические композиционные конструкции в строительной индустрии. Например, можно производить стены зданий из прочных металлических отливок, поверхностный слой которых будет неметаллическим, теплоизоляционным, износостойким.

2.3 Выявление новых композиционных материалов на основе математического моделирования

Разработка новых композиционных материалов и выявление требуемых свойств этих материалов – важная задача, решение которой связано с ускорением научно-технического прогресса. Новые исследования по композиционным материалам рационально проводить с применением математического моделирования на основе планирования экспериментов. Планы проведения экспериментов и компьютерные программы математического моделирования приведены ниже. Рационально применять математическое моделирование при планировании экспериментов на трех уровнях факторов. Для случаев одно-, двух-, трехфакторных процессов разработки выполнены в соответствии с полными факторными экспериментами.

Преимуществами предложенной методики математического моделирования являются оригинальная разработка ортогонализации матриц, вывод формул для расчета коэффициентов ортогонализации коэффициентов регрессии, дисперсий в определении коэффициентов регрессии, буквенное обозначение показателей степени факторов в уравнении регрессии и возможность изменять ве-

личины показателей степени факторов, добиваясь точности математических моделей.

2.4 Экспериментальные данные для прогнозного математического моделирования

Комплекс исследований, проводимых в данной работе, предусматривает предварительную обработку широкого спектра экспериментальных данных. Поэтому выбор методики оценки и обработки результатов эксперимента, учитывающей влияние комплекса условий его проведения являлся одной из основных задач данной работы.

На данный момент существует множество способов математического анализа данных. [12, 13, 14] Для обработки экспериментальных данных в работе была использована методика регрессионного анализа. Существует несколько программных комплексов позволяющих проводить необходимый анализ (MatLAB, Statistica, Excel и другие). В данной работе использовался инструмент Microsoft Office, в частности Excel.

Регрессионный анализ данных позволяет получить оценку влияния переменных, рассматриваемых в качестве аргументов (независимых переменных) на переменную, которая считается зависимой от первых.

В Excel реализован набор методов линейной и фиксированной нелинейной регрессии. Эти методы включают простую, множественную, пошаговую регрессию, модели взвешенных наименьших квадратов. Программа вычисляет полный набор статистик и расширенных диагностик, включая полную таблицу регрессии (с значениями стандартной ошибки для B , $Beta$ и свободного члена, коэффициента детерминации R^2 и скорректированного R^2 для моделей с константой и без нее и таблицей дисперсионного анализа), матрицы частных и получастных корреляций, корреляции и ковариации коэффициентов регрессии, матрицу выметания (обратную матрицу), статистику Дарбина-Уотсона d , расстояния Махаланобиса и Кука, удаленные остатки, доверительные интервалы для предсказанных значений и многие другие статистики.

Линейная парная регрессия. Для нахождения теоретической линии регрессии при построении графических зависимостей по данным поставленных экспериментов использован метод наименьших квадратов, с помощью которого путем определенных вычислений находили уравнение: $y = f(x)$ - соответствующее взаимосвязи рассматриваемых параметров. А именно, отыскивается теоретическая линия регрессии y по x , занимающая в корреляционном поле такое положение, при котором выполняется требование, чтобы сумма квадратов расстояний от этой линии до каждой точки в корреляционном поле являлась минимальной. При изображении корреляционного поля на графике по оси y откладываются значения функции, а по оси x - значения аргумента. Теоретическая линия регрессии y по x должна быть внесена в корреляционное поле таким образом, чтобы соблюдался принцип наименьших квадратов:

$$S^2 = \sum_{j=1}^m \Delta y_j^2 = \sum (y_j - y'_j)^2, \quad (2.1)$$

где j - порядковый номер выборки $y = 1 \dots m$; y_j - измеренное значение функции для определенного значения аргумента (x); y'_j - расчетное значение функции при заданной величине аргумента (x) в соответствии с теоретической их взаимосвязью.

В случае линейной зависимости:

$$y'_j = a + b \cdot x_j, \quad (2.2)$$

Задача сводится к отысканию коэффициентов регрессии a и b уравнения (2.2), т.е. заранее установлено, что рассматриваемые параметры y и x связаны линейной зависимостью по уравнению (2.2).

Величина Δy_j представляющая собой расстояние от каждой точки корреляционного поля до теоретической линии регрессии, определяется из уравнения:

$$\Delta y_j = y_j - (a + b \cdot x_j), \quad (2.3)$$

где x_j - параметр x , соответствующий измеренному значению Δy_j .

Для определения численных значений коэффициентов регрессии a и b , исходя из принципа наименьших квадратов отклонений, нужно приравнять нулю частные производные функции S^2 по a и b :

$$\delta S^2 / \delta a = \delta(\sum \Delta y_j)^2 / \delta a = 0, \quad (2.4)$$

$$\delta S^2 / \delta b = \delta(\sum \Delta y_j)^2 / \delta b = 0, \quad (2.5)$$

Выполнив необходимые преобразования, получим систему двух уравнений с двумя неизвестными для определения a и b :

$$\begin{aligned} \sum y &= m \cdot a + b \sum x, \\ \sum y \cdot x &= a \sum x + b \sum x^2 \end{aligned} \quad (2.6)$$

Решая систему уравнений относительно a и b , находим численные значения коэффициентов регрессии. Величины $\sum y$, $\sum x$, $\sum yx$, $\sum x^2$, находятся непосредственно по данным произведенных измерений.

Величина свободного члена уравнения регрессии (2.2), или коэффициента a равна функции y при $x = 0$.

Коэффициент b в уравнении регрессии характеризует изменение функции y при изменении аргумента x на единицу и графически отражает угол наклона линии уравнения регрессии.

При решении практических задач регрессионного анализа возникает вопрос об оценке тесноты исследуемой взаимосвязи, т.е. насколько полученные на основе обработки экспериментальных или лабораторных данных уравнения регрессии достоверны. В случае парной линейной корреляции в качестве оценки тесноты связи использовался коэффициент корреляции, который рассчитывается по формуле:

$$r = (XY - X * Y) / (\sigma_x \cdot \sigma_y) \quad (2.7)$$

Числитель выражения для коэффициента корреляции r представляет собой разность между средним значением произведения $X\bar{Y}$ и произведением средних значений $\bar{X}\bar{Y}$ измеренных значений параметров x и y исходной информации. Знаменатель равен произведению средних квадратических отклонений значений параметров y и x от своих средних. Средние квадратические отклонения (стандартные отклонения) рассчитываются по формулам:

$$\sigma_x = \{[\sum(x_j - \bar{X})^2] / m\}^{1/2}, \quad (2.8)$$

$$\sigma_y = \{[\sum(y_j - \bar{Y})^2] / m\}^{1/2}. \quad (2.9)$$

Квадраты средних квадратических отклонений y и x (σ_x^2 и σ_y^2) называются дисперсиями:

$$D_x = [\sum(x_j - \bar{X})^2] / m, \quad (2.10)$$

$$D_y = [\sum(y_j - \bar{Y})^2] / m. \quad (2.11)$$

и являются важными статистическими оценками рассеяния значений какой-либо величины около ее среднего значения.

Величина коэффициента корреляции r может изменяться от 0 при полном отсутствии связи до ± 1 при наличии линейной функциональной связи x с y . Если $r > 0$, между x и y имеет место положительная корреляционная связь, т.е. с ростом параметра x увеличивается параметр y , если $r < 0$, между x и y имеет место отрицательная связь. С коэффициентом регрессии b в уравнении (2.2) коэффициент корреляции связан соотношением:

$$r = b\sigma_x / \sigma_y \quad (2.12)$$

Угловым коэффициентом регрессии b представляет собой тангенс угла наклона линии регрессии к оси абсцисс. Следовательно, чем больше наклон линии регрессии к оси абсцисс, тем больше значение коэффициента корреляции,

т.е. тем значительнее будет изменение функции y при изменении на единицу аргумента x .

Малая величина коэффициента корреляции указывает на отсутствие линейной связи, однако криволинейная связь между рассматриваемыми параметрами при этом может быть достаточно тесной. Коэффициент корреляции отражает не только величину приращения y при изменении x , но и тесноту связи функции и аргумента. Чем больше разброс точек относительно линии регрессии, тем меньше коэффициент корреляции. Это свойство коэффициента корреляции отражено в его формуле в виде соотношения стандартных отклонений.

Для оценки надежности полученного результата использовался критерий надежности μ , который учитывает как величину коэффициента корреляции, так и число пар измерений. Критерий надежности μ рассчитывается по формуле:

$$\mu = r \cdot [m - 1]^{1/2} / (1 - r^2), \quad (2.13)$$

где r - коэффициент корреляции; m - число пар измерений.

Как видно из формулы критерия надежности, чем выше коэффициент корреляции и большее число пар измерений, тем больше показатель надежности. При $\mu > 2,6$ связь считается статистически достоверной.

Располагая данными можно выполнить анализ взаимосвязи аргумента и функции: построить график с корреляционным полем рассматриваемых показателей, определить теоретическую линию регрессии, оценить тесноту связи для выбранных параметров. Однако, проанализировав конфигурацию корреляционного поля, построенного по исходным данным, в ряде случаев можно усмотреть, что описание взаимосвязи рассматриваемых параметров с помощью прямой линии не всегда является наилучшей аппроксимацией. Иногда в данное поле корреляции значительно лучше вписывается некоторая кривая. Таким образом, из экспериментального опыта следует, что связь между аргументом и функцией в большинстве случаев носит криволинейный характер, точнее отражающий существующую взаимосвязь экспериментальных данных.

Криволинейная парная регрессия. Аппроксимация кривой выполняется тем же путем с использованием метода наименьших квадратов, что и выравнивание по прямой линии. Линия регрессии должна удовлетворять условию минимума суммы квадратов расстояний до каждой точки корреляционного поля. В данном случае в уравнении (2.1) y представляет собой расчетное значение функции, определенное при помощи уравнения выбранной криволинейной связи по фактическим значениям x_j . Например, если для аппроксимации связи выбрана парабола второго порядка, то:

$$y = a + bx + cx^2, \quad (2.14)$$

а разность между точкой, лежащей на кривой, и данной точкой корреляционного поля при соответствующем аргументе можно записать аналогично уравнению (2.3) в виде:

$$\Delta y_j = y_j - (a + bx + cx^2). \quad (2.15)$$

При этом сумма квадратов расстояний от каждой точки корреляционного поля до новой линии регрессии в случае параболы второго порядка будет иметь вид:

$$S^2 = \sum \Delta y_j^2 = \sum [y_j - (a + bx + cx^2)]^2. \quad (2.16)$$

Исходя из условия минимума этой суммы, частные производные S^2 по a, b и c приравниваются к нулю. Выполнив необходимые преобразования, получим систему трех уравнений с тремя неизвестными для определения a, b и c :

$$\begin{aligned} \sum y &= ma + b \sum x + c \sum x^2, \\ \sum yx &= a \sum x + b \sum x^2 + c \sum x^3, \\ \sum yx^2 &= a \sum x^2 + b \sum x^3 + c \sum x^4 \end{aligned} \quad (2.17)$$

Решая систему уравнений относительно a, b и c , находим численные значения коэффициентов регрессии. Величины $\sum y, \sum x, \sum x^2, \sum yx, \sum yx^2, \sum x^3, \sum x^4$ находятся непосредственно по данным производственных измерений.

Оценкой тесноты связи при криволинейной зависимости служит теоретическое корреляционное отношение η_{xy} , представляющее собой корень квадратный из соотношения двух дисперсий: среднего квадрата σ_p^2 отклонений расчетных значений y'_j функции по найденному уравнению регрессии от среднеарифметического значения Y величины y к среднему квадрату отклонений σ_y^2 фактических значений функции y_j от ее среднеарифметического значения:

$$\eta_{xy} = \{\sigma_p^2 / \sigma_y^2\}^{1/2} = \{\sum (y'_j - Y)^2 / \sum (y_j - Y)^2\}^{1/2} \quad (2.18)$$

Квадрат корреляционного отношения η_{xy}^2 показывает долю полной изменчивости зависимой переменной y , обусловленную изменчивостью аргумента x . Этот показатель называется коэффициентом детерминации. В отличие от коэффициента корреляции величина корреляционного отношения может принимать только положительные значения от 0 до 1. При полном отсутствии связи корреляционное отношение равно нулю, при наличии функциональной связи оно равно единице, а при наличии регрессионной связи различной тесноты корреляционное отношение принимает значения между нулем и единицей.

Выбор типа кривой имеет большое значение в регрессионном анализе, поскольку от вида выбранной взаимосвязи зависит точность аппроксимации и статистические оценки тесноты связи. В данной работе был использован метод, суть которого состоит в построении корреляционных полей и в подборе соответствующих типов регрессионных уравнений по расположению точек на этих полях. Методы регрессионного анализа позволяют отыскивать численные значения коэффициентов регрессии для сложных видов взаимосвязи параметров, описываемых, например, полиномами высоких степеней.

Применение вышеуказанных методов математической статистики и обработки экспериментальных данных показало сложность выполнения математи-

ческих моделей, неэффективность методики и недостаточную точность моделей.

2.5 Выбор методов математического моделирования

Развитие науки и техники в условиях компьютеризации возможно на основе выявления, анализа, использования для оптимизации, прогнозирования, изобретательства, автоматизации математических моделей. Однако разработанные ранее методики математического моделирования имели ряд недостатков, затрудняющих их применение. Многие недостатки были устранены после разработки новой методики математического моделирования и универсальных компьютерных программ, позволяющих не только быстро выявлять математические модели, но и выполнять расчеты по моделям, строить графики. [19, 20] Но практическое применение математического моделирования на основе планирования экспериментов и разработанных универсальных программ показало, что возникают трудности в понимании методических разработок и компьютерных программ. Поэтому выполнено уточнение, совершенствование методик и программ, что позволяет упростить изучение и практическое использование разработок.

Предлагаются оригинальные разработки математического моделирования при планировании экспериментов на трех, четырех, пяти уровнях фактора и неодинаковом количестве уровней первого и второго фактора. Показано, как выполняется ортогонализация матриц, построение планов проведения экспериментов, как рассчитываются коэффициенты ортогонализации, коэффициенты регрессии, дисперсии в определении коэффициентов регрессии.

Построенные схемы зависимостей показателей процесса от факторов позволили наглядно показать связь координат точек графиков с планами проведения экспериментов (координаты каждой точки графиков являются, соответственно, строкой плана).

Преимуществами предложенной методики математического моделирования являются оригинальная разработка ортогонализации матриц, вывод

формулы для расчета коэффициентов ортогонализации, коэффициентов регрессии, дисперсий в определении коэффициентов регрессии, буквенное обозначение показателей степени факторов в уравнениях регрессии и возможность изменять величины показателей степени факторов, добиваясь точности математических моделей.

При математическом моделировании используются абсолютные величины факторов и показателей процесса. Математические зависимости могут быть линейными или нелинейными. [19]

То, что не изложено в теоретической части моделирования, может быть восполнено при рассмотрении компьютерных программ.

В зависимости от того, какая величина X будет введена, начнет работать одна из шести программ. Программы составлены так, что достигается высокая точность расчетов, осуществляется проверка расчетов.

После выявления математической модели программа позволяет выполнять расчеты по модели, определять максимальные и минимальные величины показателей, строить графики зависимостей показателей от факторов.

Анализируя математические модели и результаты расчетов по ним, можно прогнозировать улучшение процессов (способов), устройств, составов веществ, выявлять оптимальные решения, изобретать.

Предлагаемые математические разработки и программы на их основе позволяют выявлять математические модели при проведении малого количества опытов, в связи с чем достигается экономичность.

Минимальные затраты труда и средств на эксперименты, высокая точность математических моделей, универсальность методик и программ, простота и быстрота математического моделирования и расчетов по моделям - основные преимущества новых разработок. А предоставление результатов моделирования, расчетов, графических построений в файлах упрощает выполнение анализов и работу по оптимизации, прогнозированию.

2.6 Планы проведения экспериментов 3^2 , 3^3 применительно к компьютерным программам

Для прогнозирования возможности получения композиционных материалов металл-неметалл при использовании в качестве металла чугуна, а неметалла – формовочных материалов рационально применять математическое моделирование. [20]

В таблицах 2.1, 2.2 представлены соответственно планы проведения экспериментов 3^2 и 3^3 применительно к использованию ЭВМ для математического моделирования по программе NW3.

Таблица 2.1

План 3^2 ($X = 9$ – количество опытов по плану)

Номер опыта	Факторы		Показатель $Y(J)$
	F(J)	H(J)	
1	<i>A1</i>	<i>A2</i>	<i>Y(1)</i>
2	<i>B1</i>	<i>A2</i>	<i>Y(2)</i>
3	<i>A1</i>	<i>B2</i>	<i>Y(3)</i>
4	<i>B1</i>	<i>B2</i>	<i>Y(4)</i>
5	<i>A1</i>	<i>E2</i>	<i>Y(5)</i>
6	<i>B1</i>	<i>E2</i>	<i>Y(6)</i>
7	<i>E1</i>	<i>A2</i>	<i>Y(7)</i>
8	<i>E1</i>	<i>B2</i>	<i>Y(8)</i>
9	<i>E1</i>	<i>E2</i>	<i>Y(9)</i>

Таблица 2.2

План 3^3 ($X = 27$)

Номер опыта	Факторы			Показатель $Y(J)$
	F(J)	H(J)	L(J)	
1	<i>A1</i>	<i>A2</i>	<i>A3</i>	<i>Y(1)</i>
2	<i>B1</i>	<i>A2</i>	<i>A3</i>	<i>Y(2)</i>
3	<i>A1</i>	<i>B2</i>	<i>A3</i>	<i>Y(3)</i>
4	<i>B1</i>	<i>B2</i>	<i>A3</i>	<i>Y(4)</i>
5	<i>A1</i>	<i>A2</i>	<i>B3</i>	<i>Y(5)</i>
6	<i>B1</i>	<i>A2</i>	<i>B3</i>	<i>Y(6)</i>
7	<i>A1</i>	<i>B2</i>	<i>B3</i>	<i>Y(7)</i>
8	<i>B1</i>	<i>B2</i>	<i>B3</i>	<i>Y(8)</i>
9	<i>A1</i>	<i>E2</i>	<i>E3</i>	<i>Y(9)</i>
10	<i>B1</i>	<i>E2</i>	<i>E3</i>	<i>Y(10)</i>
11	<i>E1</i>	<i>A2</i>	<i>E3</i>	<i>Y(11)</i>
12	<i>E1</i>	<i>B2</i>	<i>E3</i>	<i>Y(12)</i>

<i>Продолжение таблицы 2.2</i>				
13	<i>E1</i>	<i>E2</i>	<i>A3</i>	<i>Y(13)</i>
14	<i>E1</i>	<i>E2</i>	<i>B3</i>	<i>Y(14)</i>
15	<i>A1</i>	<i>A2</i>	<i>E3</i>	<i>Y(15)</i>
16	<i>B1</i>	<i>A2</i>	<i>E3</i>	<i>Y(16)</i>
17	<i>A1</i>	<i>B2</i>	<i>E3</i>	<i>Y(17)</i>
18	<i>B1</i>	<i>B2</i>	<i>E3</i>	<i>Y(18)</i>
19	<i>A1</i>	<i>E2</i>	<i>A3</i>	<i>Y(19)</i>
20	<i>B1</i>	<i>E2</i>	<i>A3</i>	<i>Y(20)</i>
21	<i>A1</i>	<i>E2</i>	<i>B3</i>	<i>Y(21)</i>
22	<i>B1</i>	<i>E2</i>	<i>B3</i>	<i>Y(22)</i>
23	<i>E1</i>	<i>A2</i>	<i>A3</i>	<i>Y(23)</i>
24	<i>E1</i>	<i>B2</i>	<i>A3</i>	<i>Y(24)</i>
25	<i>E1</i>	<i>A2</i>	<i>B3</i>	<i>Y(25)</i>
26	<i>E1</i>	<i>B2</i>	<i>B3</i>	<i>Y(26)</i>
27	<i>E1</i>	<i>E2</i>	<i>E3</i>	<i>Y(27)</i>

2.6.1 Алгоритм математического моделирования

Применительно к использованию ЭВМ разработан следующий алгоритм математического моделирования:

Начало выполнения программы, ввод количества опытов по плану, величин факторов на принятых уровнях и показателей степени в уравнении регрессии. [19]

- Расчет коэффициентов ортогонализации.
- Ввод величин показателей процесса.
- Расчет коэффициентов регрессии до их анализа.
- Ввод количества опытов на среднем уровне факторов.
- Расчет показателей до анализа коэффициентов регрессии.
- Выявление дисперсии опытов, расчетных величин t-критерия для каждого коэффициента регрессии.
- Ввод табличного t-критерия.
- Выявление статистически значимых коэффициентов регрессии.
- Ввод табличного F-критерия.
- Расчет показателей после анализа коэффициентов регрессии.

- Выявление расчетной величины F-критерия и адекватности модели.
- Выполнение расчетов по модели и проверка точности модели.
- Вычисления показателей по математической модели с использованием циклов и построение графиков.
- Конец выполнения программы.

Для персональных компьютеров программирование выполнено на языке Бейсик. Для случаев планирования $3^2(X = 9)$, $3^3(X = 27)$ разработана на языке Бейсик программа NW3. Блок-схема работы программы приведена в приложении А.

2.6.2 Выявление прогнозных математических моделей и выполнение расчетов по математическим моделям

Для плана $3^2 (X=9)$:

Обозначения:

A1; B1; E1 – содержание глины и алюминиевой стружки в %.

A2; B2; E2 – отношение V1/V2.

V1 – суммарный объем

V2 – общий объем поверхностного слоя формы

T1 – температура заливки жидкого металла

T2 – температура плавления металла

Z – толщина слоя.

Данные для программы NW3 для плана $3^2 (X=9)$:

A1=15; E1=30; B1=45; J1=1; O1=2

A2=0,2; E2=0,3; B2=0,4; J2=1; O2=2

N0=4; F8=3; U9=1,8; T0=3,182; F7=8,69

План 3^2 (X=9)

План	Номер опыта	Факторы		Показатель Y(J)
		F(J)	H(J)	
3^2	1	A1=15	A2=0,2	Y(1)=25
	2	B1=45	A2=0,2	Y(2)=43
	3	A1=15	B2=0,4	Y(3)=35
	4	B1=45	B2=0,4	Y(4)=65
	5	A1=15	E2=0,3	Y(5)=30
	6	B1=45	E2=0,3	Y(6)=52
	7	E1=30	A2=0,2	Y(7)=33
	8	E1=30	B2=0,4	Y(8)=50
	9	E1=30	E2=0,3	Y(9)=35

Результаты выполнения программы NW3 для плана 3^2 (X=9):

РЕЗУЛЬТАТЫ ВЫПОЛНЕНИЯ ПРОГРАММЫ NW3, РАЗРАБОТАННОЙ А.А. ЧЕРНЫМ
КОЛИЧЕСТВО ОПЫТОВ ПО ПЛАНУ

X= 9

ВЕЛИЧИНЫ ФАКТОРОВ И ПОКАЗАТЕЛЕЙ СТЕПЕНИ

A1= 15 E1= 30 B1= 45

J1= 1 O1= 2

КОЭФФИЦИЕНТЫ ОРТОГОНАЛИЗАЦИИ

V1=-30 U1=-60 Q1= 750

A2= .2 E2= .3 B2= .4

J2= 1 O2= 2

КОЭФФИЦИЕНТЫ ОРТОГОНАЛИЗАЦИИ

V2=-.3 U2=-.6000004 Q2= 8.333345E-02

ВЕЛИЧИНЫ ПОКАЗАТЕЛЕЙ В СООТВЕТСТВИИ С ПЛАНOM Y(J)

Y(1)= 25

Y(2)= 43

Y(3)= 35

Y(4)= 65

Y(5)= 30

Y(6)= 52

Y(7)= 33

Y(8)= 50

Y(9)= 35

B(J) ДО АНАЛИЗА

B(1)= 40.88889

B(2)= .7777778

B(3)= 1.037037E-02

B(4)= 81.66664

B(5)= 1.999999

B(6)= 283.324

B(7)= 6.666443

B(8)=-2.222225E-02

B(9)=-2.444441

КОЛИЧЕСТВО ОПЫТОВ НА СРЕДНЕМ УРОВНЕ ФАКТОРОВ

N0= 4

РАСЧЕТНЫЕ ВЕЛИЧИНЫ ПОКАЗАТЕЛЕЙ Z(J) ДО АНАЛИЗА B(J)

Z(1)= 24.99998

Z(2)= 42.99997

Z(3)= 34.99998

Z(4)= 64.99995

Z(5)= 30.00004

Z(6)= 52.00008

$Z(7) = 32.99999$
 $Z(8) = 49.99994$
 $Z(9) = 35.00006$
 $F8 = N0 - 1 = 3$
 ПРОВЕРКА ПО РАЗНОСТИ $Y(J) - Z(J)$
 В ПРОЦЕНТАХ $(Y(J) - Z(J)) * (100 / Y(J))$
 $Y(1) - Z(1) = 1.716614E-05$
 $(Y(1) - Z(1)) * (100 / Y(1)) = 6.866455E-05$
 $Y(2) - Z(2) = 3.051758E-05$
 $(Y(2) - Z(2)) * (100 / Y(2)) = 7.097111E-05$
 $Y(3) - Z(3) = 1.907349E-05$
 $(Y(3) - Z(3)) * (100 / Y(3)) = 5.449567E-05$
 $Y(4) - Z(4) = 5.340576E-05$
 $(Y(4) - Z(4)) * (100 / Y(4)) = 8.216271E-05$
 $Y(5) - Z(5) = -3.814697E-05$
 $(Y(5) - Z(5)) * (100 / Y(5)) = -1.271566E-04$
 $Y(6) - Z(6) = -8.010864E-05$
 $(Y(6) - Z(6)) * (100 / Y(6)) = -1.540551E-04$
 $Y(7) - Z(7) = 7.629395E-06$
 $(Y(7) - Z(7)) * (100 / Y(7)) = 2.311938E-05$
 $Y(8) - Z(8) = 6.103516E-05$
 $(Y(8) - Z(8)) * (100 / Y(8)) = 1.220703E-04$
 $Y(9) - Z(9) = -6.484985E-05$
 $(Y(9) - Z(9)) * (100 / Y(9)) = -1.852853E-04$
 ДИСПЕРСИЯ ОПЫТОВ $U9 = 1.8$
 РАСЧЕТНЫЕ ВЕЛИЧИНЫ $T(J)$
 $T(1) = 91.43034$
 $T(2) = 21.30032$
 $T(3) = 2.459549$
 $T(4) = 14.91022$
 $T(5) = 4.472135$
 $T(6) = 2.986497$
 $T(7) = .8606341$
 $T(8) = .4303319$
 $T(9) = 2.732968$
 ТАБЛИЧНЫЙ Т-КРИТЕРИЙ $T0 = 3.182$
 В(J) ПОСЛЕ АНАЛИЗА
 $V(1) = 40.88889$
 $V(2) = .7777778$
 $V(3) = 0$
 $V(4) = 81.66664$
 $V(5) = 1.999999$
 $V(6) = 0$
 $V(7) = 0$
 $V(8) = 0$
 $V(9) = 0$
 КОЛИЧЕСТВО СТАТИСТИЧЕСКИ ЗНАЧИМЫХ
 КОЭФФИЦИЕНТОВ РЕГРЕССИИ $K9 = 4$
 $F9 = X - 1$
 $F9 = 8$
 ТАБЛИЧНЫЙ F-КРИТЕРИЙ $F7 = 8.69$
 РАСЧЕТНЫЕ ВЕЛИЧИНЫ ПОКАЗАТЕЛЯ $Z(J)$ ПОСЛЕ АНАЛИЗА $V(J)$
 $Z(1) = 24.05556$
 $Z(2) = 41.38889$
 $Z(3) = 34.38889$
 $Z(4) = 63.72222$
 $Z(5) = 29.22222$
 $Z(6) = 52.55556$
 $Z(7) = 32.72223$
 $Z(8) = 49.05555$
 $Z(9) = 40.88889$
 ПРОВЕРКА ПО РАЗНОСТИ $Y(J) - Z(J)$
 В ПРОЦЕНТАХ $(Y(J) - Z(J)) * (100 / Y(J))$
 $Y(1) - Z(1) = .9444427$
 $(Y(1) - Z(1)) * (100 / Y(1)) = 3.777771$

$Y(2) - Z(2) = 1.611107$
 $(Y(2) - Z(2)) * (100 / Y(2)) = 3.74676$
 $Y(3) - Z(3) = .6111145$
 $(Y(3) - Z(3)) * (100 / Y(3)) = 1.746041$
 $Y(4) - Z(4) = 1.277779$
 $(Y(4) - Z(4)) * (100 / Y(4)) = 1.965813$
 $Y(5) - Z(5) = .7777767$
 $(Y(5) - Z(5)) * (100 / Y(5)) = 2.592589$
 $Y(6) - Z(6) = -.5555573$
 $(Y(6) - Z(6)) * (100 / Y(6)) = -1.068379$
 $Y(7) - Z(7) = .2777748$
 $(Y(7) - Z(7)) * (100 / Y(7)) = .8417419$
 $Y(8) - Z(8) = .9444466$
 $(Y(8) - Z(8)) * (100 / Y(8)) = 1.888893$
 $Y(9) - Z(9) = -5.888889$
 $(Y(9) - Z(9)) * (100 / Y(9)) = -16.8254$
РАСЧЕТНАЯ ВЕЛИЧИНА F-КРИТЕРИЯ $F_6 = 2.920525$
АДЕКВАТНО, ТАК КАК $F_6 \leq F_7$
СИСТЕМНОЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЕ
ДЛЯ АНАЛИЗОВ РЕЗУЛЬТАТОВ РАСЧЕТОВ
ПО МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ
ОТНОСИТЕЛЬНАЯ ВЕЛИЧИНА ПОКАЗАТЕЛЯ
 $Z1(J) = Z(J) / (S/X)$, ГДЕ S – СУММА
АБСОЛЮТНЫХ ВЕЛИЧИН ПОКАЗАТЕЛЕЙ, $S = 368$
S/X – СРЕДНЯЯ АРИФМЕТИЧЕСКАЯ ВЕЛИЧИНА, $S/X = 40.88889$
1.1.A2 = .2 A1 = 15 Z(1) = 24.05556 Z1(1) = .5883152
1.2.A2 = .2 E1 = 30 Z(7) = 32.72223 Z1(7) = .8002718
1.3.A2 = .2 B1 = 45 Z(2) = 41.38889 Z1(2) = 1.012228
2.1.E2 = .3 A1 = 15 Z(5) = 29.22222 Z1(5) = .7146739
2.2.E2 = .3 E1 = 30 Z(9) = 40.88889 Z1(9) = 1
2.3.E2 = .3 B1 = 45 Z(6) = 52.55556 Z1(6) = 1.285326
3.1.B2 = .4 A1 = 15 Z(3) = 34.38889 Z1(3) = .8410325
3.2.B2 = .4 E1 = 30 Z(8) = 49.05555 Z1(8) = 1.199728
3.3.B2 = .4 B1 = 45 Z(4) = 63.72222 Z1(4) = 1.558424
4.1.A1 = 15 A2 = .2 Z(1) = 24.05556 Z1(1) = .5883152
4.2.A1 = 15 E2 = .3 Z(5) = 29.22222 Z1(5) = .7146739
4.3.A1 = 15 B2 = .4 Z(3) = 34.38889 Z1(3) = .8410325
5.1.E1 = 30 A2 = .2 Z(7) = 32.72223 Z1(7) = .8002718
5.2.E1 = 30 E2 = .3 Z(9) = 40.88889 Z1(9) = 1
5.3.E1 = 30 B2 = .4 Z(8) = 49.05555 Z1(8) = 1.199728
6.1.B1 = 45 A2 = .2 Z(2) = 41.38889 Z1(2) = 1.012228
6.2.B1 = 45 E2 = .3 Z(6) = 52.55556 Z1(6) = 1.285326
6.3.B1 = 45 B2 = .4 Z(4) = 63.72222 Z1(4) = 1.558424
МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ
 $Z(J) = 40.88889 + .7777778 * I(J) + 0 * K(J) +$
 $+ 81.66664 * P(J) + 1.999999 * I(J) * P(J) +$
 $+ 0 * Q(J) + 0 * I(J) * Q(J) +$
 $+ 0 * P(J) * K(J) + 0 * K(J) * Q(J),$
ГДЕ
 $I(J) = F(J)^1 + -30 ;$
 $K(J) = F(J)^2 + -60 * F(J)^1 + 750$
ОБОЗНАЧЕНИЕ: F(J) – 1-й ФАКТОР
 $P(J) = H(J)^1 + -.3 ;$
 $Q(J) = H(J)^2 + -.6000004 * H(J)^1 + 8.333345E-02$
ОБОЗНАЧЕНИЕ: H(J) – 2-й ФАКТОР

Для плана 3^3 (X=27):

Обозначения:

A1; B1; E1 – содержание глины в % от массы облицовочного слоя.

A2; B2; E2 – отношение V1/V2.

A3; B3; E3 – отношение T1/T2

V1 – суммарный объем

V2 – общий объем поверхностного слоя формы

T1 – температура заливки жидкого металла

T2 – температура плавления металла

Z – толщина слоя.

Данные для программы NW3 для плана 3³ (X=27):

A1=5; E1=30; B1=55; J1=1; O1=2

A2=0,07; E2=0,41; B2=0,75; J2=1; O2=2

A3=1,12; E3=1,23; B3=1,34; J3=1; O3=2

N0=4; F8=3; U9=2,5; T0=3,182; F7=8,69

Таблица 2.4

План 3³ (X=27)

Номер опыта	Факторы			Показатель Y(J)
	F(J)	H(J)	L(J)	
1	A1=5	A2=0,07	A3=1,12	Y(1)=5
2	B1=55	A2=0,07	A3=1,12	Y(2)=40
3	A1=5	B2=0,75	A3=1,12	Y(3)=45
4	B1=55	B2=0,75	A3=1,12	Y(4)=80
5	A1=5	A2=0,07	B3=1,34	Y(5)=35
6	B1=55	A2=0,07	B3=1,34	Y(6)=65
7	A1=5	B2=0,75	B3=1,34	Y(7)=50
8	B1=55	B2=0,75	B3=1,34	Y(8)=125
9	A1=5	E2=0,41	E3=1,23	Y(9)=40
10	B1=55	E2=0,41	E3=1,23	Y(10)=70
11	E1=30	A2=0,07	E3=1,23	Y(11)=55
12	E1=30	B2=0,75	E3=1,23	Y(12)=70
13	E1=30	E2=0,41	A3=1,12	Y(13)=63
14	E1=30	E2=0,41	B3=1,34	Y(14)=70
15	A1=5	A2=0,07	E3=1,23	Y(15)=32
16	B1=55	A2=0,07	E3=1,23	Y(16)=60
17	A1=5	B2=0,75	E3=1,23	Y(17)=50
18	B1=55	B2=0,75	E3=1,23	Y(18)=75
19	A1=5	E2=0,41	A3=1,12	Y(19)=18
20	B1=55	E2=0,41	A3=1,12	Y(20)=68
21	A1=5	E2=0,41	B3=1,34	Y(21)=42

<i>Продолжение таблицы 2.4</i>				
22	$B1=55$	$E2=0,41$	$B3=1,34$	$Y(22)=80$
23	$E1=30$	$A2=0,07$	$A3=1,12$	$Y(23)=35$
24	$E1=30$	$B2=0,75$	$A3=1,12$	$Y(24)=73$
25	$E1=30$	$A2=0,07$	$B3=1,34$	$Y(25)=63$
26	$E1=30$	$B2=0,75$	$B3=1,34$	$Y(26)=100$
27	$E1=30$	$E2=0,41$	$E3=1,23$	$Y(27)65$

Результаты выполнения программы NW3 для плана 3^3 (X=27):

РЕЗУЛЬТАТЫ ВЫПОЛНЕНИЯ ПРОГРАММЫ NW3, РАЗРАБОТАННОЙ А.А. ЧЕРНЫМ
КОЛИЧЕСТВО ОПЫТОВ ПО ПЛАНУ

X= 27

ВЕЛИЧИНЫ ФАКТОРОВ И ПОКАЗАТЕЛЕЙ СТЕПЕНИ

A1= 5 E1= 30 B1= 55

J1= 1 O1= 2

КОЭФФИЦИЕНТЫ ОРТОГОНАЛИЗАЦИИ

V1=-30 U1=-60.00001 Q1= 483.3336

A2= .07 E2= .41 B2= .75

J2= 1 O2= 2

КОЭФФИЦИЕНТЫ ОРТОГОНАЛИЗАЦИИ

V2=-.41 U2=-.82 Q2= 9.103333E-02

A3= 1.12 E3= 1.23 B3= 1.34

J3= 1 O3= 23

КОЭФФИЦИЕНТЫ ОРТОГОНАЛИЗАЦИИ

V3=-1.23 U3=-3748.927 Q3= 4288.255

ВЕЛИЧИНЫ ПОКАЗАТЕЛЕЙ В СООТВЕТСТВИИ С ПЛАНOM Y(J)

Y(1)= 5

Y(2)= 40

Y(3)= 45

Y(4)= 80

Y(5)= 35

Y(6)= 65

Y(7)= 50

Y(8)= 125

Y(9)= 40

Y(10)= 70

Y(11)= 55

Y(12)= 70

Y(13)= 63

Y(14)= 70

Y(15)= 32

Y(16)= 60

Y(17)= 50

Y(18)= 0

Y(19)= 68

Y(20)= 42

Y(21)= 80

Y(22)= 35

Y(23)= 73

Y(24)= 63

Y(25)= 100

Y(26)= 65

Y(27)= 1

ВЕЛИЧИНЫ ПОКАЗАТЕЛЕЙ В СООТВЕТСТВИИ С ПЛАНOM Y(J)

Y(1)= 5

Y(2)= 40

Y(3)= 45

Y(4)= 80

Y(5)= 35

Y(6)= 65
Y(7)= 50
Y(8)= 125
Y(9)= 40
Y(10)= 70
Y(11)= 55
Y(12)= 70
Y(13)= 63
Y(14)= 70
Y(15)= 32
Y(16)= 60
Y(17)= 50
Y(18)= 75
Y(19)= 18
Y(20)= 68
Y(21)= 42
Y(22)= 80
Y(23)= 35
Y(24)= 73
Y(25)= 63
Y(26)= 100
Y(27)= 65
В(J) ДО АНАЛИЗА
В(1)= 58.2963
В(2)= .7688889
В(3)=-1.848888E-02
В(4)= 45.42484
В(5)= .4117647
В(6)= 12.49522
В(7)=-.2306801
В(8)= 3.137277E-03
В(9)= 2.998856E-02
В(10)= 102.5253
В(11)= .6969697
В(12)=-13.36897
В(13)= 6.016042
В(14)= 4.135631E-03
В(15)= 1.04627E-03
В(16)= .1062759
В(17)= 2.060609E-02
В(18)= 484.9532
В(19)= 2.426955E-03
В(20)= 23.19912
В(21)=-1.604305E-02
В(22)=-2.114085E-05
В(23)= .1166375
В(24)= 1.819683E-03
В(25)=-1.903659E-06
В(26)=-.770683
В(27)= 2.798432E-05
КОЛИЧЕСТВО ОПЫТОВ НА СРЕДНЕМ УРОВНЕ ФАКТОРОВ
N0= 4
РАСЧЕТНЫЕ ВЕЛИЧИНЫ ПОКАЗАТЕЛЕЙ Z(J) ДО АНАЛИЗА В(J)
Z(1)= 5.000215
Z(2)= 40.00016
Z(3)= 45.00004
Z(4)= 79.99996
Z(5)= 35.00003
Z(6)= 65.00005
Z(7)= 50
Z(8)= 125.0004
Z(9)= 39.99979
Z(10)= 69.9999
Z(11)= 54.99976
Z(12)= 69.99976

Z(13)= 63
 Z(14)= 70.00003
 Z(15)= 31.99975
 Z(16)= 59.9998
 Z(17)= 49.99996
 Z(18)= 74.99963
 Z(19)= 18.00017
 Z(20)= 68.00002
 Z(21)= 42.00002
 Z(22)= 80.00009
 Z(23)= 35.00017
 Z(24)= 72.99997
 Z(25)= 63.00006
 Z(26)= 100.0003
 Z(27)= 64.99994
 F8=N0-1= 3
 ПРОВЕРКА ПО РАЗНОСТИ Y(J)-Z(J)
 В ПРОЦЕНТАХ (Y(J)-Z(J)) * (100/Y(J))
 Y(1)-Z(1)=-2.145767E-04
 (Y(1)-Z(1)) * (100 / Y(1)) = -4.291534E-03
 Y(2)-Z(2)=-1.64032E-04
 (Y(2)-Z(2)) * (100 / Y(2)) = -4.1008E-04
 Y(3)-Z(3)=-4.196167E-05
 (Y(3)-Z(3)) * (100 / Y(3)) = -9.324816E-05
 Y(4)-Z(4)= 3.814697E-05
 (Y(4)-Z(4)) * (100 / Y(4)) = 4.768372E-05
 Y(5)-Z(5)=-2.670288E-05
 (Y(5)-Z(5)) * (100 / Y(5)) = -7.629395E-05
 Y(6)-Z(6)=-4.577637E-05
 (Y(6)-Z(6)) * (100 / Y(6)) = -7.042518E-05
 Y(7)-Z(7)= 0
 (Y(7)-Z(7)) * (100 / Y(7)) = 0
 Y(8)-Z(8)=-4.272461E-04
 (Y(8)-Z(8)) * (100 / Y(8)) = -3.417969E-04
 Y(9)-Z(9)= 2.059937E-04
 (Y(9)-Z(9)) * (100 / Y(9)) = 5.149841E-04
 Y(10)-Z(10)= 9.918213E-05
 (Y(10)-Z(10)) * (100 / Y(10)) = 1.416888E-04
 Y(11)-Z(11)= 2.403259E-04
 (Y(11)-Z(11)) * (100 / Y(11)) = 4.369562E-04
 Y(12)-Z(12)= 2.365112E-04
 (Y(12)-Z(12)) * (100 / Y(12)) = 3.378732E-04
 Y(13)-Z(13)=-3.814697E-06
 (Y(13)-Z(13)) * (100 / Y(13)) = -6.055075E-06
 Y(14)-Z(14)=-3.051758E-05
 (Y(14)-Z(14)) * (100 / Y(14)) = -4.359654E-05
 Y(15)-Z(15)= 2.536774E-04
 (Y(15)-Z(15)) * (100 / Y(15)) = 7.927418E-04
 Y(16)-Z(16)= 2.02179E-04
 (Y(16)-Z(16)) * (100 / Y(16)) = 3.369649E-04
 Y(17)-Z(17)= 3.814697E-05
 (Y(17)-Z(17)) * (100 / Y(17)) = 7.629395E-05
 Y(18)-Z(18)= 3.662109E-04
 (Y(18)-Z(18)) * (100 / Y(18)) = 4.882813E-04
 Y(19)-Z(19)=-1.659393E-04
 (Y(19)-Z(19)) * (100 / Y(19)) = -9.218852E-04
 Y(20)-Z(20)=-1.525879E-05
 (Y(20)-Z(20)) * (100 / Y(20)) = -2.24394E-05
 Y(21)-Z(21)=-1.525879E-05
 (Y(21)-Z(21)) * (100 / Y(21)) = -3.633045E-05
 Y(22)-Z(22)=-9.155273E-05
 (Y(22)-Z(22)) * (100 / Y(22)) = -1.144409E-04
 Y(23)-Z(23)=-1.678467E-04
 (Y(23)-Z(23)) * (100 / Y(23)) = -4.795619E-04
 Y(24)-Z(24)= 3.051758E-05

$(Y(24) - Z(24)) * (100 / Y(24)) = 4.18049E-05$
 $Y(25) - Z(25) = -6.103516E-05$
 $(Y(25) - Z(25)) * (100 / Y(25)) = -9.68812E-05$
 $Y(26) - Z(26) = -2.5177E-04$
 $(Y(26) - Z(26)) * (100 / Y(26)) = -2.5177E-04$
 $Y(27) - Z(27) = 6.103516E-05$
 $(Y(27) - Z(27)) * (100 / Y(27)) = 9.390024E-05$

ДИСПЕРСИЯ ОПЫТОВ $U9 = 2.5$

РАСЧЕТНЫЕ ВЕЛИЧИНЫ $T(J)$

$T(1) = 191.5812$
 $T(2) = 51.57864$
 $T(3) = 17.90178$
 $T(4) = 41.4418$
 $T(5) = 7.668116$
 $T(6) = 2.237729$
 $T(7) = .8432726$
 $T(8) = .8432799$
 $T(9) = 1.582314$
 $T(10) = 30.26146$
 $T(11) = 4.199207$
 $T(12) = 1.095444$
 $T(13) = 10.06231$
 $T(14) = 1.979961$
 $T(15) = 10.22476$
 $T(16) = 14.12482$
 $T(17) = 1.79196$
 $T(18) = 7.800284$
 $T(19) = 6.584217$
 $T(20) = 7.616867$
 $T(21) = .387305$
 $T(22) = 2.982023$
 $T(23) = 3.043018$
 $T(24) = .9690732$
 $T(25) = 7.454371E-02$
 $T(26) = 3.652246$
 $T(27) = .2151071$

ТАБЛИЧНЫЙ Т-КРИТЕРИЙ $T0 = 3.182$

$V(J)$ ПОСЛЕ АНАЛИЗА

$V(1) = 58.2963$
 $V(2) = .7688889$
 $V(3) = -1.848888E-02$
 $V(4) = 45.42484$
 $V(5) = .4117647$
 $V(6) = 0$
 $V(7) = 0$
 $V(8) = 0$
 $V(9) = 0$
 $V(10) = 102.5253$
 $V(11) = .6969697$
 $V(12) = 0$
 $V(13) = 6.016042$
 $V(14) = 0$
 $V(15) = 1.04627E-03$
 $V(16) = .1062759$
 $V(17) = 0$
 $V(18) = 484.9532$
 $V(19) = 2.426955E-03$
 $V(20) = 23.19912$
 $V(21) = 0$
 $V(22) = 0$
 $V(23) = 0$
 $V(24) = 0$
 $V(25) = 0$
 $V(26) = -.770683$
 $V(27) = 0$

КОЛИЧЕСТВО СТАТИСТИЧЕСКИ ЗНАЧИМЫХ
КОЭФИЦИЕНТОВ РЕГРЕССИИ K9= 14

F9=X-1

F9= 26

ТАБЛИЧНЫЙ F-КРИТЕРИЙ F7= 8.69

РАСЧЕТНЫЕ ВЕЛИЧИНЫ ПОКАЗАТЕЛЯ Z(J) ПОСЛЕ АНАЛИЗА В(J)

Z(1)= 5.083468

Z(2)= 40.16672

Z(3)= 43.41662

Z(4)= 78.49985

Z(5)= 32.88881

Z(6)= 62.97212

Z(7)= 48.72213

Z(8)= 123.8058

Z(9)= 40.61114

Z(10)= 68.27775

Z(11)= 57.99998

Z(12)= 74.00001

Z(13)= 61.55555

Z(14)= 70.44444

Z(15)= 31.86103

Z(16)= 61.02784

Z(17)= 49.36124

Z(18)= 75.52766

Z(19)= 21.00004

Z(20)= 70.83328

Z(21)= 44.05547

Z(22)= 81.88898

Z(23)= 32.13898

Z(24)= 70.47212

Z(25)= 61.52769

Z(26)= 99.8612

Z(27)= 65.99999

ПРОВЕРКА ПО РАЗНОСТИ Y(J)-Z(J)

В ПРОЦЕНТАХ (Y(J)-Z(J)) * (100/Y(J))

Y(1)-Z(1)=-8.346844E-02

(Y(1)-Z(1)) * (100 / Y(1)) = -1.669369

Y(2)-Z(2)=-.1667175

(Y(2)-Z(2)) * (100 / Y(2)) = -.4167938

Y(3)-Z(3)= 1.583378

(Y(3)-Z(3)) * (100 / Y(3)) = 3.518617

Y(4)-Z(4)= 1.500153

(Y(4)-Z(4)) * (100 / Y(4)) = 1.875191

Y(5)-Z(5)= 2.111187

(Y(5)-Z(5)) * (100 / Y(5)) = 6.031963

Y(6)-Z(6)= 2.027878

(Y(6)-Z(6)) * (100 / Y(6)) = 3.119812

Y(7)-Z(7)= 1.277874

(Y(7)-Z(7)) * (100 / Y(7)) = 2.555748

Y(8)-Z(8)= 1.194168

(Y(8)-Z(8)) * (100 / Y(8)) = .9553345

Y(9)-Z(9)=-.6111374

(Y(9)-Z(9)) * (100 / Y(9)) = -1.527843

Y(10)-Z(10)= 1.722252

(Y(10)-Z(10)) * (100 / Y(10)) = 2.46036

Y(11)-Z(11)=-2.999985

(Y(11)-Z(11)) * (100 / Y(11)) = -5.454518

Y(12)-Z(12)=-4.000008

(Y(12)-Z(12)) * (100 / Y(12)) = -5.714297

Y(13)-Z(13)= 1.444454

(Y(13)-Z(13)) * (100 / Y(13)) = 2.292784

Y(14)-Z(14)=-.4444427

(Y(14)-Z(14)) * (100 / Y(14)) = -.6349182

Y(15)-Z(15)= .1389656

(Y(15)-Z(15)) * (100 / Y(15)) = .4342675

$Y(16) - Z(16) = -1.027836$
 $(Y(16) - Z(16)) * (100 / Y(16)) = -1.71306$
 $Y(17) - Z(17) = .6387558$
 $(Y(17) - Z(17)) * (100 / Y(17)) = 1.277512$
 $Y(18) - Z(18) = -.5276642$
 $(Y(18) - Z(18)) * (100 / Y(18)) = -.7035522$
 $Y(19) - Z(19) = -3.00004$
 $(Y(19) - Z(19)) * (100 / Y(19)) = -16.66689$
 $Y(20) - Z(20) = -2.833282$
 $(Y(20) - Z(20)) * (100 / Y(20)) = -4.166592$
 $Y(21) - Z(21) = -2.055473$
 $(Y(21) - Z(21)) * (100 / Y(21)) = -4.893984$
 $Y(22) - Z(22) = -1.888977$
 $(Y(22) - Z(22)) * (100 / Y(22)) = -2.361221$
 $Y(23) - Z(23) = 2.861023$
 $(Y(23) - Z(23)) * (100 / Y(23)) = 8.174352$
 $Y(24) - Z(24) = 2.527878$
 $(Y(24) - Z(24)) * (100 / Y(24)) = 3.462846$
 $Y(25) - Z(25) = 1.472313$
 $(Y(25) - Z(25)) * (100 / Y(25)) = 2.337005$
 $Y(26) - Z(26) = .1388016$
 $(Y(26) - Z(26)) * (100 / Y(26)) = .1388016$
 $Y(27) - Z(27) = -.9999924$
 $(Y(27) - Z(27)) * (100 / Y(27)) = -1.53845$
РАСЧЕТНАЯ ВЕЛИЧИНА F-КРИТЕРИЯ $F_6 = 1.406$
АДЕКВАТНО, ТАК КАК $F_6 \leq F_7$
СИСТЕМНОЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЕ
ДЛЯ АНАЛИЗОВ РЕЗУЛЬТАТОВ РАСЧЕТОВ
ПО МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ
ОТНОСИТЕЛЬНАЯ ВЕЛИЧИНА ПОКАЗАТЕЛЯ
 $Z_1(J) = Z(J) / (S/X)$, ГДЕ S—СУММА
АБСОЛЮТНЫХ ВЕЛИЧИН ПОКАЗАТЕЛЕЙ, $S = 1574$
S/X—СРЕДНЯЯ АРИФМЕТИЧЕСКАЯ ВЕЛИЧИНА, $S/X = 58.2963$
1.1.A2= .07 A3= 1.12 A1= 5 Z(1)= 5.083468 Z1(1)= 8.720054E-02
1.2.A2= .07 A3= 1.12 E1= 30 Z(23)= 32.13898 Z1(23)= .5513039
1.3.A2= .07 A3= 1.12 B1= 55 Z(2)= 40.16672 Z1(2)= .6890098
2.1.A2= .07 E3= 1.23 A1= 5 Z(15)= 31.86103 Z1(15)= .5465361
2.2.A2= .07 E3= 1.23 E1= 30 Z(11)= 57.99998 Z1(11)= .9949172
2.3.A2= .07 E3= 1.23 B1= 55 Z(16)= 61.02784 Z1(16)= 1.046856
3.1.A2= .07 B3= 1.34 A1= 5 Z(5)= 32.88881 Z1(5)= .5641664
3.2.A2= .07 B3= 1.34 E1= 30 Z(25)= 61.52769 Z1(25)= 1.05543
3.3.A2= .07 B3= 1.34 B1= 55 Z(6)= 62.97212 Z1(6)= 1.080208
4.1.E2= .41 A3= 1.12 A1= 5 Z(19)= 21.00004 Z1(19)= .3602294
4.2.E2= .41 A3= 1.12 E1= 30 Z(13)= 61.55555 Z1(13)= 1.055908
4.3.E2= .41 A3= 1.12 B1= 55 Z(20)= 70.83328 Z1(20)= 1.215056
5.1.E2= .41 E3= 1.23 A1= 5 Z(9)= 40.61114 Z1(9)= .6966332
5.2.E2= .41 E3= 1.23 E1= 30 Z(27)= 65.99999 Z1(27)= 1.132147
5.3.E2= .41 E3= 1.23 B1= 55 Z(10)= 68.27775 Z1(10)= 1.171219
6.1.E2= .41 B3= 1.34 A1= 5 Z(21)= 44.05547 Z1(21)= .7557165
6.2.E2= .41 B3= 1.34 E1= 30 Z(14)= 70.44444 Z1(14)= 1.208386
6.3.E2= .41 B3= 1.34 B1= 55 Z(22)= 81.88898 Z1(22)= 1.404703
7.1.B2= .75 A3= 1.12 A1= 5 Z(3)= 43.41662 Z1(3)= .7447578
7.2.B2= .75 A3= 1.12 E1= 30 Z(24)= 70.47212 Z1(24)= 1.208861
7.3.B2= .75 A3= 1.12 B1= 55 Z(4)= 78.49985 Z1(4)= 1.346567
8.1.B2= .75 E3= 1.23 A1= 5 Z(17)= 49.36124 Z1(17)= .8467304
8.2.B2= .75 E3= 1.23 E1= 30 Z(12)= 74.00001 Z1(12)= 1.269377
8.3.B2= .75 E3= 1.23 B1= 55 Z(18)= 75.52766 Z1(18)= 1.295583
9.1.B2= .75 B3= 1.34 A1= 5 Z(7)= 48.72213 Z1(7)= .8357671
9.2.B2= .75 B3= 1.34 E1= 30 Z(26)= 99.8612 Z1(26)= 1.712994
9.3.B2= .75 B3= 1.34 B1= 55 Z(8)= 123.8058 Z1(8)= 2.123734
10.1.A3= 1.12 A1= 5 A2= .07 Z(1)= 5.083468 Z1(1)= 8.720054E-02
10.2.A3= 1.12 A1= 5 E2= .41 Z(19)= 21.00004 Z1(19)= .3602294
10.3.A3= 1.12 A1= 5 B2= .75 Z(3)= 43.41662 Z1(3)= .7447578
11.1.A3= 1.12 E1= 30 A2= .07 Z(23)= 32.13898 Z1(23)= .5513039
11.2.A3= 1.12 E1= 30 E2= .41 Z(13)= 61.55555 Z1(13)= 1.055908

11.3.A3= 1.12 E1= 30 B2= .75 Z(24)= 70.47212 Z1(24)= 1.208861
 12.1.A3= 1.12 B1= 55 A2= .07 Z(2)= 40.16672 Z1(2)= .6890098
 12.2.A3= 1.12 B1= 55 E2= .41 Z(20)= 70.83328 Z1(20)= 1.215056
 12.3.A3= 1.12 B1= 55 B2= .75 Z(4)= 78.49985 Z1(4)= 1.346567
 13.1.E3= 1.23 A1= 5 A2= .07 Z(15)= 31.86103 Z 1(15)= .5465361
 13.2.E3= 1.23 A1= 5 E2= .41 Z(9)= 40.61114 Z 1(9)= .6966332
 13.3.E3= 1.23 A1= 5 B2= .75 Z(17)= 49.36124 Z 1(17)= .8467304
 14.1.E3= 1.23 E1= 30 A2= .07 Z(11)= 57.99998 Z 1(11)= .9949172
 14.2.E3= 1.23 E1= 30 E2= .41 Z(27)= 65.99999 Z 1(27)= 1.132147
 14.3.E3= 1.23 E1= 30 B2= .75 Z(12)= 74.00001 Z 1(12)= 1.269377
 15.1.E3= 1.23 B1= 55 A2= .07 Z(16)= 61.02784 Z 1(16)= 1.046856
 15.2.E3= 1.23 B1= 55 E2= .41 Z(10)= 68.27775 Z 1(10)= 1.171219
 15.3.E3= 1.23 B1= 55 B2= .75 Z(18)= 75.52766 Z 1(18)= 1.295583
 16.1.B3= 1.34 A1= 5 A2= .07 Z(5)= 32.88881 Z 1(5)= .5641664
 16.2.B3= 1.34 A1= 5 E2= .41 Z(21)= 44.05547 Z 1(21)= .7557165
 16.3.B3= 1.34 A1= 5 B2= .75 Z(7)= 48.72213 Z 1(7)= .8357671
 17.1.B3= 1.34 E1= 30 A2= .07 Z(25)= 61.52769 Z 1(25)= 1.05543
 17.2.B3= 1.34 E1= 30 E2= .41 Z(14)= 70.44444 Z 1(14)= 1.208386
 17.3.B3= 1.34 E1= 30 B2= .75 Z(26)= 99.8612 Z 1(26)= 1.712994
 18.1.B3= 1.34 B1= 55 A2= .07 Z(6)= 62.97212 Z 1(6)= 1.080208
 18.2.B3= 1.34 B1= 55 E2= .41 Z(22)= 81.88898 Z 1(22)= 1.404703
 18.3.B3= 1.34 B1= 55 B2= .75 Z(8)= 123.8058 Z 1(8)= 2.123734
 19.1.A1= 5 A2= .07 A3= 1.12 Z(1)= 5.083468 Z 1(1)= 8.720054E-02
 19.2.A1= 5 A2= .07 E3= 1.23 Z(15)= 31.86103 Z 1(15)= .5465361
 19.3.A1= 5 A2= .07 B3= 1.34 Z(5)= 32.88881 Z 1(5)= .5641664
 20.1.A1= 5 E2= .41 A3= 1.12 Z(19)= 21.00004 Z 1(19)= .3602294
 20.2.A1= 5 E2= .41 E3= 1.23 Z(9)= 40.61114 Z 1(9)= .6966332
 20.3.A1= 5 E2= .41 B3= 1.34 Z(21)= 44.05547 Z 1(21)= .7557165
 21.1.A1= 5 B2= .75 A3= 1.12 Z(3)= 43.41662 Z 1(3)= .7447578
 21.2.A1= 5 B2= .75 E3= 1.23 Z(17)= 49.36124 Z 1(17)= .8467304
 21.3.A1= 5 B2= .75 B3= 1.34 Z(7)= 48.72213 Z 1(7)= .8357671
 22.1.E1= 30 A2= .07 A3= 1.12 Z(23)= 32.13898 Z 1(23)= .5513039
 22.2.E1= 30 A2= .07 E3= 1.23 Z(11)= 57.99998 Z 1(11)= .9949172
 22.3.E1= 30 A2= .07 B3= 1.34 Z(25)= 61.52769 Z 1(25)= 1.05543
 23.1.E1= 30 E2= .41 A3= 1.12 Z(13)= 61.55555 Z 1(13)= 1.055908
 23.2.E1= 30 E2= .41 E3= 1.23 Z(27)= 65.99999 Z 1(27)= 1.132147
 23.3.E1= 30 E2= .41 B3= 1.34 Z(14)= 70.44444 Z 1(14)= 1.208386
 24.1.E1= 30 B2= .75 A3= 1.12 Z(24)= 70.47212 Z 1(24)= 1.208861
 24.2.E1= 30 B2= .75 E3= 1.23 Z(12)= 74.00001 Z 1(12)= 1.269377
 24.3.E1= 30 B2= .75 B3= 1.34 Z(26)= 99.8612 Z 1(26)= 1.712994
 25.1.B1= 55 A2= .07 A3= 1.12 Z(2)= 40.16672 Z 1(2)= .6890098
 25.2.B1= 55 A2= .07 E3= 1.23 Z(16)= 61.02784 Z 1(16)= 1.046856
 25.3.B1= 55 A2= .07 B3= 1.34 Z(6)= 62.97212 Z 1(6)= 1.080208
 26.1.B1= 55 E2= .41 A3= 1.12 Z(20)= 70.83328 Z 1(20)= 1.215056
 26.2.B1= 55 E2= .41 E3= 1.23 Z(10)= 68.27775 Z 1(10)= 1.171219
 26.3.B1= 55 E2= .41 B3= 1.34 Z(22)= 81.88898 Z 1(22)= 1.404703
 27.1.B1= 55 B2= .75 A3= 1.12 Z(4)= 78.49985 Z 1(4)= 1.346567
 27.2.B1= 55 B2= .75 E3= 1.23 Z(18)= 75.52766 Z 1(18)= 1.295583
 27.3.B1= 55 B2= .75 B3= 1.34 Z(8)= 123.8058 Z 1(8)= 2.123734

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ

$Z(J) = 58.2963 + .7688889 * I(J) + -1.848888E-02 * K(J) +$
 $+ 45.42484 * P(J) + .4117647 * I(J) * P(J) +$
 $+ 0 * Q(J) + 0 * I(J) * Q(J) +$
 $+ 0 * P(J) * K(J) + 0 * K(J) * Q(J) +$
 $+ 102.5253 * U(J) + .6969697 * I(J) * U(J) +$
 $+ 0 * P(J) * U(J) + 6.016042 * I(J) * P(J) * U(J) +$
 $+ 0 * V(J) + 1.04627E-03 * I(J) * V(J) +$
 $+ .1062759 * P(J) * V(J) + 0 * U(J) * K(J) +$
 $+ 484.9532 * U(J) * Q(J) + 2.426955E-03 * I(J) * P(J) * V(J) +$
 $+ 23.19912 * I(J) * U(J) * Q(J) + 0 * P(J) * U(J) * K(J) +$
 $+ 0 * K(J) * V(J) + 0 * Q(J) * V(J) +$
 $+ 0 * I(J) * Q(J) * V(J) + 0 * P(J) * K(J) * V(J) +$
 $+ -.770683 * U(J) * K(J) * Q(J) + 0 * K(J) * Q(J) * V(J),$

ГДЕ

$I(J) = F(J)^{-1} + -30 ;$

$K(J) = F(J)^2 + -60.00001 * F(J)^1 + 483.3336$
 ОБОЗНАЧЕНИЕ: F(J) – 1-й ФАКТОР
 $P(J) = H(J)^1 + -.41 ;$
 $Q(J) = H(J)^2 + -.82 * H(J)^1 + 9.103333E-02$
 ОБОЗНАЧЕНИЕ: H(J) – 2-й ФАКТОР
 $U(J) = L(J)^1 + -1.23 ;$
 $V(J) = L(J)^23 + 23 + -3748.927 * L(J)^1 + 4288.255$
 ОБОЗНАЧЕНИЕ: L(J) – 3-й ФАКТОР

Для плана 3^2 (X=9):

Обозначения:

A1; B1; E1 – температура заливки, °C.

A2; B2; E2 – количество термита в % от массы облицовочного слоя.

V1 – суммарный объем

V2 – общий объем поверхностного слоя формы

T1 – температура заливки жидкого металла

T2 – температура плавления металла

Z – толщина слоя.

Данные для программы NW3 для плана 3^2 (X=9):

A1=1320; E1=1335; B1=1350; J1=1; O1=2

A2=5; E2=12,5; B2=20; J2=1; O2=2

N0=4; F8=3; U9=1,8; T0=3,182; F7=8,69

Таблица 2.5

План 3^2 (X=9)

План	Номер опыта	Факторы		Показатель Y(J)
		F(J)	H(J)	
3^2	1	A1=1320	A2=5	Y(1)=27
	2	B1=1350	A2=5	Y(2)=39
	3	A1=1320	B2=20	Y(3)=31
	4	B1=1350	B2=20	Y(4)=63
	5	A1=1320	E2=12,5	Y(5)=30
	6	B1=1350	E2=12,5	Y(6)=51
	7	E1=1335	A2=5	Y(7)=31
	8	E1=1335	B2=20	Y(8)=58
	9	E1=1335	E2=12,5	Y(9)=34

Результаты выполнения программы NW3 для плана 3^2 (X=9):

РЕЗУЛЬТАТЫ ВЫПОЛНЕНИЯ ПРОГРАММЫ NW3, РАЗРАБОТАННОЙ А.А. ЧЕРНЫМ
КОЛИЧЕСТВО ОПЫТОВ ПО ПЛАНУ

X= 9

ВЕЛИЧИНЫ ФАКТОРОВ И ПОКАЗАТЕЛЕЙ СТЕПЕНИ

A1= 1320 E1= 1335 B1= 1350

J1= 1 O1= 2

КОЭФФИЦИЕНТЫ ОРТОГОНАЛИЗАЦИИ

V1=-1335 U1=-2670.713 Q1= 1783027

A2= 5 E2= 12.5 B2= 20

J2= 1 O2= 2

КОЭФФИЦИЕНТЫ ОРТОГОНАЛИЗАЦИИ

V2=-12.5 U2=-25 Q2= 118.75

ВЕЛИЧИНЫ ПОКАЗАТЕЛЕЙ В СООТВЕТСТВИИ С ПЛАНOM Y(J)

Y(1)= 27

Y(2)= 39

Y(3)= 31

Y(4)= 63

Y(5)= 30

Y(6)= 51

Y(7)= 31

Y(8)= 58

Y(9)= 34

B(J) ДО АНАЛИЗА

B(1)= 40.444444

B(2)= .72222222

B(3)=-1.045146E-02

B(4)= 1.2222222

B(5)= 4.4444445E-02

B(6)= .0562963

B(7)= 5.925926E-04

B(8)=-4.244257E-03

B(9)=-8.688062E-04

КОЛИЧЕСТВО ОПЫТОВ НА СРЕДНЕМ УРОВНЕ ФАКТОРОВ

N0= 4

РАСЧЕТНЫЕ ВЕЛИЧИНЫ ПОКАЗАТЕЛЕЙ Z(J) ДО АНАЛИЗА B(J)

Z(1)= 26.76965

Z(2)= 38.66071

Z(3)= 29.64605

Z(4)= 62.8996

Z(5)= 29.7301

Z(6)= 50.25651

Z(7)= 31.56985

Z(8)= 59.45186

Z(9)= 35.01433

F8=N0-1= 3

ПРОВЕРКА ПО РАЗНОСТИ Y(J)-Z(J)

В ПРОЦЕНТАХ (Y(J)-Z(J)) * (100/Y(J))

Y(1)-Z(1)= .2303505

(Y(1)-Z(1)) * (100 / Y(1)) = .85315

Y(2)-Z(2)= .3392906

(Y(2)-Z(2)) * (100 / Y(2)) = .8699759

Y(3)-Z(3)= 1.353954

(Y(3)-Z(3)) * (100 / Y(3)) = 4.367595

Y(4)-Z(4)= .100399

(Y(4)-Z(4)) * (100 / Y(4)) = .1593635

Y(5)-Z(5)= .2699032

(Y(5)-Z(5)) * (100 / Y(5)) = .8996773

Y(6)-Z(6)= .7434921

(Y(6)-Z(6)) * (100 / Y(6)) = 1.457828

Y(7)-Z(7)=-.5698528

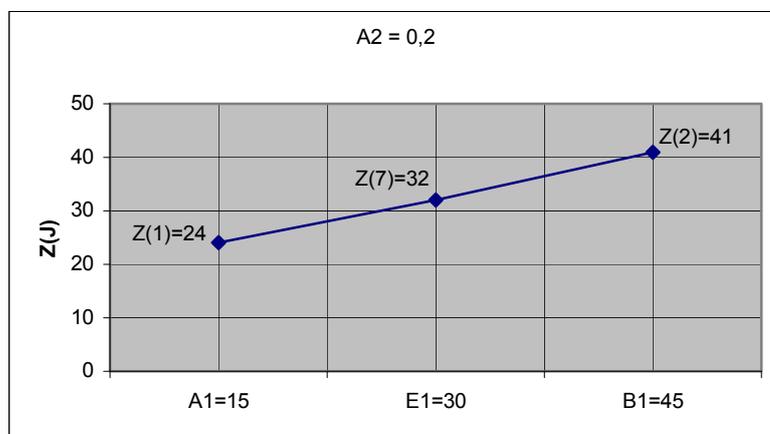
(Y(7)-Z(7)) * (100 / Y(7)) = -1.838235

$Y(8) - Z(8) = -1.451862$
 $(Y(8) - Z(8)) * (100 / Y(8)) = -2.503211$
 $Y(9) - Z(9) = -1.014328$
 $(Y(9) - Z(9)) * (100 / Y(9)) = -2.983318$
 ДИСПЕРСИЯ ОПЫТОВ $U9 = 1.8$
 РАСЧЕТНЫЕ ВЕЛИЧИНЫ $T(J)$
 $T(1) = 90.43652$
 $T(2) = 19.77887$
 $T(3) = 2.487177$
 $T(4) = 16.73597$
 $T(5) = 7.45356$
 $T(6) = 3.33796$
 $T(7) = .4303315$
 $T(8) = 6.185105$
 $T(9) = 5.482377$
 ТАБЛИЧНЫЙ Т-КРИТЕРИЙ $T0 = 3.182$
 В(J) ПОСЛЕ АНАЛИЗА
 $V(1) = 40.444444$
 $V(2) = .7222222$
 $V(3) = 0$
 $V(4) = 1.222222$
 $V(5) = 4.444445E-02$
 $V(6) = .0562963$
 $V(7) = 0$
 $V(8) = -4.244257E-03$
 $V(9) = -8.688062E-04$
 КОЛИЧЕСТВО СТАТИСТИЧЕСКИ ЗНАЧИМЫХ
 КОЭФФИЦИЕНТОВ РЕГРЕССИИ $K9 = 7$
 $F9 = X - 1$
 $F9 = 8$
 ТАБЛИЧНЫЙ F-КРИТЕРИЙ $F7 = 8.69$
 РАСЧЕТНЫЕ ВЕЛИЧИНЫ ПОКАЗАТЕЛЯ $Z(J)$ ПОСЛЕ АНАЛИЗА $V(J)$
 $Z(1) = 27.83216$
 $Z(2) = 39.16621$
 $Z(3) = 30.70856$
 $Z(4) = 63.4051$
 $Z(5) = 30.29261$
 $Z(6) = 51.26201$
 $Z(7) = 30.00228$
 $Z(8) = 57.88429$
 $Z(9) = 33.44676$
 ПРОВЕРКА ПО РАЗНОСТИ $Y(J) - Z(J)$
 В ПРОЦЕНТАХ $(Y(J) - Z(J)) * (100 / Y(J))$
 $Y(1) - Z(1) = -.8321629$
 $(Y(1) - Z(1)) * (100 / Y(1)) = -3.082085$
 $Y(2) - Z(2) = -.166214$
 $(Y(2) - Z(2)) * (100 / Y(2)) = -.4261897$
 $Y(3) - Z(3) = .2914429$
 $(Y(3) - Z(3)) * (100 / Y(3)) = .9401383$
 $Y(4) - Z(4) = -.4051018$
 $(Y(4) - Z(4)) * (100 / Y(4)) = -.6430187$
 $Y(5) - Z(5) = -.2926064$
 $(Y(5) - Z(5)) * (100 / Y(5)) = -.9753545$
 $Y(6) - Z(6) = -.2620125$
 $(Y(6) - Z(6)) * (100 / Y(6)) = -.51375$
 $Y(7) - Z(7) = .9977188$
 $(Y(7) - Z(7)) * (100 / Y(7)) = 3.218448$
 $Y(8) - Z(8) = .1157074$
 $(Y(8) - Z(8)) * (100 / Y(8)) = .1994955$
 $Y(9) - Z(9) = .5532417$
 $(Y(9) - Z(9)) * (100 / Y(9)) = 1.627182$
 РАСЧЕТНАЯ ВЕЛИЧИНА F-КРИТЕРИЯ $F6 = .1693295$
 АДЕКВАТНО, ТАК КАК $F6 < F7$
 СИСТЕМНОЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЕ
 ДЛЯ АНАЛИЗОВ РЕЗУЛЬТАТОВ РАСЧЕТОВ

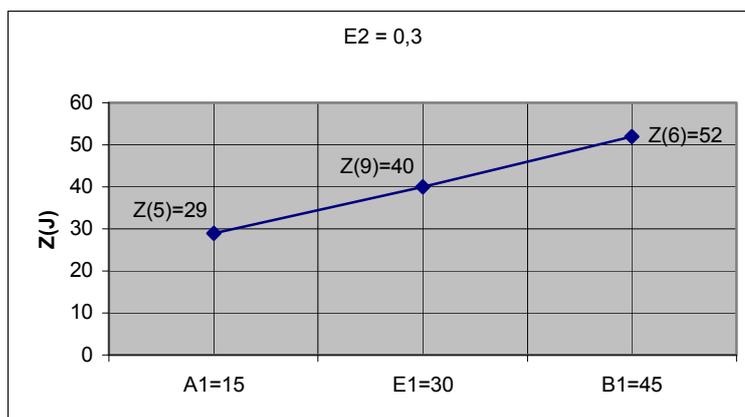
ПО МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ
 ОТНОСИТЕЛЬНАЯ ВЕЛИЧИНА ПОКАЗАТЕЛЯ
 $Z1(J) = Z(J) / (S/X)$, ГДЕ S-СУММА
 АБСОЛЮТНЫХ ВЕЛИЧИН ПОКАЗАТЕЛЕЙ, S= 364
 S/X-СРЕДНЯЯ АРИФМЕТИЧЕСКАЯ ВЕЛИЧИНА, S/X= 40.44444
 1.1.A2= 5 A1= 1320 Z(1)= 27.83216 Z1(1)= .6881579
 1.2.A2= 5 E1= 1335 Z(7)= 30.00228 Z1(7)= .7418147
 1.3.A2= 5 B1= 1350 Z(2)= 39.16621 Z1(2)= .9683955
 2.1.E2= 12.5 A1= 1320 Z(5)= 30.29261 Z1(5)= .7489931
 2.2.E2= 12.5 E1= 1335 Z(9)= 33.44676 Z1(9)= .8269804
 2.3.E2= 12.5 B1= 1350 Z(6)= 51.26201 Z1(6)= 1.267467
 3.1.B2= 20 A1= 1320 Z(3)= 30.70856 Z1(3)= .7592776
 3.2.B2= 20 E1= 1335 Z(8)= 57.88429 Z1(8)= 1.431205
 3.3.B2= 20 B1= 1350 Z(4)= 63.4051 Z1(4)= 1.567709
 4.1.A1= 1320 A2= 5 Z(1)= 27.83216 Z1(1)= .6881579
 4.2.A1= 1320 E2= 12.5 Z(5)= 30.29261 Z1(5)= .7489931
 4.3.A1= 1320 B2= 20 Z(3)= 30.70856 Z1(3)= .7592776
 5.1.E1= 1335 A2= 5 Z(7)= 30.00228 Z1(7)= .7418147
 5.2.E1= 1335 E2= 12.5 Z(9)= 33.44676 Z1(9)= .8269804
 5.3.E1= 1335 B2= 20 Z(8)= 57.88429 Z1(8)= 1.431205
 6.1.B1= 1350 A2= 5 Z(2)= 39.16621 Z1(2)= .9683955
 6.2.B1= 1350 E2= 12.5 Z(6)= 51.26201 Z1(6)= 1.267467
 6.3.B1= 1350 B2= 20 Z(4)= 63.4051 Z1(4)= 1.567709
 МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ
 $Z(J) = 40.44444 + .7222222 * I(J) + 0 * K(J) +$
 $+ 1.222222 * P(J) + 4.444445E-02 * I(J) * P(J) +$
 $+ .0562963 * Q(J) + 0 * I(J) * Q(J) +$
 $+ -4.244257E-03 * P(J) * K(J) + -8.688062E-04 * K(J) * Q(J),$
 ГДЕ
 $I(J) = F(J) ^ 1 +-1335 ;$
 $K(J) = F(J) ^ 2 +-2670.713 * F(J) ^ 1 + 1783027$
 ОБОЗНАЧЕНИЕ: F(J) - 1-й ФАКТОР
 $P(J) = H(J) ^ 1 +-12.5 ;$
 $Q(J) = H(J) ^ 2 +-25 * H(J) ^ 1 + 118.75$
 ОБОЗНАЧЕНИЕ: H(J) - 2-й ФАКТОР

2.6.3 Анализ полученных результатов математического моделирования

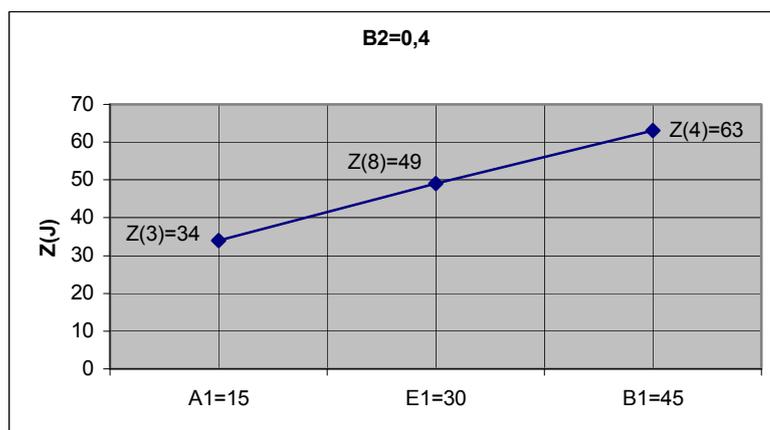
Для плана 3^2 ($X=9$):



а)

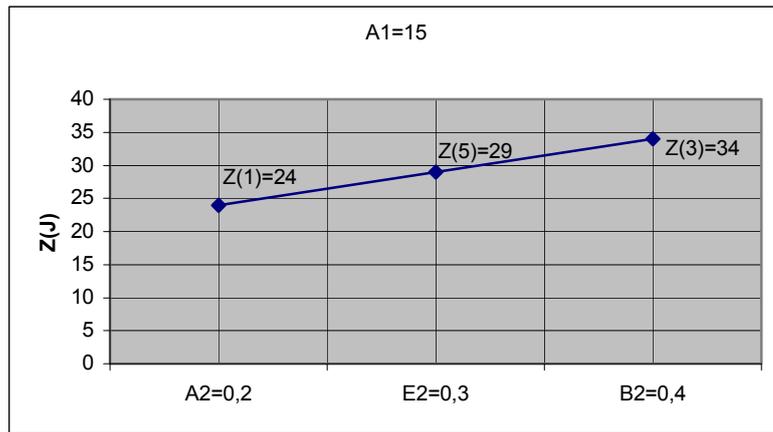


б)

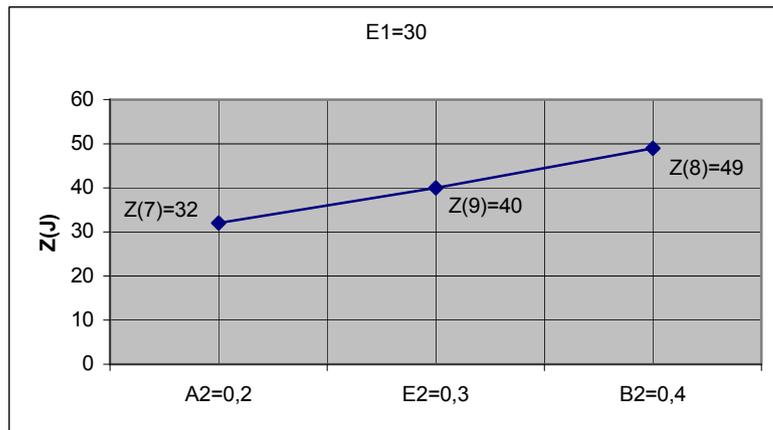


в)

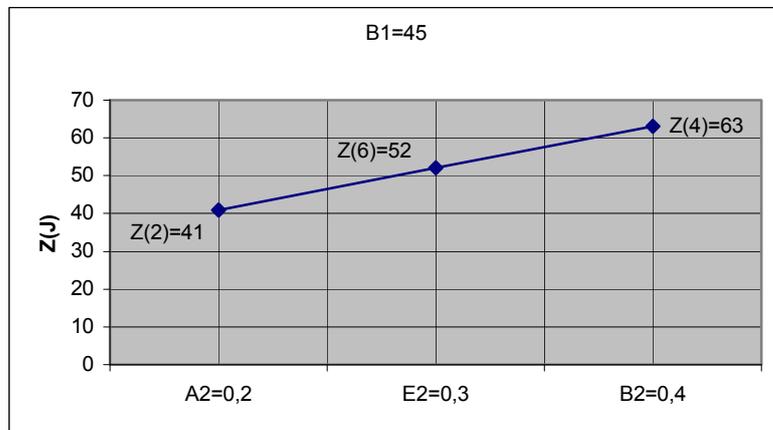
Рисунок 2.6 – Графики зависимости содержания глины и алюминиевой стружки на величину пригара



а)



б)

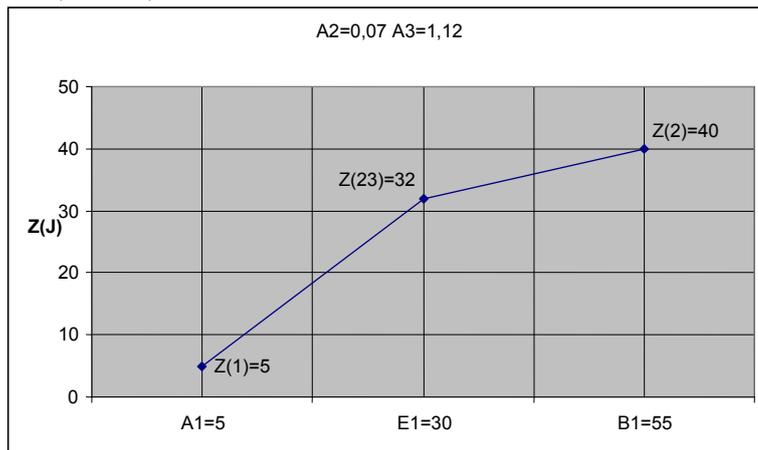


в)

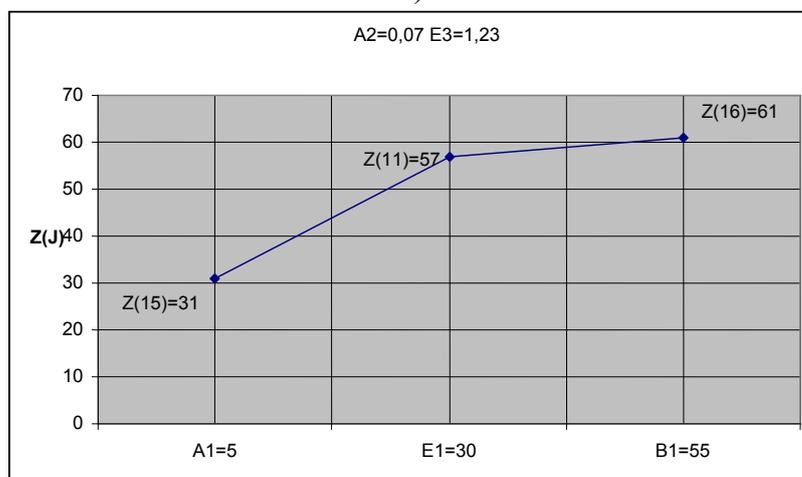
Рисунок 2.7 – Графики зависимости содержания глины и алюминиевой стружки на величину пригара

Согласно полученным результатам с увеличением фактора содержания глины увеличивается толщина пригара.

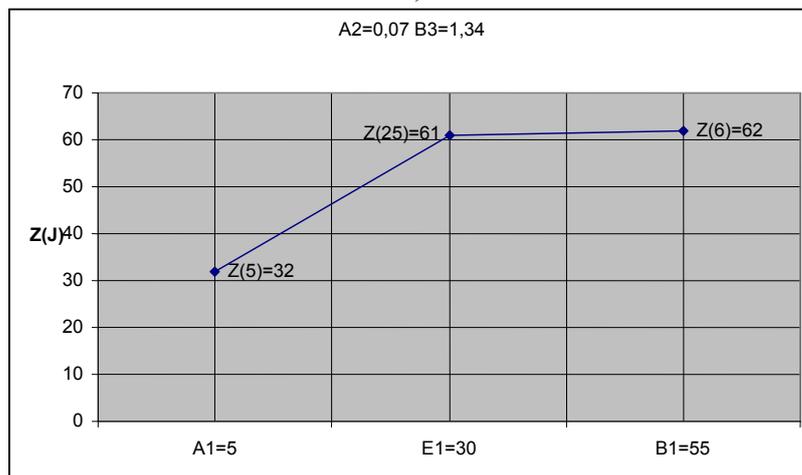
Для плана 3^3 ($X=27$):



а)

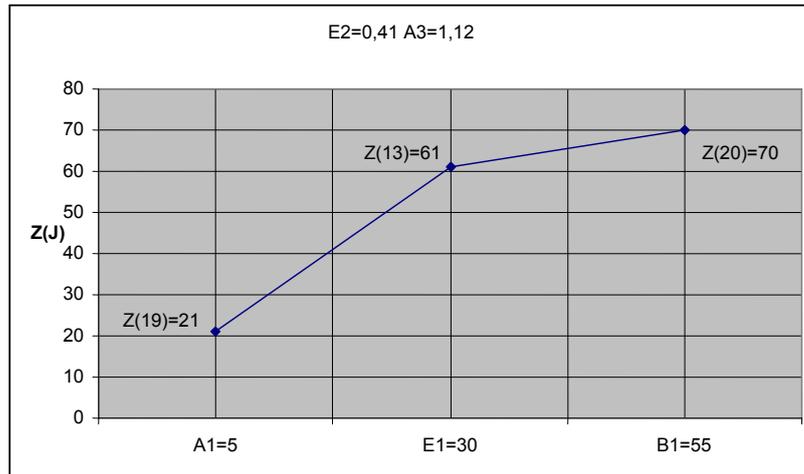


б)

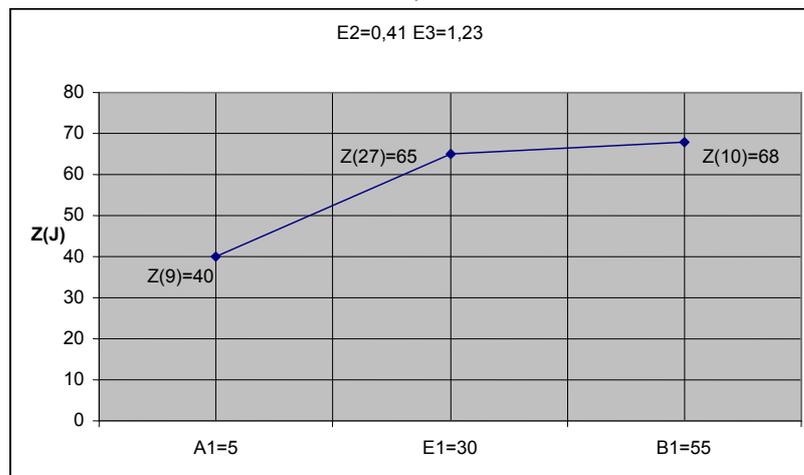


в)

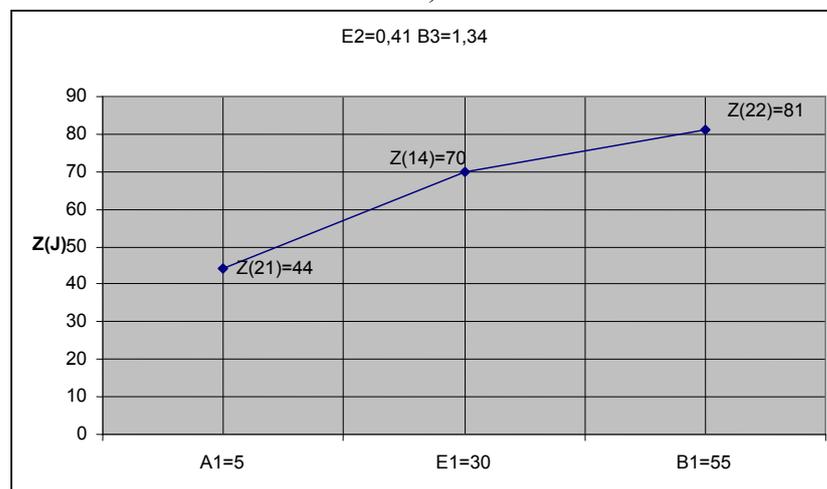
Рисунок 2.8 - Графики зависимости содержания глины от массы облицовочного слоя на величину пригара



a)

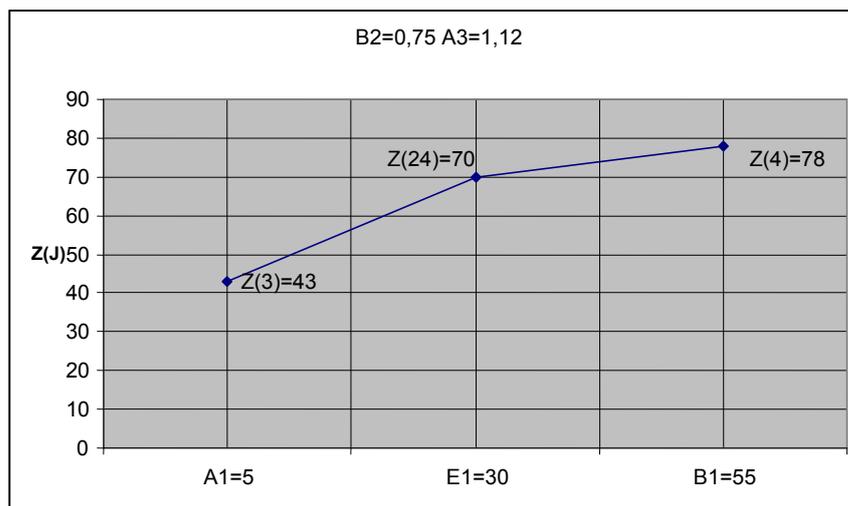


б)

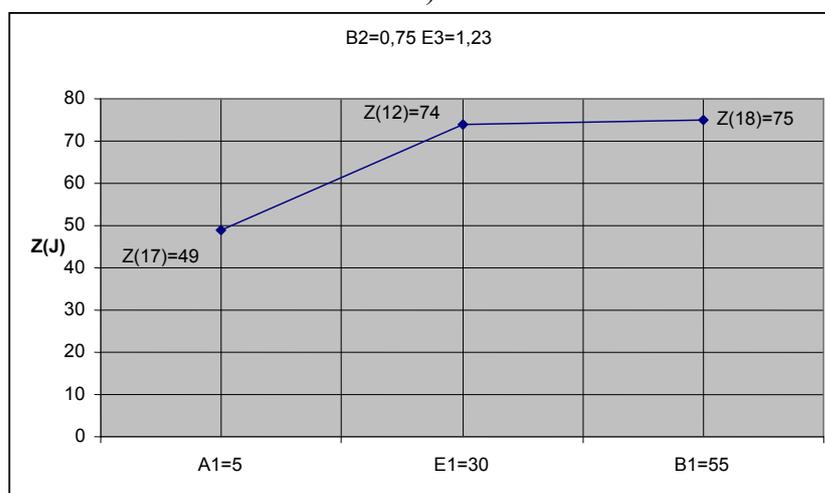


в)

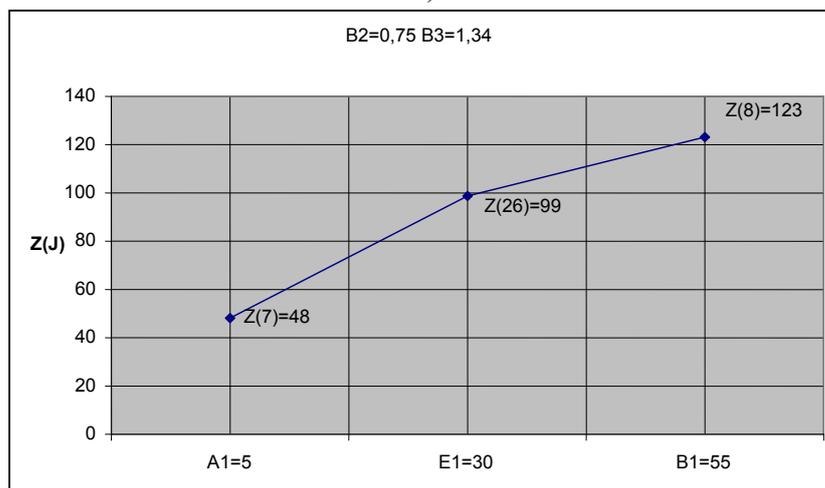
Рисунок 2.9 - Графики зависимости содержания глины от массы облицовочного слоя на величину пригара



a)

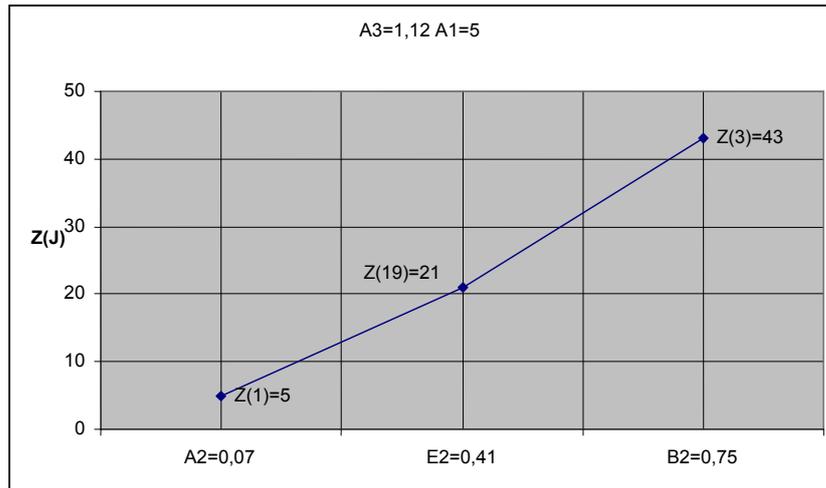


б)

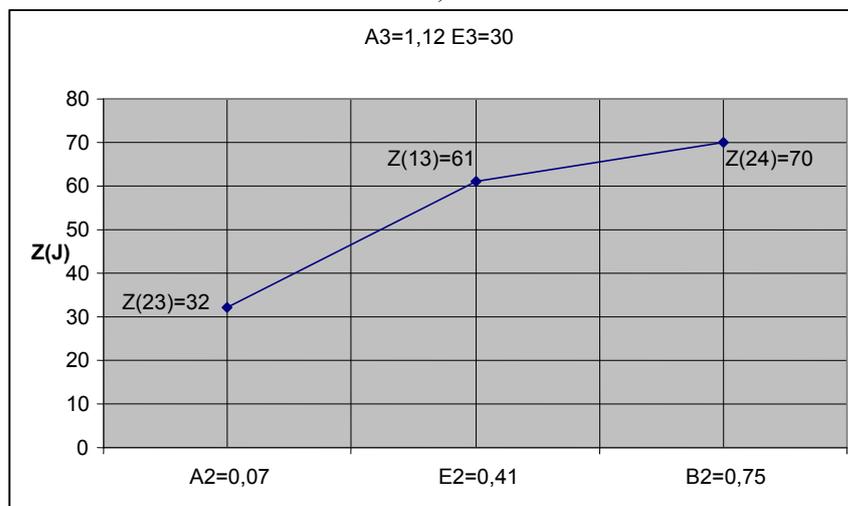


в)

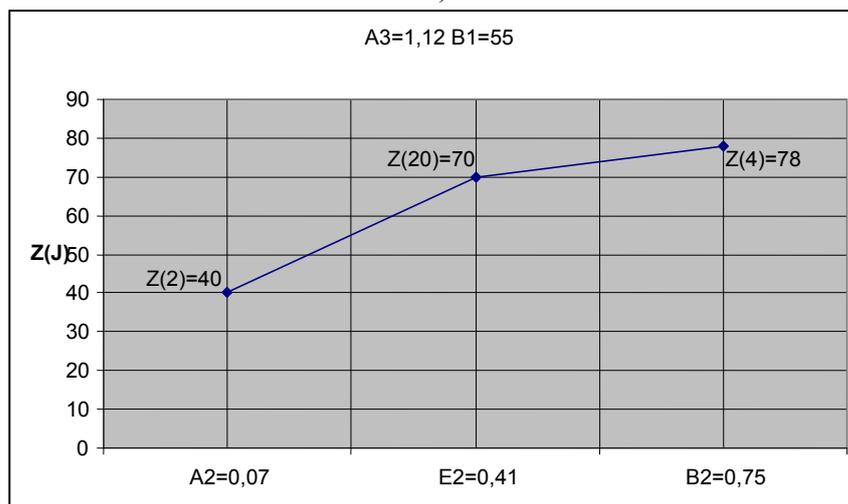
Рисунок 2.10 - Графики зависимости содержания глины от массы облицовочного слоя на величину пригара



а)

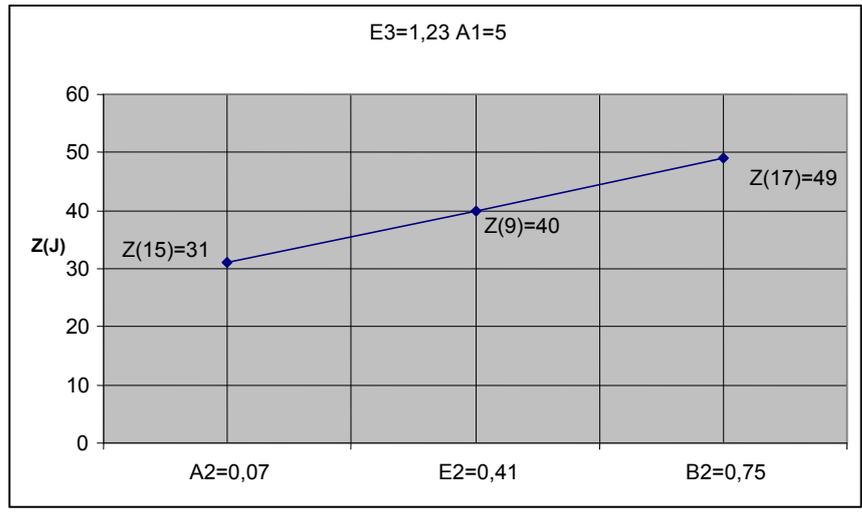


б)

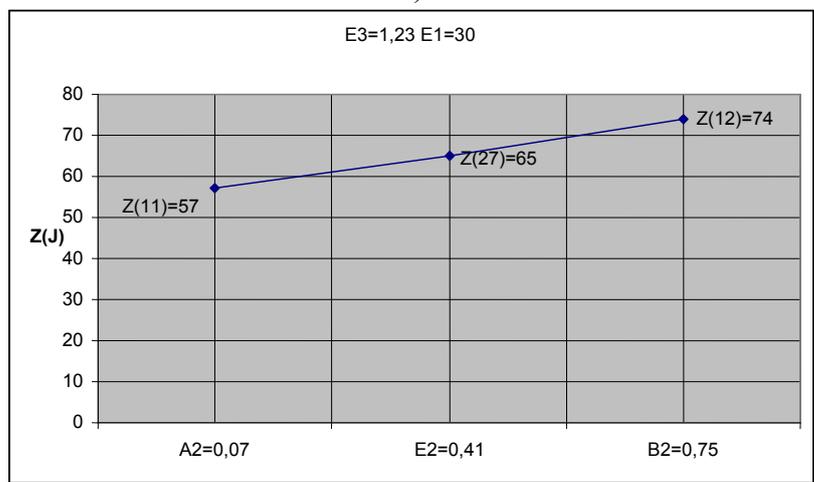


в)

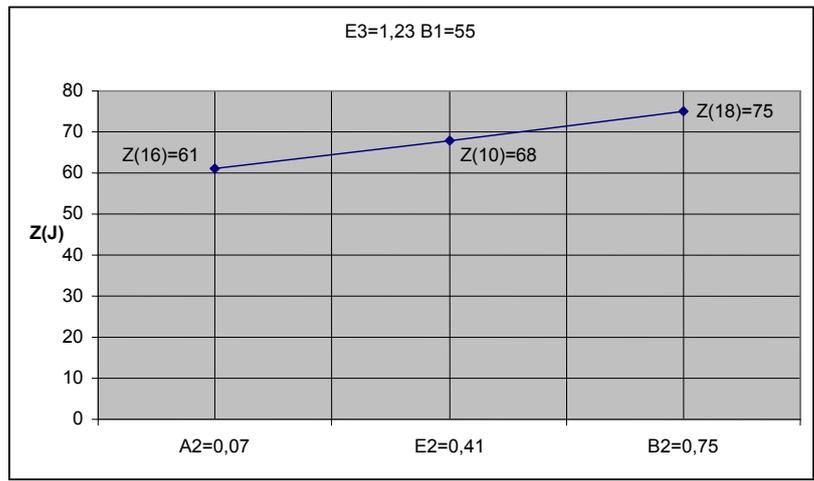
Рисунок 2.11 - Графики зависимости содержания глины от массы облицовочного слоя на величину пригара



а)

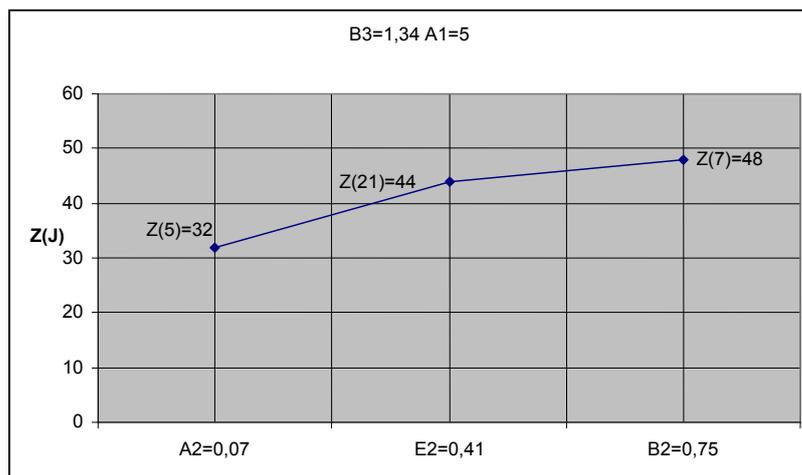


б)

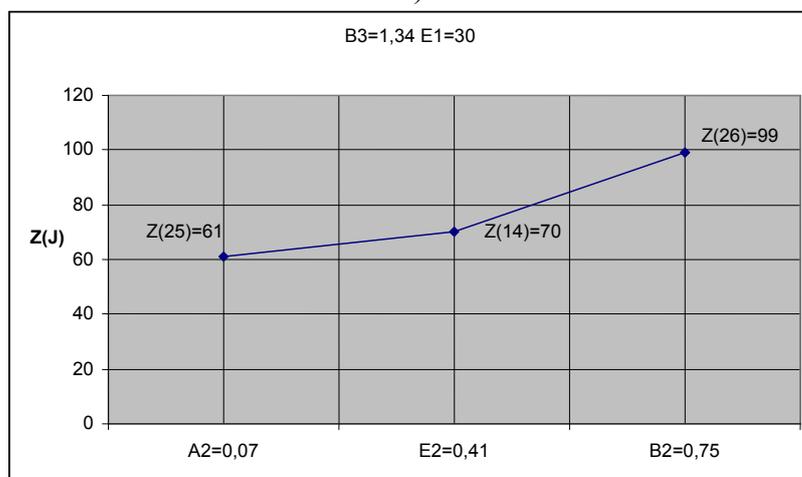


в)

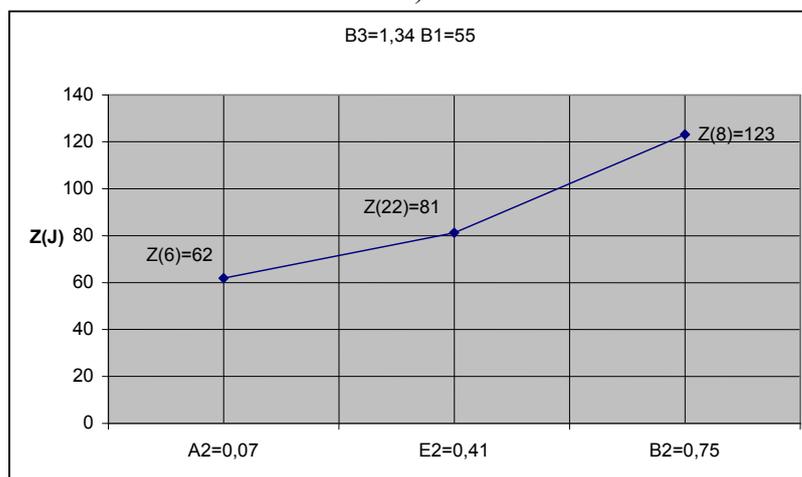
Рисунок 2.12 - Графики зависимости содержания глины от массы облицовочного слоя на величину пригара



a)

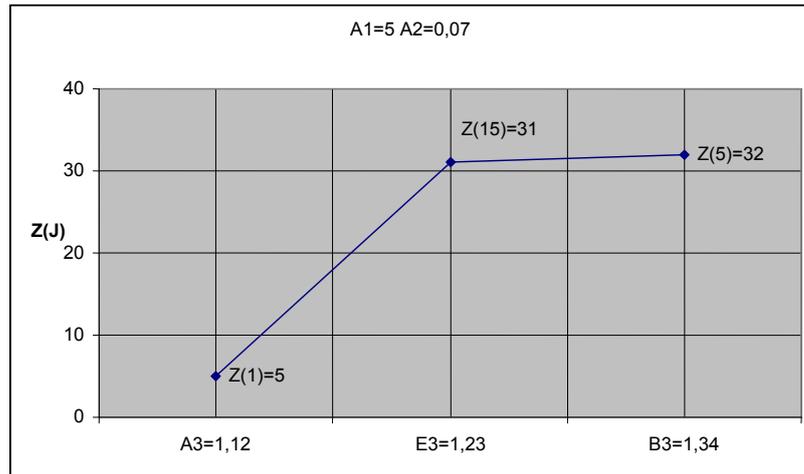


б)

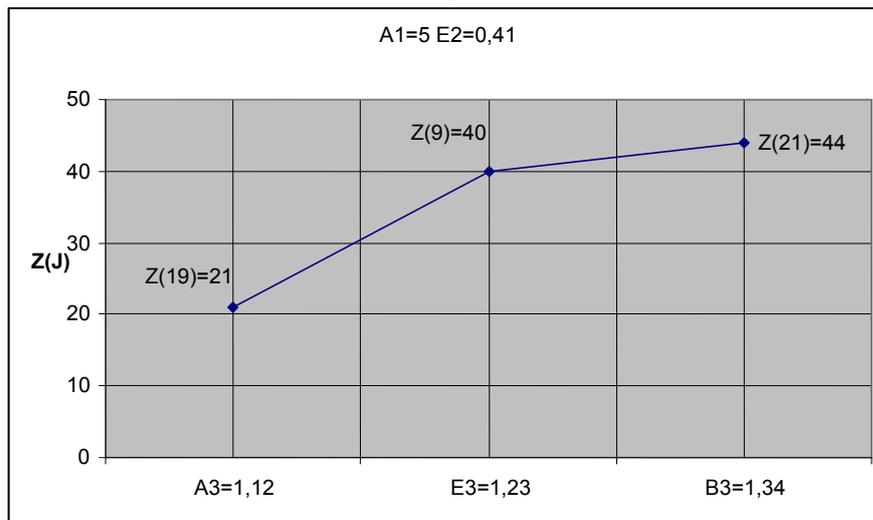


в)

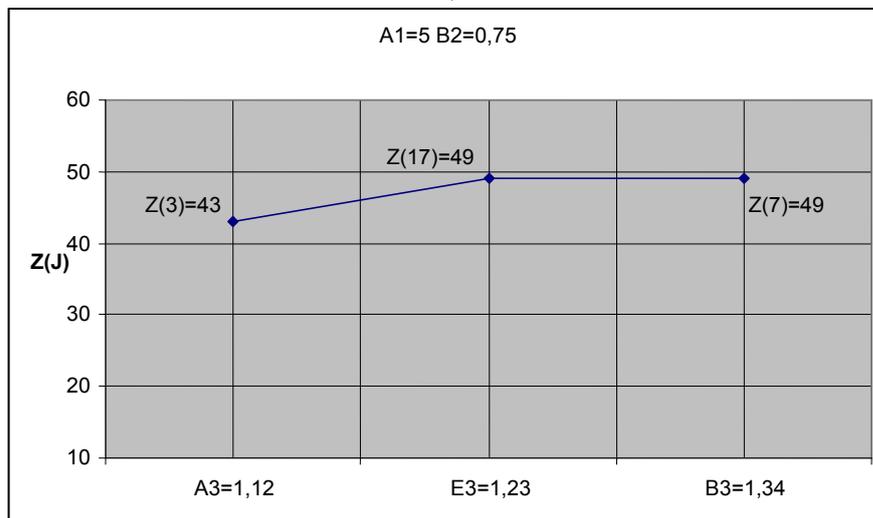
Рисунок 2.13 - Графики зависимости содержания глины от массы облицовочного слоя на величину пригара



a)

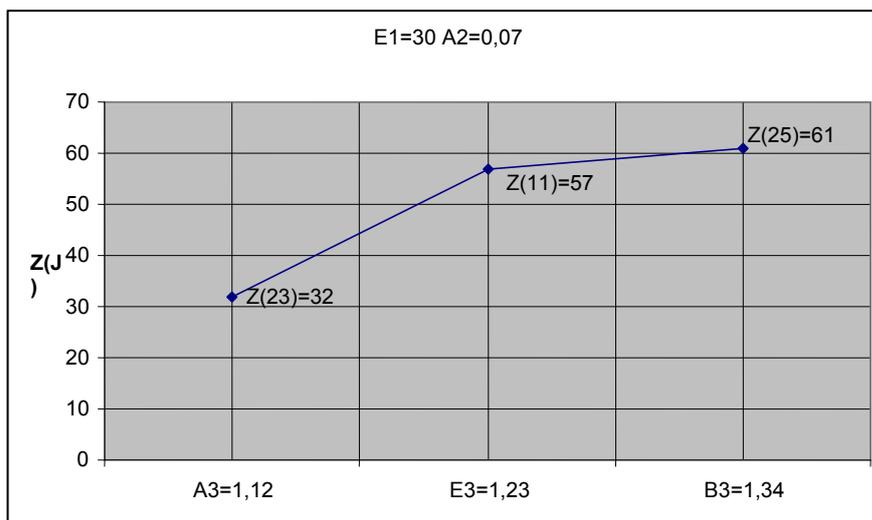


б)

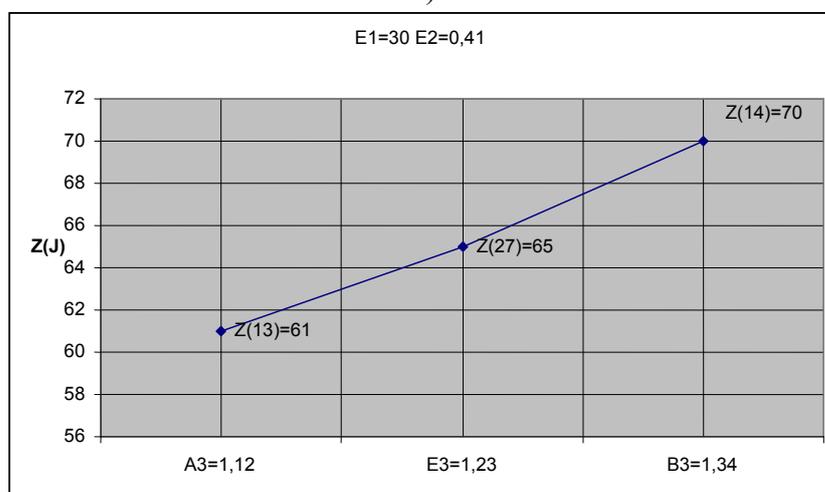


в)

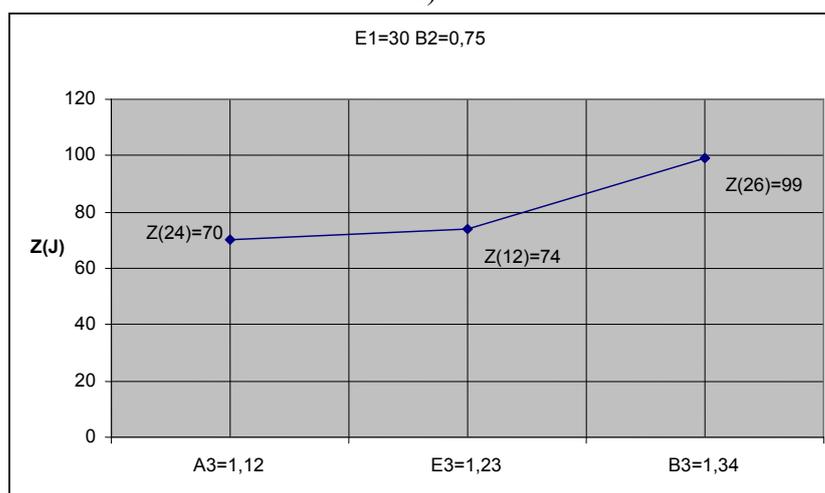
Рисунок 2.14 - Графики зависимости содержания глины от массы облицовочного слоя на величину пригара



a)

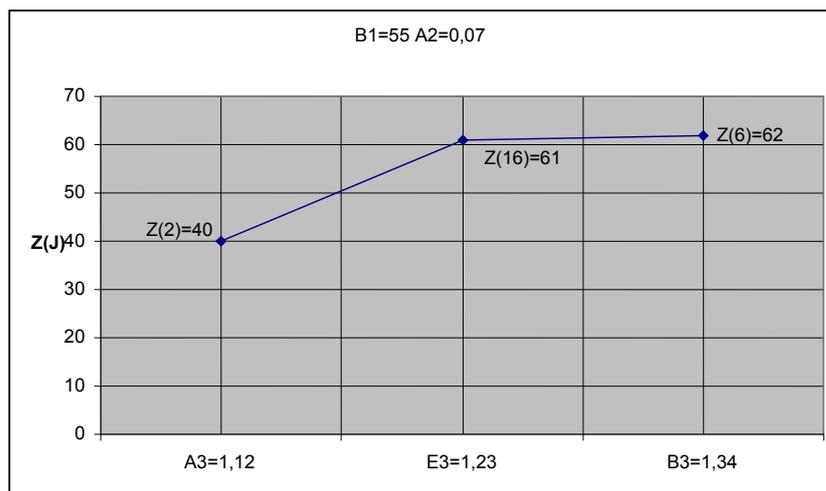


б)

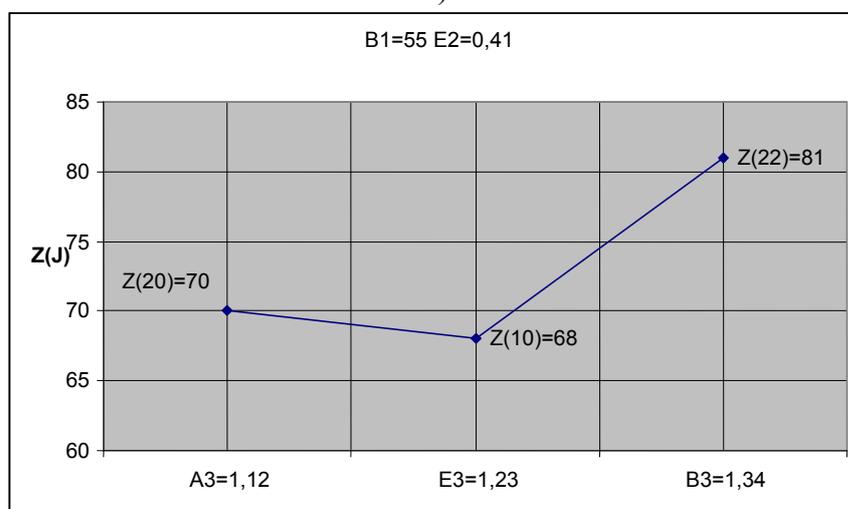


в)

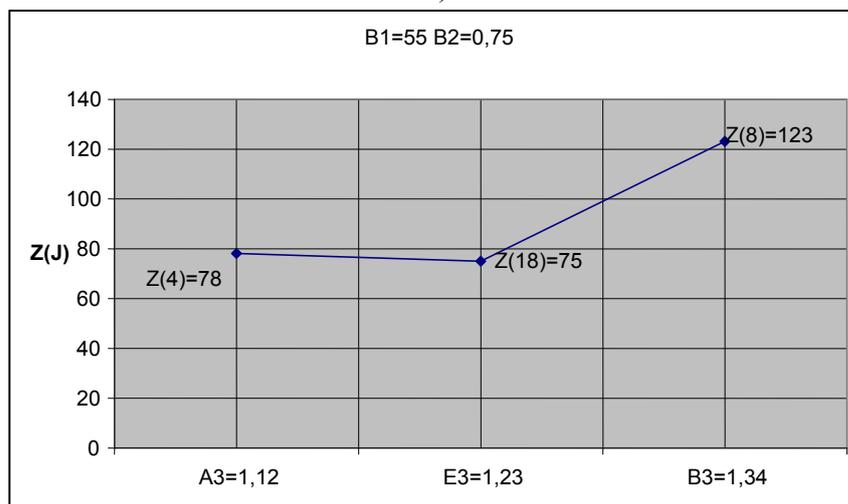
Рисунок 2.15 - Графики зависимости содержания глины от массы облицовочного слоя на величину пригара



a)



б)

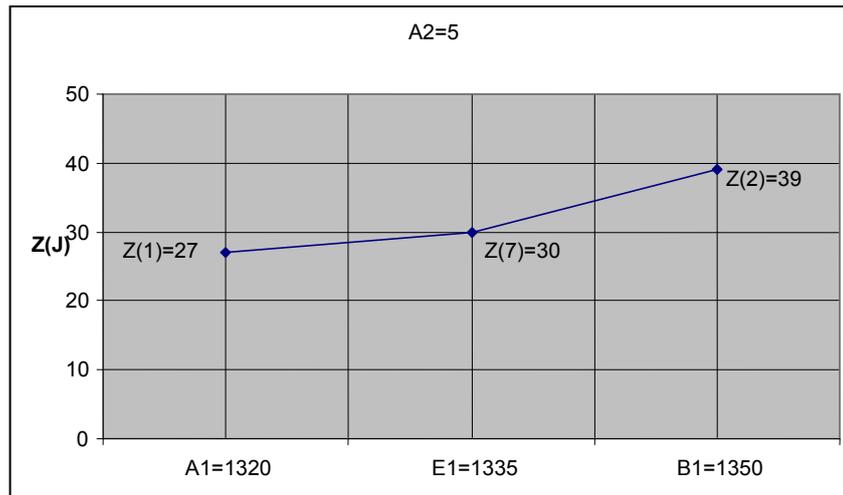


в)

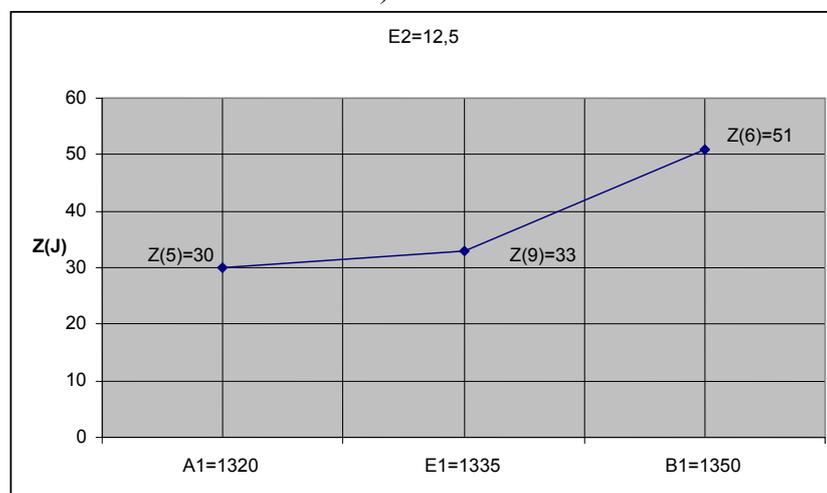
Рисунок 2.16 - Графики зависимости содержания глины от массы облицовочного слоя на величину пригара

Согласно полученным результатам с увеличением содержания глины в % от массы облицовочного слоя увеличивается толщина пригара.

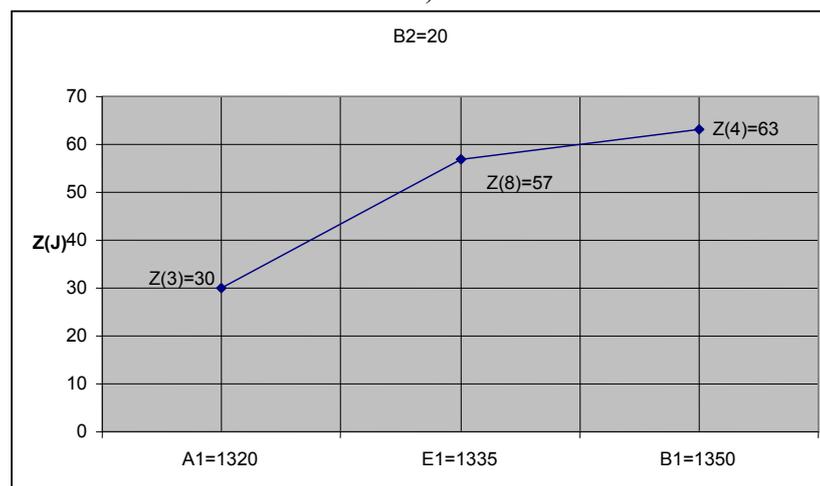
Для плана 3^2 ($X=9$):



а)

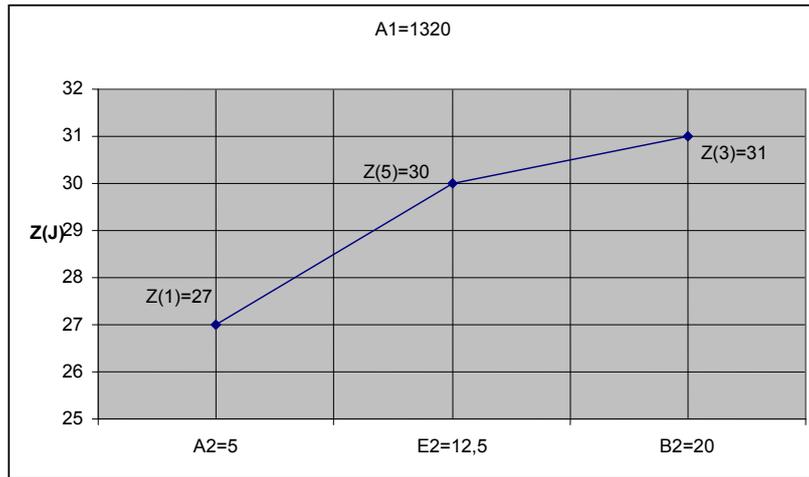


б)

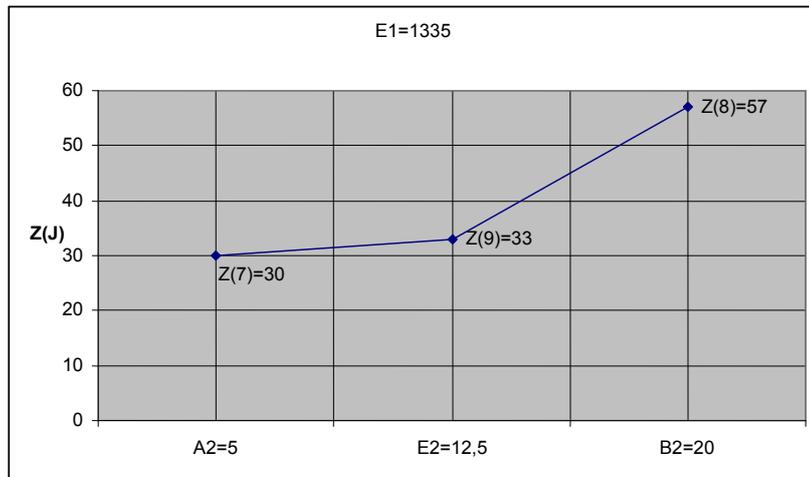


в)

Рисунок 2.17 - Графики зависимости температуры заливки, количества термита и содержания глины на величину пригара



а)



б)

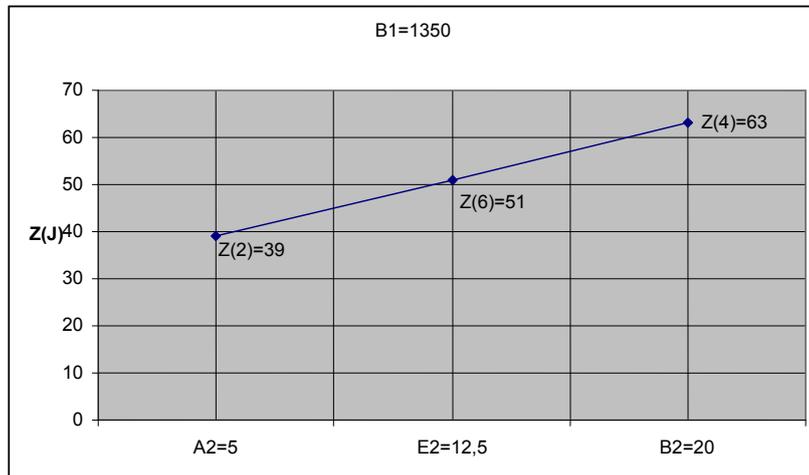


Рисунок 2.18 - Графики зависимости температуры заливки, количества термита и содержания глины на величину пригара

Согласно полученным результатам с увеличением факторов (температуры заливки и количества термита) увеличивается толщина пригара.

2.7 Совершенствование способа получения отливок из композиционных материалов

На основании исследований предлагается:

- способ получения отливки, включающий выполнение поверхностного слоя формы из смеси зернистого материала, температура плавления которого выше температуры плавления заливаемого материала, и материала, температура плавления которого ниже температуры плавления заливаемого материала, отличающийся от известного тем, что в поверхностном слое формы с толщиной требуемого пригара на отливке создают каналы, суммарный объем которых равен 0,07-0,75 общего объема поверхностного слоя формы, а после создания каналов в форму заливают жидкий материал при его температуре 1,12-1,34 температуры плавления этого материала и образуют после затвердевания в форме залитого материала на поверхности отливки слой пригоревшего неметаллического материала в виде композита разнородных материалов;

- способ получения отливки отличается и тем, что в поверхностном слое формы создают каналы путем наколов со стороны внутренней части формы, прокалывая поверхностный слой формы на глубину требуемого пригара на отливке;

- способ получения отливки отличается и тем, что в поверхностном слое формы создают каналы путем ввода в облицовочную смесь органических материалов, которые до заливки жидкого материала в форму выжигают;

- способ получения отливки отличается и тем, что в поверхностном слое формы создают каналы путем ввода в облицовочную смесь раздробленных пористых материалов;

- способ получения отливки отличается и тем, что в поверхностном слое формы создают каналы путем ввода в облицовочную смесь стружки легкоплавкого материала;

- способ получения отливки отличается и тем, что в поверхностном слое формы создают каналы путем прокладки в формовочном материале сетки из горючих нитей;

- способ получения отливки отличается и тем, что в поверхностном слое формы создают каналы путем прокладки в формовочном материале легкоплавкой проволоки;

- способ получения отливки отличается и тем, что в поверхностном слое формы создают каналы путем ввода в формовочную смесь термита, содержащего частицы железной окалины и алюминия;

- способ получения отливки отличается и тем, что в поверхностном слое формы создают каналы путем выполнения глубоких борозд в формовочном материале после извлечения модели из формы.

Согласно предлагаемому изобретению осуществляют нанесение на поверхность модели или на поверхность постоянной формы, например, металлической формы, слой зернистого материала высокой огнеупорности, например, раздробленных высокоглиноземистых огнеупоров, кварцита, циркония, рутила, хромомagnesита, хромита, муллита, шамота, в смеси с материалом низкой огнеупорности, например, легкоплавкими глинами, криолитом, солями, стеклами, легкоплавкими металлами и сплавами в виде порошков. В эти материалы добавляют крепители, которые должны быть легкоплавкими. Материалы поверхностного слоя формы могут быть крупнозернистыми и мелкозернистыми, неметаллическими и металлическими. Зернистость материалов может быть неодинаковой, если это требуется по условиям использования отливок. Толщина слоя, величина, форма зерен и состав могут быть одинаковыми и неодинаковыми в разных местах формы в зависимости от предъявляемых требований. Заливаемый в форму материал может быть металлом и неметаллом, чугуном, сталью, медными, алюминиевыми, титановыми сплавами, расплавленными керамическими материалами и шлаком, а также материалом, который применяется для производства каменного литья. При заливке в форму жидкий материал своим теплом выплавляет менее тугоплавкий материал между более тугоплавкими зернами поверхностного слоя, проникает в образующиеся зазоры между тугоплавкими зернами, затвердевает и прочно связывает эти зерна. На поверхности отливки образуется слой разнородных композиционных материалов. При этом

основная часть отливки может иметь высокую механическую и строительную прочность, а поверхностный слой отливки будет защищать металл от воздействия высоких температур и агрессивных сред, будет износостойким.

Для получения пригара на поверхности отливки толщиной больше 20 мм в поверхностном слое формы в зависимости от требуемого пригара создают каналы, суммарный объем которых равен 0,07-0,75 общего объема поверхностного слоя формы. Каналы создают путем наколов со стороны внутренней части формы, прокалывая поверхностный слой формы на глубину требуемого пригара на отливке. В поверхностном слое формы создают каналы и путем ввода в облицовочную смесь органических материалов (мелко нарезанной бумаги, древесной стружки, изрезанных нитей, волоса, соломы, сухой травы, отходов текстиля), которые до заливки жидкого материала в форму выжигают. В поверхностном слое формы создают каналы и путем ввода в облицовочную смесь раздробленных пористых материалов (раздробленных отходов пористых легковесных, теплоизоляционных изделий, например, шамота-легковеса, диатомита, керамзита, вулканического или металлургического пористого шлака, ячеистого бетона, пеностекла, газобетона, пенокерамики, пористой глины), которые разрушаются при нагреве и проникновении в них жидкотекучего горячего заливаемого материала. В поверхностном слое формы создают каналы и путем ввода в облицовочную смесь стружки легкоплавкого материала (пластмассы, алюминиевых, магниевых сплавов). В поверхностном слое формы создают каналы и путем прокладки в формовочном материале сетки из горючих нитей, например, отходов рыболовных сетей. При нагреве и окислении нити разрушаются, образуется сеть каналов, заполняемых жидким материалом. В поверхностном слое формы создают каналы и путем прокладки в формовочном материале легкоплавкой проволоки, которая расплавляется при заливке жидкого материала в форму, а в образующиеся каналы проникает залитый жидкий расплав. Легкоплавкую проволоку можно выплавлять и до заливки жидкого материала в форму, нагревая поверхность формы пламенем газовой горелки. В поверхностном слое формы создают каналы и путем ввода в формовочную смесь термита, со-

держашего частицы железной окалины и алюминия. В этом случае при заливке жидкого материала в форму происходит химическая реакция с выделением большого количества теплоты, поверхностный слой формы разогревается, восстанавливается железо и образуется оксид алюминия, в каналы проникает жидкий расплав. Достигается получение толстого, прочного, износостойкого слоя пригара на поверхности отливки. Чтобы слой пригара прочно соединялся с поверхностью отливки в поверхностном слое формы создают каналы путем выполнения борозд глубиной 1-7 мм в формовочном материале после извлечения модели из формы. Борозды рационально выполнять пересекающимися и неодинаковой глубины.

В поверхностном слое формы с толщиной требуемого пригара на отливке создают каналы, суммарный объем V_1 которых равен 0,07-0,75 общего объема V_2 поверхностного слоя формы. При $V_1/V_2 < 0,07$ эффект от выполнения каналов такой же, как если бы этих каналов и не было. При $V_1/V_2 > 0,75$ нарушается сплошность и прочность пригара.

С уменьшением V_1/V_2 в указанных рациональных пределах до $V_1/V_2 = 0,07$ достигаются высокие показатели прочности, износостойкости пригара. С увеличением V_1/V_2 до $V_1/V_2 = 0,75$ увеличиваются толщина пригара, повышаются его теплоизоляционные свойства, причем в большей степени, когда для выполнения каналов используются пористые материалы или термит.

После создания каналов в форму заливают жидкий материал при его температуре T_1 равной 1,12-1,34 температуры плавления этого материала T_2 .

При $T_1/T_2 < 1,12$ не достигается необходимая жидкотекучесть для заполнения каналов, заливаемых материалом. При $T_1/T_2 > 1,34$ могут образовываться трещины в перегретом слое пригара, отслоения пригара от отливки. С увеличением $T_1/T_2 > 1,12$ и до достижения $T_1/T_2 = 1,34$ увеличивается толщина пригара с 25 мм до 125 мм. Изменяя величины V_1/V_2 и T_1/T_2 в указанных рациональных пределах, можно получать требуемую толщину пригара из тех материалов, которые позволяют достигать требуемые показатели теплопроводности, износо-

стойкости, теплоизоляционных свойств, химической стойкости, воздействия высоких температур и давлений.

Содержание легкоплавких материалов (глины без добавки криолита или с его добавкой) в поверхностном слое формы может быть от 5 до 55 % от массы поверхностного слоя формы. Зернистость тугоплавких компонентов в поверхностном слое формы рациональна от 0,5 до 5 мм.

Технологичность осуществления предлагаемого способа, применительно к изготовлению отливок для дверей камерных термических печей

Поверхностные слои форм выполнить из облицовочных смесей толщиной 25, 50, 75, 100, 125 мм. Облицовочные смеси должны содержать раздробленный высокоглиноземистый огнеупор с размерами зерен 0,5-5 мм и бентонитовую глину в количестве 5, 30, 55 % от массы смеси с добавкой и без добавки криолита. На поверхности формы в формовочном материале надо создать борозды глубиной 3-7 мм, а затем сделать наколы, прокалывая облицовочный слой на расстоянии 7-15 мм так, чтобы получились глубокие каналы диаметром 1,5-5 мм. Для получения толстого слоя пригара (75, 100, 125 мм) в облицовочную смесь добавить термит (5-20 % от массы смеси), а для случаев, когда толщина пригара требуется 25, 50, 75 мм, в облицовочную смесь добавить алюминиевую стружку (3-15 % от массы смеси) и крошку пористого материала (шамота-легковеса 3-15 % от массы смеси). Суммарный объем каналов должен быть равен $V_1=(0,07-0,075) \cdot V_2$ общего объема поверхностного слоя формы. После создания каналов форму залить жидкий чугун при его температуре $T_1=(1,12-1,34) \cdot T_2$ температуры плавления этого материала ($1157 \cdot 1,12=1296^\circ\text{C}$). После затвердевания в форме залитого чугуна на поверхности отливки образуются слои пригоревшего неметаллического материала в виде композита разнородных материалов.

Процесс протекает следующим образом: жидкий чугун проникает в каналы поверхностного слоя, выплавляет легкоплавкую глину и криолит, которые проходят через жидкий металл, всплывают и удаляются из формы через выпоры. Затвердевший в каналах и между тугоплавкими зернами металл прочно свя-

зывает тугоплавкие частицы и образует «шубу», то есть шершавый огнеупорный поверхностный слой композиционных материалов. По этому способу были получены жаростойкие отливки простым, дешевым, эффективным способом, вместо ранее применявшихся дорогих и недолговечных отливок из легированных хромом чугунов, которые необходимо было со стороны печного пространства обкладывать огнеупорным кирпичом, что повышало трудоемкость такой защиты и требовало использования дорогого шамотного или высокоглиноземистого кирпича. Толщину пригара благодаря выполнению каналов можно получать заданной, исходя из требований необходимых теплоизоляционных свойств композиционного материала и уменьшения потери теплоты из печного пространства.

Экспериментально установлено, что предлагаемый способ, в отличие от известного, позволяет получать на поверхности металлической отливки прочный слой пригоревших неметаллических материалов толщиной S больше 20 мм (от 25 до 125 мм) требуемого состава, причем толщину слоя S в указанных пределах можно получать требуемой, изменяя в указанных выше пределах V_1/V_2 и T_1/T_2 и изменяя содержание легкоплавкой составляющей в облицовочном слое формы от 3 до 55 %. В облицовочный слой рационально добавлять частицы с размерами 1-5 мм керамзита, пористой глины, пористого полистирола, пористого огнеупора-легковеса (3-25% от массы смеси). Тугоплавкой составляющей облицовочного слоя могут быть частицы от 0,5 до 5 мм раздробленного высокоглиноземистого или шамотного огнеупора, а также огнеупора, содержащего оксиды хрома.

Эксперименты показали, что с увеличением V_1/V_2 и T_1/T_2 и с увеличением содержания легкоплавкой составляющей в облицовочном слое формы с 3 до 55% достигается увеличение S (до $S=125$ мм). С увеличением V_1/V_2 и уменьшением T_1/T_2 в указанных пределах увеличивается количество пор в пригоревшем к металлу слое, повышаются в 2-3 раза теплоизоляционные свойства слоя. При уменьшении V_1/V_2 и T_1/T_2 в указанных пределах уменьшается толщина слоя до $S > 25$ мм. При этом увеличивается плотность и прочность (в 4-6 раз) слоя, что

позволяет производить износостойкие композиционные плитки для полов цехов промышленных предприятий, для дорожных покрытий, для облицовки химических и теплообменных аппаратов. Предложенный способ может применяться для изготовления покрытий и узлов машин, работающих в агрессивных и высокотемпературных средах. Были изготовлены по предлагаемому способу композиционные плитки для полов очистного отделения литейного цеха. Наличие пригара на этих плитках позволило увеличить износостойкость и долговечность полов из таких плиток в 7-12 раз.

Были также получены предлагаемым способом отливки из алюминиевых сплавов с защитным поверхностным слоем из раздробленных шамотных изделий при выполнении каналов в облицовочном слое смеси. Отливки были предназначены для работы в условиях воздействия на поверхностный слой движущихся порошкообразных веществ с повышенной температурой. Долговечность этих отливок была высокой. Такие отливки в 4,5-6 раз дешевле, чем композиционные отливки с созданием защитного слоя известными способами. Предложенный способ рационален для выполнения канализационных литых труб и химических аппаратов с защитным неметаллическим слоем.

При использовании предлагаемого способа снижается трудоемкость в 5-7 раз, уменьшаются затраты в 7-9 раз на осуществление процесса, энергию и материалы по сравнению с известными способами.

Предлагаемый способ позволяет широко использовать металло-неметаллические композиционные конструкции в строительной индустрии. Например, можно производить стены зданий из прочных металлических отливок, поверхностный слой которых будет неметаллическим, теплоизоляционным, износостойким. Большие преимущества достигаются при применении предлагаемого способа для выполнения узлов и деталей химических аппаратов, водопроводов, канализационных устройств, теплообменников, для производства износостойких плит для тротуаров, теплостойких, химически стойких плит, применяемых в литейных и металлургических цехах, для дорожного покрытия, в жилищном и промышленном строительстве.

При добавлении в поверхностный слой формы кусочков разбитых, не применяемых в производстве, изношенных наждачных кругов и изделий, и заливке в форму чугуна или расплава неметаллических материалов получают износостойкие изделия. Добавление в поверхностный слой формы битых керамических изделий и естественных камней и проникновение в каналы слоя алюминиевого сплава позволяет получать литые с повышенными теплостойкостью, изоляционными свойствами, износостойкостью.

Предлагаемый способ обеспечивает технический эффект и может быть осуществлен с помощью известных в технике средств. Сочетание новых признаков наряду с известными позволяет упростить получение отливок для химических аппаратов, печей, строительных конструкций, тепловых агрегатов, водопроводов, канализационных устройств.

Предложенный способ является простым по осуществлению, не трудоемким, энергосберегающим, безопасным, экологически чистым.

Во всех случаях применения предложенного способа достигается простота, дешевизна, универсальность, разнообразие, высокая производительность (на 30 -50%), безопасность по сравнению с существующими способами.

ВЫВОДЫ

1. Применительно к поставленной задаче разработан новый способ получения композиционных материалов при литье, позволяющий получать качественные композиционные отливки с возможностью регулирования толщины слоя композиционного материала.

2. Разработана программа, позволяющая проводить прогнозные расчеты и осуществлять рациональный выбор основных параметров процессов с целью получения композиционных материалов с требуемыми свойствами.

ГЛАВА 3 ЭКСПЕРИМЕНТЫ ПО КОМПОЗИЦИОННОМУ ЛИТЬЮ В УСЛОВИЯХ ЛИТЕЙНОГО ЦЕХА ОАО «ПЕНЗАДИЗЕЛЬМАШ»

3.1 Изготовление форм для выявления возможности получения композиционных отливок

Целью экспериментов в производственных условиях было выявление глубины проникновения металла в каналы формы и образования пригара на отливках.

В процессе проведения экспериментальных работ было изготовлено четыре формы. Первая форма была изготовлена из смеси ХТС, состоящей из смолы БС, ортофосфорной кислоты, кварцевого песка. Смесь ХТС затвердевала в форме в течение 30 минут. Полуформа представлена на рисунке 3.1. Вторая форма была изготовлена из смеси: ХТС 50% и глина 50%. Полуформа представлена на рисунке 3.2.



Рисунок 3.1 – Полуформа №1

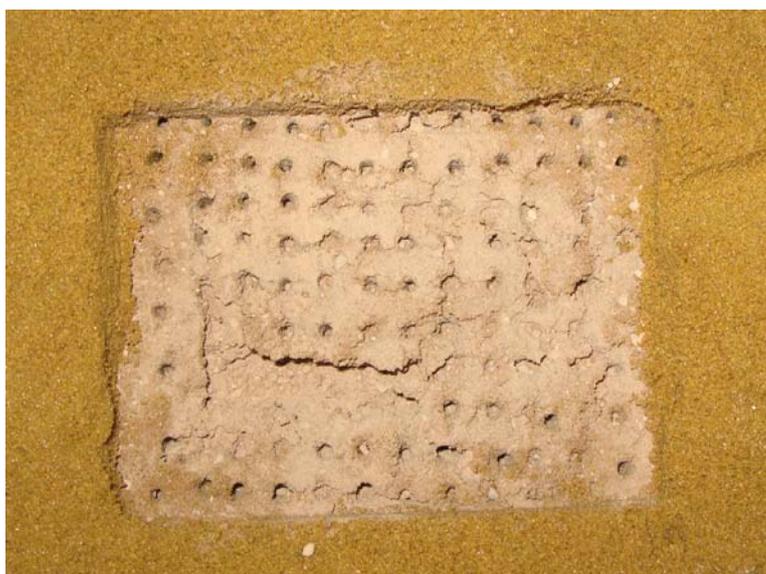


Рисунок 3.2 – Полуформа №2

Третья форма была изготовлена из стержневой смеси С12, содержащей кварцевый песок, каустическую соду и жидкое стекло. Полуформа представлена на рисунке 3.3. Четвертая форма изготовлена из того же состава, что и третья, но в состав смеси была введена глина в количестве 50% от общей массы состава. Полуформа представлена на рисунке 3.4. По моделям в формах выполнялись каналы.



Рисунок 3.3 – Полуформа №3

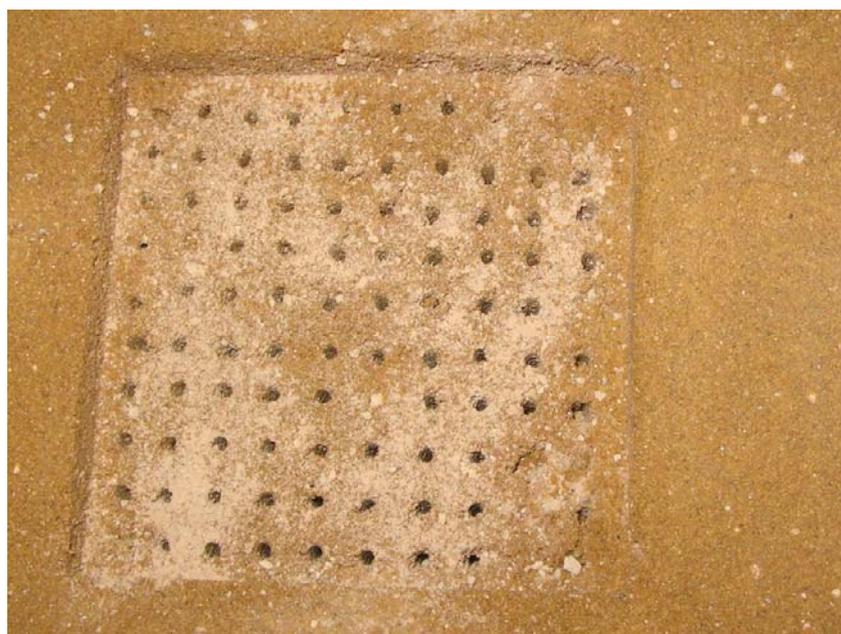


Рисунок 3.4 – Полуформа №4

3.2 Результаты экспериментов

Полученные полуформы были собраны, нагружены и залиты чугуном СЧ20. Температура заливки металла составила 1360-1370⁰С. В результате были получены отливки, представленные на рисунках 3.5, 3.6, 3.7, 3.8 (по модели 3.9).

На отливке №1 наблюдалось проникновение жидкого металла в каналы, но пригар не образовался. Следовательно, формовочная смесь ХТС не подходит для получения композиционных отливок.

На отливке №2, представленной на рисунке 3.6, наблюдалось образование пригара на отливке. Пригар прочно удерживался на поверхности отливки. Следовательно, добавление глины в формовочный состав на основе ХТС положительно влияет на образование пригара.

Отливка №3, изготовленная в форме из смеси С12, имела на всей поверхности пригар, который был прочно соединен с отливкой. Толщина пригара была 10 мм.

На отливке №4 наблюдалось наличие пригара в виде скоплений. Пригар прочно удерживался на отливке, что подтверждает необходимость использования глины в смеси.

Эксперименты подтвердили возможность получения металлических отливок с неметаллическим пригаром, но для образования пригара требуются смеси с определенными экспериментальными характеристиками и особые условия заливки металла в формы. На образование пригара влияет статический напор металла в форме. Высота стояка триста пять миллиметров была достаточной для образования требуемого статического напора при заливке чугунных отливок. Значительное влияние на образование пригара на отливках оказывает содержание глины в формовочной смеси.

Во всех случаях при проведении экспериментов жидкий металл проникал в каналы в форме, что свидетельствует о возможности закрепления пригара образующимися металлическими иглами. Получены положительные результаты по образованию прочного пригара при заливке чугуна в формы, изготовленные из жидкостекольной формовочной смеси.



Рисунок 3.5 – Отливка, полученная в форме из ХТС

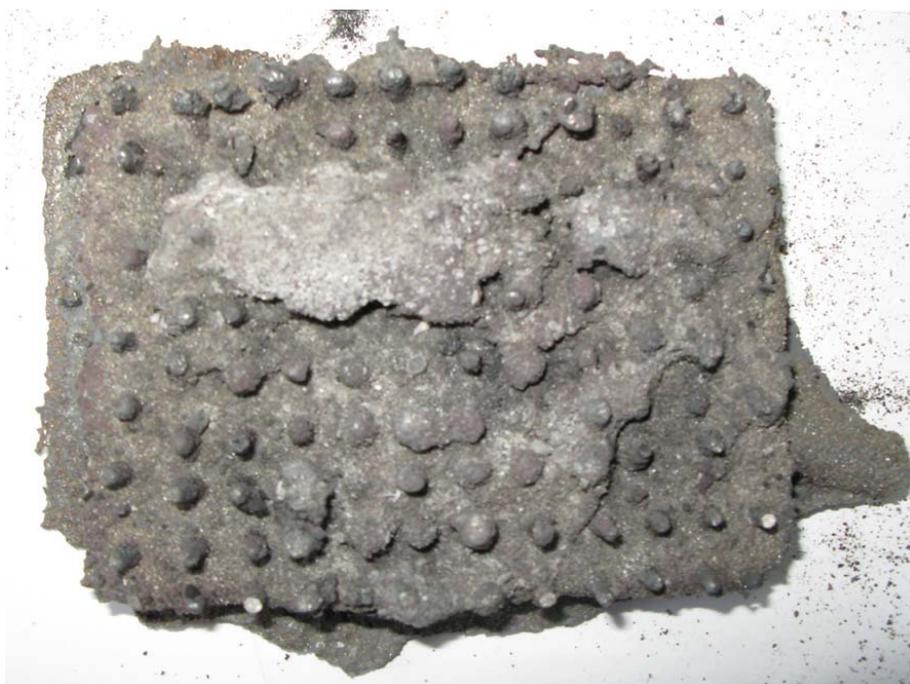


Рисунок 3.6 – Отливка, полученная в форме из ХТС с добавлением глины



Рисунок 3.7 – Отливка, полученная в форме из стержневой смеси



Рисунок 3.8 – Отливка, полученная в форме из стержневой смеси с добавлением глины

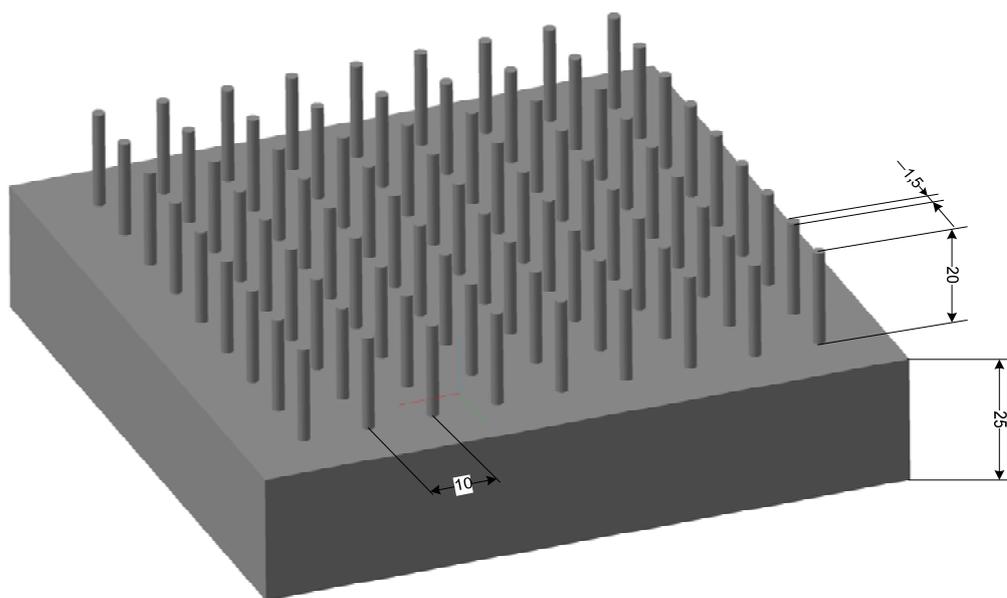


Рисунок 3.9 – Модель

ВЫВОДЫ

1. Наличие каналов в форме подтверждает возможность закреплять формовочную смесь к металлу отливки образующимися литьем иглами.
2. Получение пригара при использовании органических крепителей не позволяет получать требуемый пригар. При формовочном составе с неорганиче-

скими крепителями (жидким стеклом) пригар получается прочный, большой толщины.

3. На основе исследований выявлено, что рационально применять следующие материалы: Al_2O_3 (не вступает в реакции с кислотами, щелочами, имеет температуру плавления больше $2000^{\circ}C$, тепловое расширение незначительное, хороший теплоизолятор), Cr_2O_3 (имеет высокую температуру плавления, применяется для получения хромитовых огнеупоров, химически малоактивен, хороший теплоизолятор), шамотный огнеупор (содержит более 30% Al_2O_3 , применяется для футеровки печей, обладает огнеупорностью $1400-1730^{\circ}C$, хороший теплоизолятор, выдерживает более 20 теплосмен), битое стекло (может использоваться в качестве связующего), термит (смесь алюминиевого порошка и оксидов железа, позволяет повышать температуру). На основании теоретических и прогнозных исследований разработаны рекомендуемые материалы для получения защитного пригара на чугунных отливках.

Рекомендации по получению контролируемого защитного пригара
на отливках

1	Поверхностный слой формы рационально создавать из смеси зернистого материала, температура плавления которого выше температуры плавления заливаемого материала, и материала, температура плавления которого ниже температуры плавления заливаемого материала
2	В поверхностном слое формы с толщиной требуемого пригара на отливке необходимо создавать каналы, суммарный объем которых равен 0,07-0,75 общего объема поверхностного слоя формы, и надо в форму заливать жидкий металл при его температуре 1,12-1,34 температуры плавления легкоплавкого формовочного материала
3	<p>Каналы можно создавать</p> <ul style="list-style-type: none"> - путем наколов со стороны внутренней части формы, прокалывая поверхностный слой формы на глубину требуемого пригара на отливке, - путем ввода в облицовочную смесь органических материалов, которые до заливки жидкого металла в форму необходимо выжигать, - путем ввода в облицовочную смесь раздробленных пористых материалов, - путем ввода в облицовочную смесь стружки легкоплавкого материала, - путем прокладки в формовочном материале сетки из горючих нитей, - путем прокладки в формовочном материале легкоплавкой проволоки, путем ввода в формовочную смесь термита, содержащего частицы железной окалины и алюминия, - путем выполнения глубоких борозд в формовочном материале после извлечения модели из формы

Рекомендуемые материалы для получения защитного пригара
на чугунных отливках

1	Порошок высокоглиноземистого материала с зернистостью 0,5-3 мм
2	Порошок материала, содержащего оксиды хрома
3	Порошок материала, содержащего оксиды циркония
4	Порошок шамотных огнеупоров
5	Огнеупорная глина
6	Термитная смесь
7	Порошок оксидов железа
8	Порошок стекла (битое стекло)
9	Криолит
10	Порошок металлургического шлака (ваграночного шлака)
11	Кварцевый песок

ГЛАВА 4 ЭКОНОМИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОГО ПРОЕКТА

4.1 Расчет себестоимости исследовательского проекта

Целью планирования себестоимости проведения научно-исследовательской работы (НИР) является экономически обоснованное определение величины затрат на ее выполнение. В плановую себестоимость НИР включаются все затраты, связанные с ее выполнением, независимо от источника финансирования.

Общие затраты на разработку проектного решения определяются по формуле:

$$Z_{н.пр} = C_m + Z_p + Z_d + Z_c + Z_n + P_{экспл} \quad (4.1)$$

При выполнении дипломных работ исследовательского характера текущие затраты на НИР (проведение теоретических, экспериментальных, расчетных и других работ) рассчитываются путем сметы с использованием уточненных исходных и фактических данных, приведены в таблице 4.1.

Таблица 4.1

Смета расходов

Виды текущих расходов	Условные обозначения
1. Затраты на материалы и комплектующие, руб.	C_m
2. Основная заработная плата, руб.	Z_p
3. Дополнительная заработная плата, руб.	Z_d
4. Отчисления на социальные нужды, руб.	Z_c
5. Накладные расходы, руб.	Z_n
6. Эксплуатационные расходы, руб.	$P_{экспл}$

Величина затрат по каждой статье определяется методом прямого счета.

Затраты по статье расходов «материалы», покупные изделия включают стоимость основных материалов, комплектующих изделий. Эти затраты определяются по формуле:

$$C_m = \sum_1^n C_m \cdot Q_m \quad (4.2)$$

где C_m - цена за единицу каждого вида материальных ресурсов, руб.;

Q_m - количество каждого вида материального ресурса, необходимого для проведения научно-исследовательской разработки, нат.ед.;

n - число видов материальных ресурсов.

Состав расходных материалов на производство экспериментального образца находятся в таблице 4.2

Таблица 4.2

Расходы материалов

Материал	Расход на 1т.	Цена на 1т. в руб.
Чугун чушковый Л1	0,35	22390
Лом чугуна Л6	0,368	11700
Возврат производства	0,26	4500
Ферросилиций	0,02	22000
Ферромарганец	0,002	49000
Песок формовочный	0,5	10402
Бентонит	0,05	4800
Глина	0,1	3500

Стоимостные затраты на чугунное литье в расчете на одну тонну литья составляют:

$$C_m = \sum_1^8 (0,35 \cdot 22390 + 0,368 \cdot 11700 + 0,26 \cdot 4500 + 0,2 \cdot 22000 + 0,002 \cdot 49000 + 0,5 \cdot 10402 + 0,05 \cdot 4800 + 0,1 \cdot 3500) = 23601,1 \text{ руб.}$$

Учитывая, что в процессе проведения исследования минимально необходимое количество отливок десять штук весом в один килограмм каждая, то рассчитанное значение C_m следует принять равным 236 руб.

Экспериментальная часть исследований проходила на производстве. Затраты на заработную плату участвующих в исследовательском проекте соот-

ветствуют размерам средней заработной платы рабочих-сдельщиков, показатели приведены в таблице 4.3 и рассчитываются по формуле:

$$Z_p = \sum_1^m Z_{co} \cdot N \cdot n, \text{руб} \quad (4.3)$$

где - Z_{co} - стоимостные расценки одной детали, руб.;

N – время выполнения одной операции, час.;

n – количество произведенных деталей.

Таблица 4.3

Средняя заработная плата рабочих-сдельщиков

Наименование профессии	Стоимостные расценки одной детали, руб.	Время выполнения одной операции (N), час
Вагранщик	80	1,5
Заливщик металла	70	0,08
Формовщик ручной формовки	50	0,5

$$Z_p = 80 \cdot 1,5 \cdot 10 + 70 \cdot 0,08 \cdot 10 + 50 \cdot 0,5 \cdot 10 = 1506, \text{руб.}$$

Дополнительная заработная плата определяется по формуле:

$$Z_d = (K_d \cdot Z_p) + (Z_p + (Z_p \cdot K_d)) \cdot K_n, \quad (4.4)$$

где K_d – коэффициент, учитывающий доплату за вредное производство (0,04-0,12);

K_n - коэффициент, учитывающий размер премии.

Примем K_d равным 0,04 и K_n равным 0,35, тогда получаем, что дополнительная заработная плата составляет:

$$Z_d = (1506 \cdot 0,04) + (1506 + (1506 \cdot 0,04)) \cdot 0,35 = 608,4 \text{руб.}$$

Отчисления на социальные нужды определяются по формуле:

$$Z_c = (Z_p + Z_d) \cdot 0,26, \quad (4.5)$$

Учитывая ранее полученные значения заработной платы рабочих и дополнительной заработной платы, отчисления на социальные нужды составляют:

$$z_c = (1506 + 608,4) \cdot 0,26 = 549,8 \text{ руб.}$$

Накладные расходы определяются следующим образом:

$$z_n = \frac{z_p \cdot П}{100}, \quad (4.6)$$

где $П$ – процент накладных расходов организации.

Исходя из того, что $П$ равен 55 %, получим накладные расходы в размере:

$$z_n = \frac{1506 \cdot 55}{100} = 828,3 \text{ руб.}$$

Расчет затрат на топливо и энергию производится по формуле:

$$P_{\text{экспл}} = \frac{C_{\text{э}} + C_o + A + C_p}{\Phi_2}, \quad (4.7)$$

где $C_{\text{э}}$ – стоимость электроэнергии, за год, руб.;

C_o – расходы на обслуживание в течение одного года, руб.;

A – амортизационные отчисления, руб.;

C_p – расходы на текущий ремонт, руб.;

Φ_2 – годовой полезный фонд времени работы печи, ч.

Печь работает в течение 8 часов в сутки, пять дней в неделю, 250 дней в году. Годовой полезный фонд времени работы печи при таких условиях составляет

$$\Phi_2 = 8 \cdot 250 = 2000 \text{ часов}$$

Стоимость потребляемой за год электроэнергии рассчитывается по формуле:

$$C_{\text{э}} = \sum_1^m M_n \cdot \Phi_2 \cdot Ц_{\text{э}}, \quad (4.8)$$

где M_n – потребляемая мощность, кВт;

$Ц_{\text{э}}$ – цена 1 кВт-ч электроэнергии, руб.

m – количество источников потребления энергии.

Согласно текущей тарифной ставке 1 кВт/ч электроэнергии стоит 3,05 руб. Расход электроэнергии (кВт) приведен в таблице 4.4.

Таблица 4.4

Расход электроэнергии

Наименование расходов	Расход на 1 т., кВт.	Расход на 1 кг., кВт.
Смесители мод.15102	215	0,215
Термическая печь	30	0,03
Газовые вагранки	120	0,12

Затраты на электроэнергию составят:

$$C'_э = (0,215 \cdot 2000 \cdot 3,05) + (0,03 \cdot 2000 \cdot 3,05) + (0,12 \cdot 2000 \cdot 3,05) = 2126,5 \text{ руб.}$$

Учитывая, что общая масса изготавливаемых отливок составляет 10 килограмм, то получим затраты на электроэнергию в размере:

$$C_э = 2126,5 \cdot 10 = 21265 \text{ руб.}$$

Расходы на обслуживание печи за год определяются по формуле:

$$C_o = \frac{3\Pi_o \cdot 12}{\mathcal{E}_o}, \quad (4.9)$$

где $3\Pi_o$ – заработная плата персонала, обслуживающего печь, руб.;

\mathcal{E}_o – количество обслуживаемых им единиц оборудования;

12 – количество месяцев в году.

Человек, обслуживающий печь получает 6700 руб. в месяц. В соответствии с формулой (4.9), затраты на обслуживание составляют

$$C_o = \frac{5500 \cdot 3}{12} = 1375 \text{ руб.}$$

Амортизационные отчисления определяются по формуле:

$$A = \frac{H_a \cdot C}{100}, \quad (4.10)$$

где H_a – норма амортизации ускоренная (50 %);

C – балансовая стоимость печи, руб.

Таким образом, согласно формуле (4.10), амортизационные отчисления составят

$$A = \frac{50 \cdot 3500000}{100} = 1750000 \text{ руб.}$$

Расходы на текущий ремонт C_p определяются как 5 % от балансовой стоимости печи. Таким образом, получаем, что расходы на текущий ремонт составят:

$$C_p = 0,05 \cdot 3500000 = 175000 \text{ руб.}$$

Подставляя вычисленные значения в формулу (4.7) получаем, что стоимость одного часа эксплуатации печи равна:

$$P'_{\text{экспл}} = \frac{21265 + 1375 + 1750000 + 175000}{2000} = 973,8 \text{ руб.}$$

Учитывая, предыдущие расчеты, получаем, что эксплуатационные расходы составят

$$P_{\text{экспл}} = 7 \cdot 973,8 = 6816,6 \text{ руб.}$$

Согласно формуле (4.1) затраты на разработку составят

$$Z_{p.no} = 236 + 1506 + 608,4 + 549,8 + 828,3 + 6816,6 = 10545,1 \text{ руб.}$$

4.2 Установление цены разработки

Цена разработки определяется по формуле:

$$Ц = Z_{p.no} \cdot (1 + P), \quad (4.11)$$

где P – норматив рентабельности, позволяющий учитывать прибыль организации, занимающейся исследованием.

Так как норматив рентабельности равен 20 %, то цена разработки равна

$$Ц = 10545,1 \cdot 1,2 = 12654,12 \text{ руб.}$$

Итак, цена, полученная в ходе дипломного проектирования, составляет 12654,12 руб. при норме рентабельности 20 %. Себестоимость составляет – 10545,1 руб.

4.3 Установление нижнего предела цены и договорной цены с учетом тиражирования

Нижний предел цены ($C_{НП}$) с учетом желаемой рентабельности (P), тиражированием (N) и НДС (H) определяется по формуле:

$$C_{НП} = \frac{Z_{p.no} \cdot (1 + P)}{N} \cdot (1 + H), \quad (4.12)$$

Приняв НДС равным 18 %, а за желаемый тираж в первый год 5 штук рассчитываем предел нижней цены

$$C_{НП} = \frac{10545,1 \cdot (1 + 0,2)}{5} \cdot (1 + 0,18) = 2986,37 \text{ руб.}$$

Договорная цена устанавливается с учетом дополнительной прибыли, которая принимается в процентах стоимости разработки (последняя не может быть ниже ставки банковского процента – 12 %) и равна

$$C_{дог} = 2986,37 \cdot 1,12 = 3344,7 \text{ руб.}$$

Окончательную цену примем на уровне 3345 руб.

4.4 Показатели эффективности проекта

Капитальные вложения на разработку и внедрение объектов проектирования можно рассматривать как инвестиции, необходимые для получения прибыли. Этим определяется необходимость и целесообразность проведения технико-экономического обоснования дипломных разработок как инвестиционных проектов.

Экономическая эффективность инвестиционных проектов характеризуется системой показателей, отражающих соотношение результатов (притока, поступлений, дохода) и затрат (оттока, выплат) от операционной, инвестиционной и финансовой деятельности.

Разность между результатом и затратами от операционной ($D_{от}$) и инвестиционной ($D_{инт}$) деятельности представляет собой поток реальных денег на t -м шаге расчета, который равен

$$D_t = D_{ot} + D_{ut},$$

Поток накопленных реальных денег ($\sum_{t=0}^T D_t$) должен быть положительным на каждом шаге расчета.

Оценка планируемых результатов и затрат осуществляется в пределах расчетного периода, продолжительность которого обычно соответствует сроку амортизации новых активов: для небольших разработок (усовершенствование конструкции, технологии) примерно три года; созданию новых моделей оборудования, приборов - до семи лет.

Соизмерение разновременных затрат и результатов осуществляется путем дисконтирования – приведения их к ценностям в начальном периоде. Для этого используется норма дисконта (E), равная приемлемой норме дохода на капитал. При расчетах в качестве нормы дисконта (барьерной ставки) принимается депозит 0,15, для рискованных проектов - до 0,18-0,2.

Приведение осуществляется путем умножения затрат и результатов на коэффициент дисконтирования ($KД$), равный

$$KД_t = \frac{1}{(1 + E)^t}, \quad (4.13)$$

Оценка проекта, сравнение вариантов и выбор оптимального производится с использованием следующих показателей:

- чистая дисконтированная стоимость (доход);
- внутренняя норма доходности (рентабельности);
- индекс доходности (рентабельности инвестиций);
- срок окупаемости.

Чистая дисконтированная стоимость ($ЧДС$) или интегральный экономический эффект ($\mathcal{E}_{ин}$) определяется как сумма потоков реальных денег (текущих эффектов \mathcal{E}_t), приведенная за весь расчетный период (T) к начальному году.

Чистая дисконтированная стоимость вычисляется по формуле:

$$ЧДС = \sum_{t=0}^T (P_t - Z_t) \cdot КД = \sum_{t=0}^T \mathcal{E}_t \cdot КД, \quad (4.14)$$

где P_t - результат в t -м году расчета, руб.;

Z_t - затраты в том же году, руб.

Результат проекта может поступать в одной из следующих форм:

- дополнительная прибыль вследствие увеличения объема реализации;
- экономия за счет снижения эксплуатационных затрат.

Любая форма производит одинаковый эффект, а именно: увеличение чистого дохода и поступление наличности.

Затраты на t -м шаге рассчитываются по формуле:

$$Z_t = I_t + K_t - L_t,$$

где I_t - текущие издержки на t -м шаге;

K_t - единовременные затраты на том же шаге;

L_t - выручка от продажи выбывающих фондов.

Динамику затрат и результатов на протяжении расчетного периода предсказать трудно, поэтому вносят следующие упрощения:

- единовременные вложения (K) имеют место на нулевом шаге;
- среднегодовые результаты (P) и затраты (Z) являются постоянными на протяжении периода.

При этих допущениях формула интегрального эффекта имеет вид:

$$\mathcal{E}_{ин} = \frac{P - Z}{H_a + E},$$

где H_a - норма амортизационных отчислений, равная

$$H_a = \frac{E}{(1 + E)^t - 1},$$

Внутренняя норма доходности (рентабельности) представляет собой ту ставку дисконта $E_{вн}$, при которой ЧДС равна нулю. Ее вычисление является

итеративным процессом, который начинается с барьерной ставки дисконта (E). Если при этом ЧДС положительная, то в следующей итерации используют более высокую ставку, если отрицательная - более низкую. Точное значение можно вычислить по формуле:

$$E_{\text{вн}} = E^* + \frac{\text{ЧДС}^{(+)}}{\text{ЧДС}^{(+)} - \text{ЧДС}^{(-)}}, \quad (4.15)$$

где E^* - значение ставки дисконта, при котором ЧДС принимает последнее положительное значение;

$\text{ЧДС}^{(+)}$ - последнее положительное значение ЧДС, руб.;

$\text{ЧДС}^{(-)}$ - последнее отрицательное значение ЧДС, руб.

В случае если внутренняя норма доходности превышает норму дисконта, инвестиции в данный проект оправданы, в противном случае нецелесообразны.

Индекс доходности ($ИД$) рассчитывается по формуле:

$$ИД = \frac{1}{K} \cdot \sum_{t=0}^T (P_t - Z_t^*) \cdot КД, \quad (4.16)$$

где Z_t^* - затраты на t -м шаге расчетов без учета инвестиций;

K - привлеченная величина инвестиций.

Привлеченная величина инвестиций рассчитывается по формуле:

$$K = \sum_{t=0}^T K_t \cdot КД,$$

При $ИД > 1$ проект является эффективным; при $ИД < 1$ - убыточным.

Срок окупаемости ($T_{ок}$) - это период времени, который потребуется для возмещения инвестиций. Его определяют с учетом дисконтирования, а именно:

$$\sum_{t=0}^T (P_t - Z_t^*) \cdot КД = K \quad (4.17)$$

4.5 Экономическое обоснование инвестиционного проекта разработки

Проведем оценку эффективности инвестиций в разрабатываемое в ходе дипломного проектирования исследование.

В предыдущих пунктах получено, что окончательная цена исследования (C) составляет 3345 руб., затраты на разработку $Z_{p.no} = 10545,1 \text{ руб.}$. Необходимо проверить, является ли инвестиционный проект эффективным.

Предварительно следует установить горизонт расчетов. Его можно принять равным сроку морального устаревания предлагаемого исследования (T_y), равного

$$T_y = \frac{1}{U_p} = \frac{1}{0,33} = 3,06,$$

где U_p - коэффициент, учитывающий время годового устаревания – 0,3-0,4.

Временной горизонт расчетов (T) возьмем равным трем годам. Теперь спрогнозируем возможный объем продаж в течение этого срока. Предположим, что в первый год объем продаж составит 5 экземпляров исследовательского проекта, во второй год - 16, в третий - 13.

В дальнейшем понадобятся следующие данные:

1. НДС составляет 18 %;
2. налог на прибыль 24 %;
3. стоимость доработки в конкретных условиях – 20 % от цены исследования.

С учетом этих допущений приступим к расчету показателей эффективности. Для этого проведем составление денежных потоков.

Реальные деньги за каждый год расчета составят величину равную

$$D_t = \Pi_t - \Pi_t \cdot 0,24, \quad (4.18)$$

где D_t - денежный поток на t-м шаге расчета, руб.;

P_t - прибыль от реализации на t-м шаге расчета, руб.;

0,24 - налог на прибыль.

Прибыль от реализации определяется по формуле:

$$P_t = B_t - C_t, \quad (4.19)$$

где B_t - выручка от реализации без НДС на t-м шаге расчета, руб.;

C_t - себестоимость на t-м шаге расчета, руб.;

Выручку от реализации (доход) вычисляется по формуле:

$$B_t = C \cdot N_t, \quad (4.20)$$

где C - цена разработки, руб.;

N_t - объем продаж на t-м шаге расчета, шт.

Подставляя данные в формулу (4.20) получаем, что доход в первый год составил

$$B_1 = 3345 \cdot 5 = 16725 \text{ руб.},$$

во второй

$$B_2 = 3345 \cdot 16 = 53520 \text{ руб.},$$

в третий

$$B_3 = 3345 \cdot 13 = 43485 \text{ руб.}$$

Себестоимость вычисляется по формуле:

$$C_t = Z_{дор} + Z_{ндс}, \quad (4.21)$$

где $Z_{дор}$ - расходы на доработку на t-м шаге расчета;

$Z_{ндс}$ - расходы с учетом НДС на t-м шаге расчета.

Так как стоимость доработки составляет 20 %, то расходы на доработку определяются следующим образом:

$$Z_{дор} = B_t \cdot 0,20,$$

Подставляя ранее полученный доход за каждый год в формулу, получим, что расход на доработку в первый год составил

$$Z_{\text{оор}_1} = 16725 \cdot 0,20 = 3345 \text{ руб.},$$

во второй

$$Z_{\text{оор}_2} = 53520 \cdot 0,20 = 10704 \text{ руб.},$$

в третий

$$Z_{\text{оор}_3} = 43485 \cdot 0,20 = 8697 \text{ руб.}$$

Так как НДС составляет 18 %, расходы с учетом НДС ($Z_{\text{ндс}}$) примут

$$Z_{\text{ндс}_1} = 16725 \cdot 0,18 = 3010,5 \text{ руб.},$$

$$Z_{\text{ндс}_2} = 53520 \cdot 0,18 = 9633,6 \text{ руб.},$$

$$Z_{\text{ндс}_3} = 43485 \cdot 0,18 = 7827,3 \text{ руб.}$$

По формуле (4.21) получаем, что себестоимость в первый год расчета равна

$$C_1 = 3345 + 3010,5 = 6355,5 \text{ руб.},$$

во второй

$$C_2 = 10704 + 9633,6 = 20337,6 \text{ руб.},$$

в третий

$$C_3 = 8697 + 7827,3 = 16524,3 \text{ руб.}$$

По формуле (4.18) вычисляется прибыль от реализации, и она составляет

$$П_1 = 16725 - 6355,5 = 10369,5 \text{ руб.},$$

$$П_2 = 53520 - 20337,6 = 33182,4 \text{ руб.},$$

$$П_3 = 43485 - 16524,3 = 26960,7 \text{ руб.}$$

По формуле (4.16) получаем

$$Д_1 = 10369,5 - 10369,5 \cdot 0,24 = 7880,82 \text{ руб.},$$

$$Д_2 = 33182,4 - 33182,4 \cdot 0,24 = 25218,62 \text{ руб.},$$

$$Д_3 = 26960,7 - 26960,7 \cdot 0,24 = 20490,13 \text{ руб.}$$

где $Д_1, Д_2, Д_3$ – денежные потоки в первый, второй и третий годы расчета.

Сведем полученные результаты в таблицу.

План денежных потоков

Показатели	0-й год, руб.	1-й год, руб.	2-й год, руб.	3-й год, руб.
Выручка от реализации		16725	53520	43485
Расходы на разработку	10545,1			
Расходы НДС (18 %)		3010,5	9633,6	7827,3
Расходы на доработку		3345	10704	8697
Прибыль от реализации		10369,5	33182,4	26960,7
Денежные потоки (D_t)	-10545,1	7880,82	25218,62	20490,13

Диаграмма денежных потоков приведена на рисунке 4.1

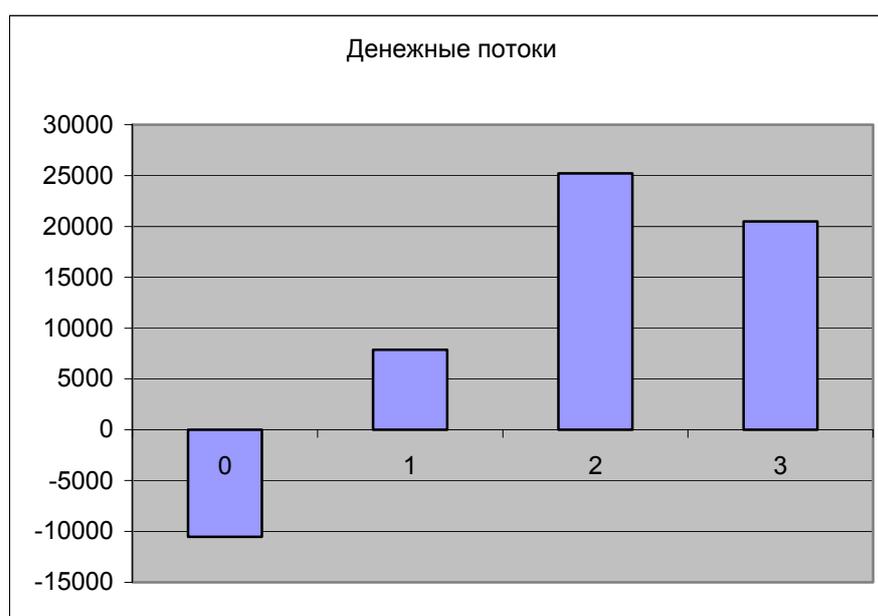


Рисунок 4.1 - Диаграмма денежных потоков

Вычисление ставки дисконтирования:

$$E = 0,15 + 0,04 + 0,09 = 0,28,$$

где 0,15 - цена капитала (депозит);
0,04 - коэффициент, учитывающий риск;
0,09 - уровень инфляции.

По формуле (4.13) вычислим коэффициент дисконтирования:

$$KD_1 = \frac{1}{(1 + 0,28)} = 0,78125,$$

$$KD_2 = \frac{1}{(1 + 0,28)^2} = 0,61035,$$

$$KD_3 = \frac{1}{(1 + 0,28)^3} = 0,47684,$$

Вычислим текущую дисконтированную стоимость (TDC), текущую дисконтированную стоимость с нарастающим итогом (TDC_n) и чистую дисконтированную стоимость ($ЧДС$) по формуле (4.15) и занесем результаты в таблицу 4.6

Таблица 4.6

Вычисление чистой дисконтированной стоимости

Год	KD_t при $E = 0,28$	$D_t, руб.$	TDC	TDC_n
0	1	-10545,1	-10545,1	-10545,1
1	0,78125	7880,82	6156,89	-4388,24
2	0,61035	25218,62	15392,18	11003,94
3	0,47684	20490,13	9770,5	20774,44
				$ЧДС = + 20774,44$

График TDC и TDC_n приведен на рисунке 4.2

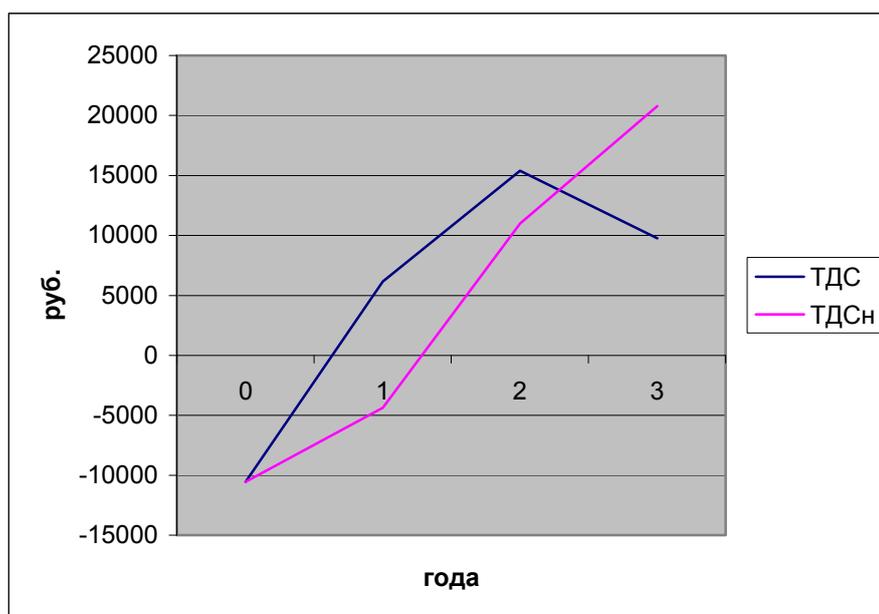


Рисунок 4.2 - График $TДС$ и $TДС_n$

По формуле (4.17) определяем срок окупаемости инвестиций:

$$T_{ок} = 1 + \frac{4388,24}{4388,24 + 11003,94} = 1,285 \text{ года.}$$

По формуле (4.16) получаем, что индекс доходности равен:

$$ИД = \frac{6156,89 + 15392,18 + 9770,5}{10545,1} = 2,97$$

Так как при $ИД$ большим единицы проект является эффективным, а рассчитанный индекс доходности равен 2,97, следовательно, исследовательский проект является эффективным.

Средняя рентабельность проекта равна:

$$P = \frac{ИД}{T} \cdot 100\% = \frac{2,97}{3} \cdot 100\% = 99\%.$$

где $T=3$, т.к. проект рассчитывается на три года.

Для того чтобы вычислить внутреннюю норму доходности ($E_{вн}$) необходимо определить граничные ставки дисконта, обеспечивающие прибыльность и убыточность проекта. Методом подбора такими ставками стали 1,2 и 1,25 соответственно.

Рассчитаем $KД_t$ при $E = 1,2$ по формуле (4.13):

$$KД_1 = \frac{1}{(1+1,2)} = 0,4545,$$

$$KД_2 = \frac{1}{(1+1,2)^2} = 0,207,$$

$$KД_3 = \frac{1}{(1+1,2)^3} = 0,09$$

Вычисление $ЧДС$ по формуле (3.12) для $E = 1,2$ приведено в таблице 4.7

Таблица 4.7

Вычисление $ЧДС$ при $E = 1,2$

Год	$KД_t$ при $E=1,2$	$Д_t$, руб.	$ТДС_n$
0	1	-10545,1	-10545,1
1	0,4545	7880,82	-6963,3
2	0,207	25218,62	-1743
3	0,09	20490,13	101
			$ЧДС = 101$

Аналогичным образом рассчитывается $ЧДС$ при $E = 1,25$. Для начала вычисляется $KД_t$ при $E = 1,25$ по формуле (4.13):

$$KД_1 = \frac{1}{(1+1,25)} = 0,4444,$$

$$KД_2 = \frac{1}{(1+1,25)^2} = 0,1975,$$

$$KД_3 = \frac{1}{(1+1,25)^3} = 0,088$$

Вычисление $ЧДС$ при $E = 1,25$ по формуле (4.14) приведено в таблице 4.8

Таблица 4.8

Вычисление ЧДС при $E = 1,25$

Год	KD_t при $E=1,15$	D_t , руб.	TDC_n
0	1	-10545,1	-10545,1
1	0,4444	7880,82	-7042,9
2	0,1975	25218,62	-2062,22
3	0,088	20490,13	-259,22
			$ЧДС = -259,22$

По формуле (4.15) определяется внутренний коэффициент доходности:

$$E_{вн} = 1,2 + \frac{101}{101 - (-259,22)} = 1,48$$

Полученная внутренняя норма доходности превышает барьерную ставку дисконта принятую равной 0,28, поэтому инвестиции в данный проект оправданы.

Выше было упомянуто, что оценка инвестиционного проекта разработки производится с использованием следующих показателей: $ЧДС$, $E_{вн}$, $ИД$ и $T_{ок}$. Для наглядности проведения оценки, рассчитанные и рекомендуемые значения показателей занесены в таблицу 4.9.

Данные таблицы показывают, что рассматриваемый инвестиционный проект разработки исследования является эффективным.

Таблица 4.9

Показатели эффективности

Показатели	Полученные по расчету величины	Рекомендуемые значения
$ЧДС$, руб.	20774,44	Положительная
$T_{ок}$, лет	1,287	До 5
$ИД$	2,97	Свыше 1
$E_{вн}$, %	148%	28

4.6 Оценка рентабельности проекта

Для оценки рентабельности проекта, применим следующую формулу:

$$P = \frac{D_t}{T \cdot Z_{p.no}} \cdot 100\%, \quad (4.22)$$

где P – рентабельность проекта,
 T - время реализации проекта.

Основной задачей оценки рентабельности является расчет дохода, который принесет проект за три года. При этом, необходимо учитывать, что доход должен быть приведен к «сегодняшним ценам», то есть ценам с учетом дисконтирования.

Воспользуемся расчетами предыдущих пунктов и приведем данные по каждому году в сводной таблице 4.10:

Таблица 4.10

Сводные данные по каждому году

Показатели	1–й год, руб.	2–й год, руб.	3–й год, руб.
Выручка от реализации	16725	53520	43485
Расходы на доработку	3345	10704	8697
Прибыль от реализации	10369,5	33182,4	26960,7
Налог на прибыль (24%)	2488,68	7963,78	6470,57
Денежные потоки (D_t)	7880,82	25218,62	20490,13
Коэффициенты дисконтирования	0,78125	0,61035	0,47684
Чистая дисконтированная стоимость	6156,89	15392,18	9770,5

Чистая дисконтированная стоимость за три года равна:

$$D = 6156,89 + 15392,18 + 9770,5 = 31319,57 \text{ руб.}$$

Подставляя найденное значение чистой дисконтированной стоимости в формулу (4.22), найдем значение рентабельности:

$$P = \frac{31319,57}{3 \cdot 10545,1} \cdot 100\% = 99\%$$

Очень высокий коэффициент рентабельности говорит о том, что разработка данного исследовательского проекта является экономически обоснованным.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Выполненная исследовательская работа свидетельствует о практической важности и возможности использования разработок в промышленности. В промышленности нашли широкое применение композиционные материалы. Изготовление композиционных материалов методами порошковой металлургии, напылением, взрывом сложно и дорого, но получение таких композиционных материалов позволяет получать качественные изделия с требуемыми свойствами. Можно получить литьем качественное соединение двух материалов. В качестве композиционного материала можно использовать отливки с пригаром. Предложен новый способ получения композиционного материала при литье. Разработана математическая модель по определению требуемой толщины композиционного материала на поверхности отливки. Экспериментально выявлены необходимые технологические приемы для получения качественного композиционного материала при литье. Разработан новый способ получения композиционных отливок. Получен патент РФ №2283724. Проведен экономический анализ и представлено экономическое обоснование исследовательского проекта. Выявлена перспективность организации производства и использования композиционных отливок, содержащих на металлической поверхности слой неметаллического материала – пригара.

Композиционные материалы, полученные предложенным способом литья, могут быть внедрены для производства труб, канализации, водопроводов, для перемещения сыпучих материалов пневмотранспортом, деталей печей (дверей и заслонок печей); они могут быть использованы в строительной индустрии (для облицовки плитками полов, стен, тротуаров); в химической промышленности для деталей, подвергающихся воздействию кислот, щелочей, агрессивных жидкостей и газов, для производства деталей и узлов агломерационных фабрик, при транспортировке угля; для деталей, предназначенных для защиты от радиации; для деталей космических аппаратов, работающих в условиях воздействия высоких температур, для деталей теплообменных аппаратов.

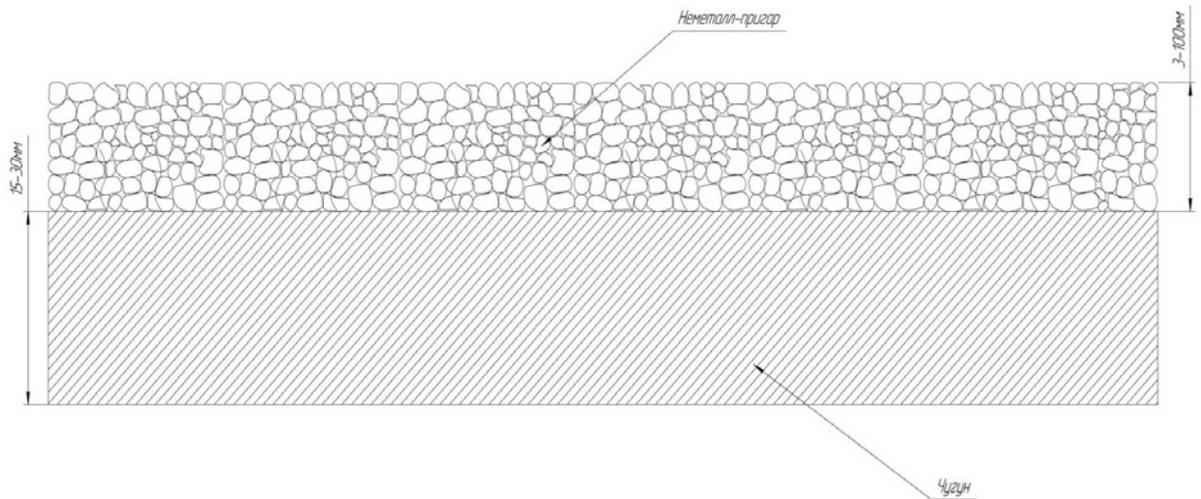


Рисунок 1- Схема получения композиционного материала при литье чугунных плит с поверхностным теплоизоляционным слоем - пригаром

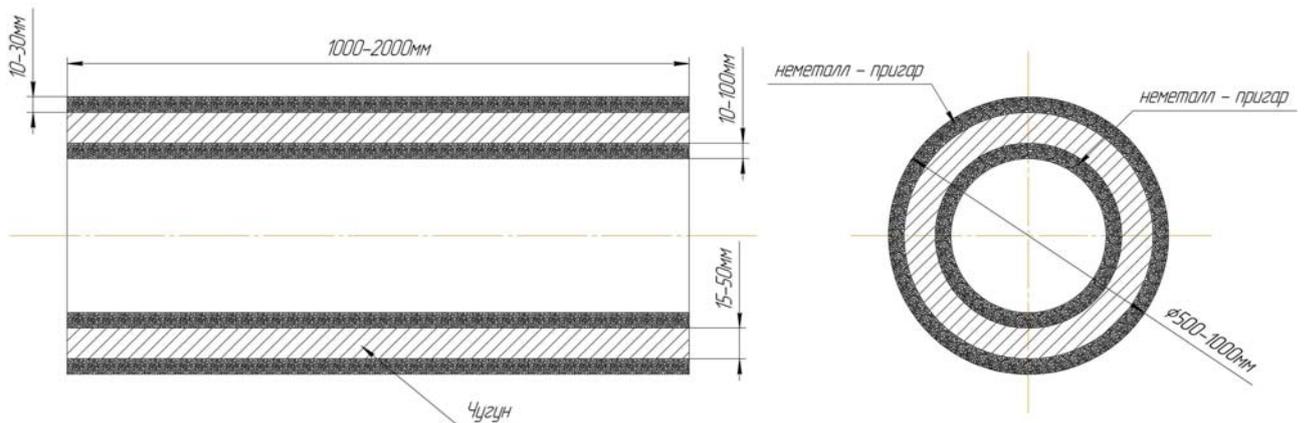


Рисунок 2 – Схема получения композиционного материала при литье чугунных труб с поверхностным теплоизоляционным слоем - пригаром

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Какие композиционные материалы применяются в технике?
2. Как развивалось производство биметаллических изделий?
3. Почему на отливках получается пригар неметаллических материалов?
4. Можно ли полезно использовать пригар на отливках?
5. Как получают композиционные отливки по новому способу?
6. Можно ли выявлять композиционные материалы на основе математического моделирования, какие методы математического моделирования рационально применять?
7. Каков алгоритм математического моделирования?
8. Какие выявляются прогнозные математические модели и выполняются расчеты по математическим моделям?
9. Можно ли на основе анализа результатов математического моделирования совершенствовать способы получения отливок из композиционных материалов?
10. Почему надо сравнивать результаты расчетов по математическим моделям с экспериментальными данными?
11. Как выполняются эксперименты по композиционному литью в условиях литейного цеха?
12. На основе чего выполняется оптимизация процессов, как разрабатываются рекомендации для практического использования результатов исследований?
13. Где можно применять композиционные отливки из чугуна и неметаллических материалов?
14. Как можно получать композиционные отливки с требуемой толщиной и заданными свойствами неметаллического пригара на металлической основе?
15. О чем свидетельствует экономическое обоснование исследовательского проекта?

16. Можно ли изобретать на основе результатов экспериментов и математического моделирования?

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Б.Н. Арзамасов. Конструкционные материалы. Справочник. М.: Машиностроение, 1990. 688с.
2. А.В. Бялобжевский, М.С. Цирлин, Б.И. Красилов. Высокотемпературная коррозия и защита сверхтугоплавких материалов. М.: Атомиздат, 1977. 224с
3. Е.В. Васильева, Т.А. Воронова, А.С. Горбова. Новые способы повышения прочностных свойств ниобия // Труды МВТУ. 1983. №280. С. 27-37
4. А.М. Дальский. Технология конструкционных материалов. М.: Машиностроение, 1985. 448 с.
5. М. Залкинд, Ф. Лемке, Д. Джордж. Монокристаллитные волокна и армированные ими материалы. М.: Мир, 1973. С.332-378.
6. Д.М. Карпинос. Композиционные материалы: Справочник / Киев: Наукова думка, 1985. С.373-474.
7. А.В. Крупин, С.Н. Калюжин, Е.У. Атабеков, В.Я. Соловьев, М.И. Орлов. Процессы обработки материалов взрывом. Учебное пособие для вузов // М.: Металлургия, 1996. – 336с.
8. Ю.М. Лахтин, В.П. Леонтьева. Материаловедение: Учебник для высших технических заведений. -3-е изд., перераб. и доп.-М.: Машиностроение, 1990.
9. В.И. Лысак, С.В. Кузьмин. Основные схемы и параметры сварки взрывом слоистых композиционных материалов // Сварка взрывом и свойства сварных соединений: Межвузовский сб. науч. тр. ВолгГТУ. – Волгоград, 1998.- С. 3-28
- 10.А. Нейман. Материалы будущего: перспективные материалы для народного хозяйства. Пер. с нем.- Л.: Химия, 1985
- 11.В.А. Перепелицын. Основы технической минералогии и петрографии. Учебное пособие для вузов.- М.: Недра, 1987, 255с.
- 12.В.И. Плескунин, Е.Д. Воронина. Теоретические основы организации и анализа выборочных данных в эксперименте. Учебное пособие/ Л.:ЛЭУ, 1979.- 232с.

- 13.Л.З. Румшинский. Математическая обработка результатов эксперимента. Справочное руководство// М.: Наука, 1971.-192с.
- 14.Э.В. Рыжов, О.А. Горленко. Математические методы в технологических исследованиях/ Киев: Наук. думка, 1990.-184с.
- 15.Е.Р. Томсон, Ф.Д. Лемке. Композиционные материалы с металлической матрицей / Под ред. К. Крейдера. М.:Машиностроение, 1978. Т.4. С110-164
- 16.Дж. Уитон, Э. Скала. Волокнистые композиционные материалы / М.:Металлургия, 1988, 42с
- 17.А. Хасуй. Техника напыления. Перевод с японского С.Л. Масленникова /М.: Машиностроение, 1975, 288с.
- 18.А.А. Черный. Изготовление двухсторонних форм для стопочной заливки на формовочной машине 271.- М.:Литейное производство, 1959.
- 19.А.А. Черный Математическое моделирование в литейном производстве: Учебное пособие / А.А. Черный.-Пенза: Информационно-издательский центр ПГУ, 2007.-192с.
- 20.А.А. Черный. Математическое моделирование при планировании экспериментов на 3х уровнях факторов: Учебное пособие.-Пенза: Информационно-издательский центр ПГУ, 2006.
- 21.С.Т. Юдин, Б.Г. Гринберг. Основы литейного производства.- М.: Трудрезервиздат, 1958, с.74-81.