

Петров А.Ю., Трубкина С.Н., Гилев В.И. (ООО «Вакуумтех»),  
Вертюх С.С., Овчинников М.В. (АО СКБ «Турбина»)  
ООО «Вакуумтех» г. Москва, ул. Плеханова, дом. 4А

## Универсальные кремнезольные связующие материалы на водной основе

При изготовлении деталей методом литья по выплавляемым моделям связующие являются основой для изготовления керамических форм и получения отливок. В статье представлены результаты опробования новых отечественных кремнезольных связующих в условиях машиностроительного предприятия, а также проведен сравнительный анализ технологических свойств отечественных связующих с зарубежными применительно к изготовлению керамических форм для изготовления отливок.

**Ключевые слова:** водные связующие, кремнезольные связующие, литье по выплавляемым моделям, керамическая форма, отливка, ЛВМ.

Binders are the basis for the production of ceramic molds and the production of castings during the production of parts by investment casting. The article presents the results of testing new domestic silica-based binders at machine-building enterprise, as well as a comparative analysis of the technological properties of domestic binders and foreign ones for the production of ceramic molds for the manufacture of castings has been carried out.

**Keywords:** water-based binders, silica-based binders, investment casting, ceramic mold, casting, investment casting.

### Введение

В связи с тем, что в настоящее время большинство ведущих машиностроительных предприятий используют в литейном производстве импортное оборудование, работающее на импортных материалах, в связи с санкциями на российском рынке материалов появились проблемы приобретения зарубежных материалов.

Для решения задач по импортозамещению основных материалов для изготовления отливок методом литья по выплавляемым моделям в компании ООО «Вакуумтех» были проведены исследовательские работы по разработке новых отечественных водных кремнезольных связующих. Разработанные связующие по своим основным физико-химическим, тех-

нологическим свойствам соответствуют зарубежным, что позволит предприятиям без ощутимых дополнительных затрат внедрить разработанные новые связующие в действующие серийные технологии. Дополнительное преимущество использования новых разработанных кремнезольных связующих еще и в том, что их серийное изготовление организовано также в компании ООО «Вакуумтех». Разработанные связующие имеют сертификацию на соответствие всем необходимым нормам с полным комплектом документов (СГР, ТУ, паспорта безопасности химической продукции) и готовы к внедрению в серийное производство.

Специалистами компании ООО «Вакуумтех» совместно со специалистами АО «СКБ Турбина» проведена опытная работа по опробованию новых связующих и сравнительному анализу существующего технологического процесса изготовления керамических оболочковых форм с процессом, разработанным компанией «Вакуумтех» с применением новых связующих отечественного производства в части возможности замены зарубежных связующих на связующие производства компании ООО «Вакуумтех».

На предприятии АО «СКБ Турбина» в 2017 г. был запущен в работу новый современный участок литья по выплавляемым моделям (ЛВМ), который оснащен самым современным технологическим и лабораторным оборудованием, позволяющим применять в производстве отливок новые высококачественные материалы и технологии нового уровня. Существующий серийный технологический процесс изготовления керамических форм при запуске оборудования был разработан и внедрен на основе связующих марки «Primcote®» и системы «Matrixcote» производства компании «Ransom & Randolph».

## Оборудование

Работы по опробованию новых связующих в условиях производства АО «СКБ Турбина» проводились на следующем оборудовании: шприц-машины СТМ 50 WI (Cleveland Tool and Machine Inc, США) для изготовления восковых моделей, роботизированный комплекс Shell-O-Matic (Канада) для изготовления керамических форм, бойлерклав модель 1220 (LBBC Ltd, Великобритания) для выплавки модельного воска, печь для прожига СНО 4×8×2.5/1-И2 (Россия), вакуумная заливочная печь (Россия).

## Описание работы

Для опробования и сравнительного анализа технологических свойств были взяты новые разработанные связующие: связующее для первых слоев марки ВТ-1101П и связующее для последующих слоев марки ВТ-1201В взамен серийно применяемым «Primcote» и «Matrixcote» соответственно.

Основные характеристики новых разработанных связующих представлены в таблице 1.

В состав связующих марок ВТ-1101П и ВТ-1201П кроме основного материала кремнезоля входят дополнительные компоненты, такие как полимер, ПАВ, пеногаситель, добавки, препятствующие гелеобразованию, индикатор для контроля сушки керамических слоев.

В качестве основных технологических свойств для исследований новых связующих марок ВТ-1101П и ВТ-1201П и их сравнительного анализа с применяемыми («Primcote» и системы «Matrixcote») в производстве АО «СКБ Турбина» были выбраны следующие:

- для 1-го слоя: реологические свойства (скорость и равномерность стекания, оформление острых кромок); адгезия (отслоение,

растрескивание); качество сушки слоя, стабилизация суспензии (время за которое суспензия выходит на технологические параметры); совместимость с применяемыми в серийном производстве огнеупорными наполнителями.

- для 2-го и последующих слоев: реологические свойства; стабилизация суспензии; возможность получения равных показателей сырой и горячей прочности по всему объему керамической формы; состояние поверхности керамической формы после удаления модельной композиции и высокотемпературного обжига; стабильность суспензии при длительном использовании.

Работы по опробованию новых связующих проводились в условиях производства АО «СКБ Турбина» специалистами компании «Вакуумтех» совместно со специалистами УГМет АО «СКБ Турбина». Приготовление суспензий для первого и последующих слоев производилось в баках на роботизированном комплексе «Shell-O-Matic». Для суспензии первого слоя были использованы связующее марки ВТ-1101П, наполнитель — электрокорунд (смесь из двух фракций микрошлифпорошков), а также индикатор сушки для визуального контроля. Для второго — связующее марки ВТ-1201В, наполнитель электрокорунд (смесь из двух фракций микрошлифпорошков) и индикатор сушки. Контроль технологических параметров суспензий (условная вязкость, содержание  $\text{SiO}_2$ , содержание твердого остатка и т.д.) проводился в соответствии с существующим технологическим процессом. Для проведения опытных работ по опробованию связующих были изготовлены контрольные образцы из модельных композиций марок КС 3898, Салют-2, ВИАМ МК-1, ЗГВ-103, ПС50-50, серийно применяемых на машиностроительных предприятиях. Перед нанесением керамического покрытия все мо-

Таблица 1  
Основные характеристики связующих марок ВТ-1101П и ВТ-1201П

№ п/п	Основные характеристики связующих	марка ВТ-1101П (для первых слоев)	марка ВТ-1201П (для последующих слоев)
1.	содержание $\text{SiO}_2$ , %	27,5—29,0	21,3—28,8
2.	водородный показатель (pH), ед.	9,2—10,4	9,8—10,5
3.	относительная плотность при $T = 25^\circ\text{C}$	1,17—1,2	1,14—1,18
4.	заряд частиц	отрицательный	отрицательный
5.	содержание $\text{NaOH}$	не определен	$\leq 6500 \text{ ppm}$

1  
2  
3  
4  
5  
6  
7  
8  
9  
10  
11  
12  
13  
14  
15  
16  
17  
18  
19  
20  
21  
22  
23  
24  
25  
26  
27  
28  
29  
30  
31  
32  
33  
34  
35  
36  
37  
38  
39  
40  
41  
42  
43  
44

дели и модельные блоки были обезжириены в соответствии с технологическим процессом с целью оценки реологических и адгезионных свойств суспензии для первого слоя.

Результаты нанесения суспензии на основе связующего марки ВТ-1101П представлены на рисунках 1—2. На восковую модель из модельной композиции марки КС 3898 суспензия наносится без замечаний: наблюдается хорошее оформление всех острых кромок, суспензия растекается ровным слоем по всей поверхности модели, что говорит о высоких реологических свойствах испытуемого материала (рис. 1). Адгезия суспензии к модельным композициям марок Салют-2, ВИАМ МК-1, ПС 50-50, ЗГВ-103, была недостаточной (рис. 2, А), однако после добавления смачивателя в керамическую суспензию наблюдалось значительное улучшение нанесения суспензии (рис. 2, Б).

Данные исследования подтверждают возможность использования новых разработанных связующих с различными модельными композициями, серийно применяемыми на машиностроительных предприятиях.

С целью проведения опытных работ по исследованию свойств новых связующих, влиянию их на качество керамической формы, а также с целью определения возможности получения равных показателей сырой и горячей прочности по всему объему керамической формы, изготовленной с использованием нового связующего марки ВТ-1201В, была изготовлена опытная партия модельных блоков деталей сложной конфигурации — сопловой аппарат и диффузор. Обсыпка керамических слоев и послойная сушка производилась на роботизированном комплексе. Первый слой керамического покрытия (суспензия на основе связующего марки ВТ-1101П) на модельных блоках полностью высох через 1,5 часа (визуальная оценка по индикатору).

При визуальном контроле керамического покрытия на основе связующего ВТ-1201П было определено, что реологические свойства (скорость и равномерность стекания, оформление острых кромок) суспензии для последующих слоев лучше, чем при использовании серийного связующего «Matrixcote». При смачивании и стекании суспензии (во время вращения блоков на роботе) суспензия растекается ровным слоем, наблюдается хорошее оформление острых кромок (рис. 3).



Рис. 1. Общий вид восковой модели из МК КС 3898 с керамическим слоем на основе связующего марки ВТ-1101П

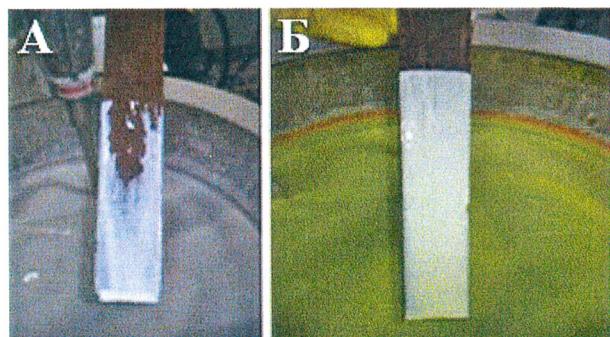


Рис. 2. Общий вид восковой модели из МК ЗГВ-103 с керамическим слоем на основе связующего марки ВТ-1101П до (А) и после (Б) добавления смачивателя в суспензию



Рис. 3. Общий вид модельного блока с нанесенным керамическим слоем суспензии для последующих слоев ВТ-1202В

1  
2  
3  
4  
5  
6  
7  
8  
9  
10  
11



12  
13

Рис. 4. Общий вид керамического блока после окончательной сушки

14  
15  
16  
17  
18  
19  
20  
21  
22  
23  
24  
25  
26  
27

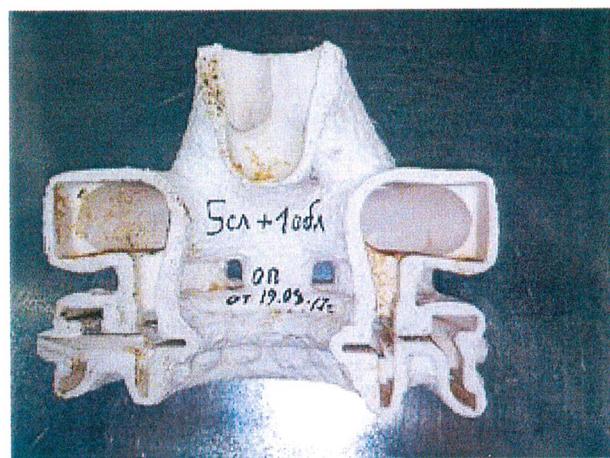


Рис. 5. Общий вид фрагмента керамической формы после разрезания

28  
29  
30  
31  
32  
33  
34  
35  
36  
37  
38  
39  
40  
41  
42  
43  
44

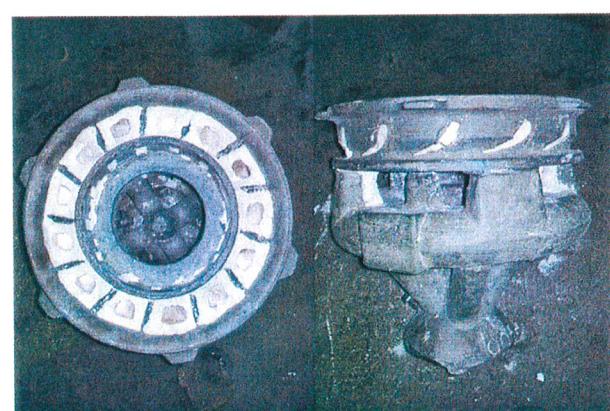


Рис. 6. Общий вид отливки после удаления остатков керамической формы

В процессе сушки каждого последующего слоя полимер в составе связующего, высыхая, образует прочную пленку, которая при нанесении следующего слоя смачивается, но не

размокает. Время сушки одного керамического слоя составило 2,5 ч, время окончательной сушки керамических блоков после нанесения последнего слоя составило 16 ч — данный показатель определялся достижением оптимального значения сырой прочности керамических образцов (рис. 4).

Удаление модельных масс производилась в бойлерклаве LBBC, время выпотки составило 15 м. Качество нанесения керамической формы (блока) после выпотки модельной массы определялось замерами толщины стенок блока после его разрезания (рис. 5). Как видно на рисунке, все кромки оформлены ровно, без ярко выраженных перепадов толщины (толщина формы на острых кромках составляет 5 мм — 8 мм), трещины на форме отсутствуют.

Прокалка и заливка керамических форм производилась по серийному технологическому процессу, действующему на предприятии. После заливки и остывания металла производилась очистка отливок от керамических форм (рис. 6). Остатки керамической формы хорошо растрескивались после охлаждения металла и отбивались с поверхности отливок намного легче, чем серийная керамика на основе «Matrixcote», которая отличается более высокой прочностью и, следовательно, требует дополнительное время на ее отбивку. По существующему технологическому процессу операция удаления керамики проводится в несколько этапов — отбивка керамики, удаление керамических стержней и остатков керамической формы. Данная операция занимает 26—30 ч. Для опытных блоков, изготовленных с использованием универсальных кремнезольных связующих BT1101П и BT1201П, это значение оказалось значительно меньше — всего 12 ч.

Изготовленные отливки опытной партии прошли все виды контроля, согласно серийному технологическому процессу. По результатам всех контрольных операций отливки признаны годными.

По итогам проведенных работ по опробованию новых связующих марок BT-1101П и BT-1201П и сравнительного анализа новых связующих с серийно применяемыми связующими марок «Primcote» и «Matrixcote» получены результаты, представленные в таблице 2.

Таблица 2

**Результаты сравнительного анализа кремнезольных связующих марок «Primcote» и «Matrixcote»  
и кремнезольных связующих марок ВТ-1101П и ВТ-1201В**

Перечень сравнительных характеристик	Серийная технология На основе связующих «Primcote» и «Matrixcote»)	Опытные работы На основе связующих ВТ-1101П и ВТ-1201В
<b>Суспензия для первого слоя</b>		
Реологические свойства	хорошие	хорошие
Адгезия	хорошая	хорошая
Сушка слоя	3–3,5 ч	2 ч
Стабилизация	72 ч	28 ч
Срок службы суспензии	12 месяцев	12 месяцев
Совместимость с существующими огнеупорными наполнителями	совместимо	совместимо
<b>Суспензия для последующих слоев</b>		
Стабилизация суспензии после окончательной корректировки вязкости	72 ч	24 ч
Реология	суспензия быстро впитывается в предыдущий слой; сформировать равномерный слой за одинаковое время невозможно	суспензия покрывает поверхность равномерно без <свертывания>?, растекается по блоку более длительное время, за счет чего, есть возможность сформировать равномерный слой
Сушка слоя	3–3,5 ч	2–2,5 ч
Окончательная сушка перед удалением модельной массы	24 ч	12 ч
Срока службы суспензии	12 месяцев	12 месяцев
Удаление модельной массы в бойлерклаве	без замечаний	без замечаний
Сырая прочность керамических образцов	22,5 кгс/см <sup>2</sup>	33 кгс/см <sup>2</sup>
Прочность керамических образцов после высокотемпературного обжига Т 1050 °С	90 кгс/см <sup>2</sup>	68 кгс/см <sup>2</sup>
Наличие дефектов на керамической форме после обжига	Треции и отслоений слоев на форме не выявлено	Треции и отслоений слоев на форме не выявлено
Удаление остатков керамической формы	Керамика более прочная, требует дополнительной трудоемкости	Керамика податливая, не требует дополнительной трудоемкости

## Выводы

Анализ полученных результатов опытной работы по опробованию разработанных новых связующих показал, что связующие марки ВТ-1101П и ВТ-1201П не уступают по своим технологическим свойствам зарубежным связующим «Primcote» и «Matrixcote», а по ряду показателей даже превосходят их, причем связующие ВТ-1101П и ВТ-1201П являются уже готовыми продуктами, которые не требуют дополнительных подготовительных операций перед использованием, и по технологическим свойствам являются полноценной заменой связующих «Primcote» и «Matrixcote».

Результаты проведенной работы также показали, что разработанные отечественные

связующие марки ВТ-1101П и ВТ-1201П возможно использовать в серийном технологическом процессе изготовления керамических форм как полноценные аналоги зарубежных и рекомендуются для предприятий, работающих на водных кремнезольных связующих.

## Благодарности

Мы благодарим АО «СКБ Турбина» (Россия, Челябинск) за предоставление возможности проведения и технологического сопровождения опытной работы по опробованию новых связующих марок ВТ-1101П и ВТ-1201П в условиях своего производства.