И. О. Леушин, А. Ю. Субботин, Д. А. Горохов

**ПРОПИТКА ПОРИСТОГО МЕТАЛЛИЧЕСКОГО ЛИТЬЯ
ПОЛИМЕРНЫМИ МАТЕРИАЛАМИ: СОВРЕМЕННЫЕ ТРЕНДЫ**

Нижегородский государственный технический университет им. Р. Е. Алексеева

(федеральный опорный университет), Нижний Новгород

e-mail: igoleu@yandex.ru, an_s_temp@mail.ru, denisgorokhov57@gmail.com.

Рассматриваются современные герметизирующие материалы для пропитки литых деталей, а также виды литейных дефектов, требующие такой обработки. Приведена блок-схема пропитки, описаны ее операции. Предлагается классификация современных методов пропитки отливок полимерными материалами, изложены результаты их сравнительной оценки. Наибольший практический интерес у производителей вызывает метод пропитки «влажный вакуум/давление» в сочетании с использованием пропитывающего состава Loctite Resinol 88 C. Это объясняется наилучшим сочетанием цены и качества герметика, а также тем фактом, что данный пропитывающий состав выдерживает самую высокую температуру (250 °C) по сравнению с аналогами и характеризуется самым низким расходом при обработке изделий (1,5г/кг).

Ключевые слова: отливка, дефект отливки, пропитка, полимер, герметик.

I. O. Leushin, A. U. Subbotin, D. A. Gorokhov

**IMPREGNATION OF POROUS METAL CASTING
WITH POLYMER COMPOSITIONS: CURRENT TRENDS**

Nizhniy Novgorod State Technical University named after R. E. Alekseev, Nizhny Novgorod

Modern sealing materials for impregnation of cast parts are considered, as well as types of casting defects that require such processing. The block diagram of impregnation is given, its operations are described. A classification of modern methods of impregnation of castings with polymer materials is proposed, and the results of their comparative evaluation are presented. The most practical interest among manufacturers is the method of impregnation

«wet vacuum / pressure» in combination with the use of the impregnating composition Loctite Resinol 88 C. This is due to the best combination of price and quality of the sealant, as well as the fact that this impregnating compound can withstand the highest temperature (250 °C) compared to its analogues and is characterized by the lowest consumption when processing products (1.5 g/kg).

Keywords: casting, casting defect, impregnation, polymer, sealant.

Актуальной проблемой является устранение дефектов литья в виде несплошностей тела отливки и, в частности, открытой пористости, выходящей на поверхность литой заготовки и далее детали после механической обработки. Такими дефектами являются:

межкристаллическая трещина – дефект в виде разрыва тела отливки при ее охлаждении в форме по границам первичных зерен аустенита в температурном интервале его распада;

объемная газовая раковина – дефект в виде полости, образованной выделившимися из металла или внедрившимися в металл газами;

усадочная пористость – дефект в виде мелких пор, образовавшихся вследствие усадки металла во время его затвердевания при недостаточном питании отливки;

газовая пористость – дефект в виде мелких пор, образовавшихся в отливке в результате выделения газов из металла при его затвердевании [1].

Дефекты в литых заготовках, как правило, приводят к ухудшению характеристик деталей и узлов машин, вплоть до их полной непригодности к эксплуатации. Дефекты в виде пористости структуры деталей (отливок, штамповок) требуют применения особых технологических приемов и материалов для их ликвидации [2].

На сегодняшний день на российских предприятиях для решения этой проблемы широкое применение нашли многочисленные варианты пропитки отливок различными герметизирующими составами.

Пропитка литья производится с целью «залечивания» микропор, усадочных раковин и микротрещин в металлических отливках (сталь, чугун, цветные сплавы, титан), синтетических материалах, керамике, композитных материалах и деталях с гальваническим покрытием.

Наиболее распространена пропитка полимерными материалами (композициями), чаще всего анаэробными (не требующими присутствия кислорода) или термоотверждаемыми смо-

лами, позволяющая разрабатывать и изготавливать легкие, тонкостенные отливки и штампованные детали для использования в условиях повышенного давления газа и (или) жидкости, не уступающие по своим эксплуатационным характеристикам цельнометаллическим «сплошным» прототипам. В процессе эксплуатации изделия отвердевший пропитывающий продукт успешно противостоит воздействию химически активных жидкостей, газов, масел и смазок, кислот и топлива [3].

Процесс пропитки деталей полимерными материалами (герметиками) не вызывает их повреждения, изменения геометрических и прочностных характеристик, а также коррозии или окисления. После пропитки детали могут передаваться на сборку без дополнительной обработки.

Выбор полимерных материалов (герметиков) для пропитки определяется прежде всего условиями работы конечного изделия (температура, давление, характер нагрузки). В настоящее время на предприятиях для пропитки применяются полимерные материалы (герметики) следующих групп:

- 1) материалы, полимеризующиеся на воздухе;
- 2) материалы, полимеризующиеся в горячей воде;
- 3) материалы, полимеризующиеся в печи.

В табл. 1 представлены характеристики современных полимерных материалов (герметиков) для пропитки отливок.

Данные составы значительно превосходят традиционные материалы (жидкое стекло, бакелитовый лак) по стойкости к растворителям и повышенным температурам [4]. При этом диапазон рабочих температур эксплуатации пропитанных деталей составляет от –90 °C до +250 °C.

Пропитка анаэробными составами помогает сохранить режущие кромки инструмента и значительно продлевает срок его службы. Без пропитки режущие кромки инструмента «салятся» в результате ударных нагрузок, возникающих из-за наличия микропустот в объеме детали [3].

Таблица 1

Современные полимерные материалы (герметики) для пропитки отливок

Торговая марка	Химическая основа	Интервал рабочих температур	Полимеризация	Размер дефектов	Расход		Примерная цена, руб/кг
					цветное литье	сталь, чугун	
Группа 1							
Анакрол 204	Полиэфирди-метакрилат	От –90 °С до 150 °С	На воздухе от 15 °С	До 0,20 мм	6г/кг	4,5г/кг	3500
Анакрол 2501	Акриловый полимер	От –60 °С до 250 °С	На воздухе от 15 °С	До 0,15 мм	4г/кг	2г/кг	6500
Группа 2							
UltrasealPC 504	Акриловое волокно	От –50 °С до 220 °С	В воде при (40±5) °С или в печи>80 °С	До 0,20 мм	4г/кг	2г/кг	1000
Rite-LokAnaseal HC90	Полиэфирди-метакрилат	От –80 °С до 150 °С	В воде при (40±5) °С или в печи>80 °С	До 0,15 мм	5г/кг	3,5г/кг	1600
Группа 3							
Loctite Resinol 88 C	Метакрилатэ-стер	От –90 °С до 250 °С	В печи при 85 °С	До 0,25 мм	3,5г/кг	1,5г/кг	1150
Анакрол-90	Полиэфирди-метакрилат	От –60 °С до 220 °С	В печи при (95±5) °С	До 0,20 мм	3,5г/кг	1,5г/кг	1400

В общем случае пропитка отливок проводится после их отделения от литниковой системы и подготовки к входной проверке на герметичность и включает в себя несколько основных операций (рис. 1):

Рис. 1. Основные операции при пропитке отливок (блок-схема)

1. Входная проверка на герметичность

Герметичность отливок проверяют водой, маслом, керосином или воздухом, которые под давлением поступают в полость отливки и вы-

держиваются там определенное время. При проверке жидкостью о негерметичности отливки судят по появлению жидкости на наружной поверхности. При испытании воздухом закупоренную отливку помещают в воду или обмазывают мылом. В месте утечки воздуха образуются пузыри.

2. Загрузка в емкость для герметизации

Емкость для герметизации представляет собой корзину, в которую помещают литые детали после механической обработки.

3. Обработка герметизирующим составом

Корзину с литыми деталями помещают в автоклав с герметизирующим составом, затем автоклав закрывается и создается вакуум (250–1500 Па) для удаления воздуха из пор. Затем в автоклав подается герметизирующий состав, чтобы затопить им детали. После чего выдерживают детали под вакуумом в течение 15–20 минут. Далее нужно сбросить вакуум, создать в автоклаве с деталями давление 0,5–0,6 мПа при помощи сжатого воздуха и держать детали под давлением в течение 5–10 минут. В конце операции необходимо сбросить давление и слить смолу из автоклава в емкость для хранения.

4. Промывка

Для промывки деталей нужно вынуть корзину с деталями из автоклава и поместить в центрифугу для сбора смолы, унесенной деталями, затем вынуть корзину с деталями из

центрифуги и поместить на вибратор в проточную емкость для промывки, далее промыть детали в проточной воде (температура 15–30 °С) при включенном вибраторе и барботаже в течение 5–15 минут. В конце операции необходимо вынуть корзину с деталями из промывной емкости и поместить в емкость для полимеризации.

5. Сушка

Для выполнения операции необходимо вынуть корзину с деталями из промывной емкости и поместить в емкость для полимеризации, затем выдержать детали в горячей воде (90–95 °С)

в течение 5–25 минут. В конце операции поместить корзину в сушильный шкаф или оставить детали при комнатной температуре до полного высыхания.

Для повышения качества отливок и снижения затрат на технологический процесс пропитки микропористости литья используются несколько методов пропитки [5].

Учитывая тот факт, что известные методы пропитки полимерными материалами все же имеют свою специфику, их можно классифицировать следующим образом:

Рис. 2. Методы пропитки микропористости литья

1. Пропитка деталей по методу «сухой вакуум/давление»

Для пропитки деталей требуется линия, включающая следующие аппараты и оборудование: автоклав; центрифугу, соединенную с автоклавом; емкость для пропитывающего состава; проточную емкость для промывки, оборудованную барботером (для перемешивания воды воздухом во время промывки) и вибратором для встряхивания корзины с деталями; емкость для полимеризации, оборудованную системой нагрева и поддержания температуры на уровне 90–95 °С; вакуумный насос; компрессор; систему вытяжной вентиляции, состоящую из бортовых отсосов и зонтов.

Суть метода заключается в том, что детали загружают в корзину, которую помещают в автоклав, после чего в автоклаве создается вакуум и из емкости для хранения герметик начина-

ет поступать в полость с деталями, вследствие чего он начинает заполнять поры. После выдержки вакуум сбрасывается и детали выдерживаются под атмосферным давлением. Затем производится промывка деталей в центрифуге и загрузка в емкость для полимеризации.

Вышеуказанным методом пользуются при пропитке герметиками с высокой вязкостью, таких как Анакрол 204.

К недостаткам метода можно отнести то, что пропитка деталей с его использованием является самой медленной и наиболее сложной.

2. Пропитка деталей по методу «влажный вакуум/давление»

Для пропитки деталей требуется то же оборудование, что и для метода «сухой вакуум/давление».

Метод пропитки по методу «влажный вакуум/давление» отличается от метода «сухой ва-

куум/давление» только отсутствием специальной емкости для хранения смолы, которая в данном случае постоянно находится в автоклаве.

Метод применяется для герметизации деталей, изготовленных методами порошковой металлургии, а также ответственных литых изделий, имеющих бутылкообразные, мелкие и преимущественно глухие поры при мелко- и среднесерийном регулярно загруженном производстве.

Для него подходят все герметики из числа представленных в табл. 1.

3. Пропитка деталей по методу «влажный вакуум»

Для пропитки деталей требуется то же оборудование, что и для метода «сухой вакуум/давление».

Пропитка по этому методу является самой простой и быстрой среди методов вакуумной пропитки. Она подобна методу «влажный вакуум/давление» за исключением того, что в бак не подается давление. Вместо этого после стадии вакуумирования бак просто подвергается постоянному обдуву атмосферным воздухом. Проникновение герметика внутрь деталей происходит под действием атмосферного давления. Пропиточная смола заполняет поры металла под действием разряжения, созданного вакуумом.

Простота реализации метода наряду с высокой скоростью и низкой трудоемкостью операций служат решающим фактором выбора в его пользу. Метод наиболее широко распространен в практике работы отечественных предприятий.

4. Пропитка деталей по методу «сухой вакуум»

Для пропитки деталей требуется то же оборудование, что и для метода «сухой вакуум/давление».

Метод похож на предыдущие за исключением того, что после слива смолы из автоклава через механический фильтр в емкость для хранения смолу в емкости для хранения подвергают барботированию сухим воздухом в течение 15–30 минут.

Метод применяется для герметизации деталей, изготовленных методами порошковой металлургии, а также литых изделий, имеющих не очень мелкие поры, в условиях мелко- и среднесерийного регулярно загруженного производства.

5. Пропитка деталей методом окунания или локального нанесения

Именно при таком методе пропитки наиболее явно проявляется главное преимущество анаэробных пропитывающих смол: отвержде-

ние при комнатной температуре. Для этого пропитанные детали выдерживают на воздухе в течение 3–24 часов, а затем передают на следующие операции.

Для локального нанесения не требуется монтаж специального оборудования. Пропитываемая смола наносится на предварительно очищенную, вымытую и высушенную поверхность при помощи кисти, тампона, поролоновой подушки, смоченной смолой, или пистолета. Для пропитки методом окунания необходима емкость, в которую поместится пропитываемая деталь или технологическая корзина. Остаток пропитывающей смолы смывается с деталей водой любым приемлемым способом.

Недостатком метода является то, что таким образом удастся герметизировать в основном детали исключительно со сквозными порами среднего и крупного размера, хорошо смачиваемыми пропитывающей смолой.

6. Пропитка деталей анаэробными смолами

Применение вакуумных методов пропитки далеко не всегда возможно и реализуемо только с модернизацией конструкции емкости для хранения смолы: производится монтаж барботера для насыщения смолы кислородом воздуха после каждого цикла вакуумирования и периодического при хранении.

Более высокая стоимость анаэробных смол и повышенные требования к чистоте и культуре производства в местах их применения, по сравнению с термоотверждаемыми, делают экономически целесообразным их использование главным образом для пропитки изделий порошковой металлургии.

Способность к отверждению без внешнего нагрева позволяет анаэробной композиции конкурировать с термоотверждаемой смолой при пропитке методами окунания и локального нанесения в штучном, мелко- и среднесерийном производстве при обработке смачиваемого анаэробной смолой литья со сквозными или преимущественно неглухими порами [6].

В табл. 2 представлены результаты проведенного авторами статьи сравнительного анализа методов.

Наибольший практический интерес у производителей вызывает метод пропитки «влажный вакуум/давление» в сочетании с использованием пропитывающего состава Loctite Resinol 88 C.

Это во многом объясняется наилучшим сочетанием цены и качества герметика, а также тем фактом, что данный пропитывающий со-

став выдерживает самую высокую температуру (250 °С) по сравнению с аналогами и характе-

ризуется самым низким расходом при обработке изделий (1,5г/кг).

Таблица 2

Сравнение современных методов пропитки литья полимерными материалами

Название метода	Достоинства	Недостатки
«Сухой вакуум/давление»	– применяется для герметизации деталей, изготовленных методами порошковой металлургии; – хорошо подходит для массового производства	– медленный; – сложный
«Влажный вакуум»	– простой; – быстрый; – распространенный	– нельзя пропитать детали, которые не смачиваются или плохо смачиваются пропитывающей смолой, а также детали, в которых имеются бутылкообразные поры
«Влажный вакуум/давление»	– применяется для герметизации деталей, изготовленных методами порошковой металлургии; – применяется для ответственных литых изделий, имеющих бутылкообразные, мелкие и преимущественно глухие поры; – применяется меньше оборудования для реализации способа по сравнению со способами этой категории	– применяется только в мелко- и среднесерийном регулярно загруженном производстве
«Сухой вакуум»	– применяется для герметизации деталей, изготовленных методами порошковой металлургии	– применяется при герметизации литых изделий, имеющих не очень мелкие поры; – применяется при мелко- и среднесерийном регулярно загруженном производстве
Окунание или локальное нанесение	– применяется для пропитки изделий порошковой металлургии и деталей, выплавленных из вторичного алюминия; – применяется в качестве промежуточной операции перед нанесением защитных гальванических и декоративных лакокрасочных покрытий на пористые детали	– удастся герметизировать в основном детали со сквозными порами среднего и крупного размера, хорошо смачивающимися пропитывающей смолой
Пропитка анаэробными смолами	– применяется для пропитки изделий порошковой металлургии	– высокая стоимость анаэробных смол; – повышенные требования к чистоте и культуре производства в местах их применения, по сравнению с термоотверждаемыми

Его преимуществами являются:

– автоматизация и унификация способа пропитки для изделий из различных материалов, что положительно влияет на качество пропитки и производительность;

– возможность передачи деталей после завершения пропитки на сборочные операции, без какой-либо дополнительной обработки;

– возможность очистки и травления при окончательной обработке изделий;

– возможность нанесения гальванических, лакокрасочных покрытий после операции пропитки литья;

– высокая стойкость отвержденного пропитываемого продукта в процессе эксплуатации

к воздействию химически активных жидкостей, газов, масел и смазок, кислот и топлива;

– возможность эксплуатации пропитанных деталей в диапазоне рабочих температур от –90 °С до +250 °С [7].

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Воронин, Ю. Ф. Атлас литейных дефектов. Черные сплавы / Ю. Ф. Воронин, В. А. Камаев. – М., Машиностроение-1, 2005. – 327 с.
2. Евсеев, В. И. Некоторые аспекты деятельности промышленных предприятий в кризисный период: проблемы и возможности / В. И. Евсеев // Индустрия. – 2009. – № 2. – С. 43–45.
3. Евсеев, В. И. Исправление дефектов литья и герметизация пористости деталей / В. И. Евсеев, С. В. Ткаченко // Технологии. – 2012. – № 12.

4. Wilfred H. Barbeau, John Cocco, Simon Cowdrey, S. Kyle Eales [и др.] «Loctite Worldwide Design Handbook». Справочник. – 2-е изд., доп. – Munich, Germany. Loctite European Group, 1998.

5. Фундаментальная электронная библиотека [Электронный ресурс]. – Режим доступа : http://www.alteh.com/suhoi_vakuum.html

6. Гончаров, А. Б. Технологии устранения дефектов корпусных деталей анаэробными материалами /

А. Б. Гончаров, А. Б. Тулинов, А. В. Шубенков, А. А. Корнеев // Научно-теоретические проблемы современного российского общества : Материалы 1-й научно-технической конференции аспирантов и молодых ученых / МГУС. – М., 2006.

7. Евсеев, В. И. Литейно-механический технопарк – как инструмент модернизации реального сектора экономики / В. И. Евсеев, А. А. Ищенко // Индустрия. – 2009. – № 3. – С. 13–15.