

# Механіка, машинознавство та електропостачання

УДК 669.678.026

В.В. Ильевский, О.Е. Иванов, В.В. Косенко, А.В. Ряховский

ГП «Харьковский НИИ технологии машиностроения», Харьков

## СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ТЕХНОЛОГИИ ВАКУУМНО-КОМПРЕССИОННОЙ ПРОПИТКИ ЛИТЫХ ДЕТАЛЕЙ

*Рассмотрены существующие способы и технологические возможности герметизации литых деталей предложенным методом вакуумно-компрессионной пропитки после их окончательной механической обработки.*

**Ключевые слова:** литейное производство, дефекты литья, герметичность изделий, микропористость, вакуумно-компрессионная пропитка деталей, силикаты натрия, полиэфирные и метакрилатные смолы.

### Введение

Одной из серьезных проблем отечественной промышленности, которые определенным образом влияют на эффективность любого вида производства, являются высокие производственные издержки [1].

Как известно, литейное производство – одно из важнейших звеньев в технологическом процессе машиностроительного производства. Современное тяжелое состояние литейного производства побуждает руководителей и специалистов, озабоченных качеством продукции машиностроительных и литейно-механических предприятий, искать пути повышения качества продукции и снижения производственных затрат, в частности, за счет существенного сокращения брака. Дефекты в литых заготовках, как правило, приводят к ухудшению характеристик деталей и узлов машин, вплоть до их полной непригодности к эксплуатации.

По отдельным видам изделий брак в литье может достигать 70%, что сказывается на увеличении себестоимости продукции, энергоемкости и сроках исполнения заказа. Значительная номенклатура материалов (малоуглеродистая и нержавеющая сталь, бронза, латунь, титан, чугун, сплавы на основе алюминия и магния) требует разработки специальных технологий и средств технологического оснащения для снижения брака применительно к каждому материалу [2].

При создании изделий машиностроения предпочтение отдается легким и надежным конструкциям из цветных металлов и металлокерамики, вытесняющим тяжелое литье из серого чугуна и стали. Уменьшение веса можно достичь также за счет уменьшения толщины стенок корпусных деталей, поэтому при разработке новых машин размеры стенок рассчитываются из условий прочности. Цветные сплавы обладают такими свойствами, которые позволяют создавать тонкостенные корпусные литые

детали геометрически сложной формы с большим количеством отверстий и каналов, необходимых для современных машин и аппаратов.

Но выполняя условие прочности, нельзя забывать, что детали должны удовлетворять и условиям герметичности. Производство литых корпусных деталей, совершенно не имеющих пор и микротрещин невозможно без больших технических затрат. Кроме того, поры и микротрещины вскрываются, как правило, после механической обработки, а нередко и сборки, на последнем этапе стендовых испытаний. Дефекты в виде пористости структуры деталей (отливок, штамповок) требуют применения особых технологических приемов и материалов для их ликвидации.

### Основной раздел

#### Анализ существующих методов исправления дефектов литья

В литых деталях и заготовках существуют макро- и микропористость. В первом случае детали подлежат восстановлению с использованием эпоксидных композиций и шпатлевок, так как пустоты бывают настолько велики, что воздействуют на структурную прочность и целостность изделия [3]. Микропористость не воздействует на эти параметры и является естественным результатом двух физических процессов, проявляющихся при кристаллизации жидких металлов – усадки и абсорбции газа.

Процессы исправления дефектов литья в настоящее время регламентируются отраслевыми стандартами, которые, в основном, распространяются на отливки из цветных сплавов на основе меди, алюминия и магния [4 – 6]. В настоящее время в промышленности для устранения нарушений герметичности применяется много пропиточных составов и большое количество примитивного пропиточного оборудования, не решающие проблему герметизации деталей по порам и микротрещинам. Наибольшее распространение получили пропитывающие соста-

вы на основе силиката натрия (так называемое «жидкое стекло») и насыщенных полиэфиров.

Силикаты натрия (самые дешевые из пропиточных составов) отверждаются при комнатной температуре. Их несложно хранить, они обеспечивают уплотнение при температуре порядка 465°С, растворимы в воде и характеризуются устойчивостью к воздействию многих растворителей, таких как масла, кислоты и щелочи. В качестве наполнителя в них часто вводится металлический порошок, что позволяет улучшить их уплотняющие свойства. Расход «жидкого стекла» составляет 30 – 50 г на 1 кг литых деталей.

Однако указанный процесс характеризуется большим производственным циклом. Для того чтобы тяжелые силикаты натрия могли проникнуть в поры, требуется длительно применять давление. Эти материалы также характеризуются низким содержанием твердых частиц (60% составляют частицы, 40% – вода). Ввиду этого, пропиточный раствор уменьшается в объеме по мере испарения воды при отверждении (полный цикл отверждения, как правило, занимает от 6 часов до нескольких дней). Вследствие потери воды уплотнение часто нарушается, и цикл пропитки необходимо повторять многократно, пока не будет достигнута требуемая герметичность. Одним из недостатков является запыление этим составом резьбовых отверстий и каналов тонкого сечения, что требует дополнительных затрат на калибровку резьбы и очистку каналов.

Следующим, по применимости в области пропиточных процессов, является использование полиэфирных смол. Они более дорогостоящие (в 6 – 10 раз дороже, чем силикаты). Эти смолы характеризуются очень хорошей химической стойкостью и могут заполнять поры до 0,2 мм.

Однако многие полиэфирные смолы разбавляются токсичными растворителями, для чего требуется хорошая вентиляция. Серьезную дорогостоящую проблему представляет обработка соответствующих отходов, которые необходимо утилизировать в специальных установках и нейтрализовать, применяя сложные процессы обработки в заводских условиях.

Высокая вязкость смол (как правило, 1000 – 3000 сПз) обуславливает необходимость применения продолжительных циклов вакуумирования, обеспечивающих проникновение вязкого материала в поры [7, 8]. Кроме того, эти смолы характеризуются значительным временем теплового отверждения при температуре до 135°С. Обычно отверждение длится от 1 до 2 часов в печи и от 30 до 60 минут в масляной ванне при той же температуре (стоимость масла почти равна стоимости смолы). Нагревание также достаточно дорого. Оно приводит к утечкам смолы и неприятным загрязненным условиям работы. Много времени требуется для нагрева и охлаждения деталей до температуры, позволяющей проведение их последующей обработки.

В качестве примера рассмотрим процесс про-

питки литых деталей бакелитовым лаком. Эта технология допускается на изделиях, работающих в морской и пресной воде, в среде нефти, масла или пара при температуре не выше 130°С. Пропитка осуществляется на участке бакелитовой пропитки, где исправляются дефекты корпусных конструкций, не выдержавших гидравлические испытания. Пропитка лаком ЛБС-1 по ГОСТ 901-78 выполняется в специальном автоклаве под давлением с последующей промывкой этиловым спиртом и сушкой. Оборудование участка состоит из автоклавов, сушильных шкафов, ванн промывки пропитанных бакелитовым лаком деталей.

Для односторонней пропитки используют стол с вытяжной вентиляцией, со сливным баком и приспособлениями с заглушками, обеспечивающими герметичность отверстий в отливках. Подача лака в отливку осуществляется с применением специального гидравлического стенда. Всесторонняя пропитка требует использование автоклава в комплекте с вакуумным насосом для создания предварительного вакуума в автоклаве. Последующую термическую обработку деталей после исправления выполняют в печах с автоматическим поддержанием температуры.

При односторонней пропитке в полость подается бакелитовый лак и после полного заполнения и герметизации внутреннего объема изделия создается ступенчатое давление пропиточной среды с необходимой выдержкой во времени. Лак сливают, и деталь подается на просушку.

Отливки, требующие всесторонней пропитки, предварительно просушивают и охлаждают, помещают в автоклав и выдерживают при определенном вакууме. Затем изделия заливают бакелитовым лаком и создают давление от 0,8 до 1,0 МПа, после этого их выгружают из автоклава и подвергают термической обработке.

Недостатки регламентированных сегодня методов ликвидации пористости состоят в следующем:

1. Они распространяются только на отливки, изготовленные из цветных сплавов;
2. Требуют постоянного операционного контроля (начиная с контроля плотности пропитываемого состава);
3. Требуют дополнительной оснастки (заглушек и т.д.) для каждого типа отливки;
4. Имеют низкую производительность и качество пропитки, значительную продолжительность и трудоемкость операции пропитки, высокие энергетические затраты;
5. Требуют дополнительной механической обработки после пропитки для удаления пленок и натеков лака;
6. Изделия, пропитанные бакелитовым лаком, имеют ограничения по температуре эксплуатации.

Пропитываемые материалы, применяемые в отечественной практике (в основном различные композиции на основе «жидкого стекла» и полиэфирных

смола, модифицированных стиролом, в том числе бакелитовый лак), часто не устраивают производителей, так как они загрязняют поверхности деталей, не обеспечивают должной герметизации, имеют недостаточный срок службы, токсичны.

**Цель и постановка задачи.** Для герметизации разрабатываемых и изготавливаемых легких, тонкостенных отливок и штампованных деталей, работающих в условиях повышенного давления жидкости и (или) газа, не уступающим по своим эксплуатационным характеристикам металлоемким прототипам, необходимы новые технологии вакуумной пропитки на основе полимерных материалов (анаэробных смол). Пористые детали, изготовленные методом литья или порошковой металлургии, должны быть надежно герметизированы, чтобы, не опасаясь утечки, их можно было применять в гидравлических и газовых системах. Однако в Украине и странах СНГ нет предприятий по разработке и серийному изготовлению вакуумного оборудования для герметизации деталей анаэробными полимерными герметиками.

#### Решение задачи

Специалисты Государственного предприятия «Харьковский научно-исследовательский институт технологии машиностроения» разработали и изготовили технологию и оборудование для вакуумной пропитки литых деталей метакрилатными смолами. На сегодняшний день на машиностроительных заводах внедрены и работают линии вакуумно-компрессионной пропитки модульного типа с объемами камеры пропитки 60, 200 и 1000 дм<sup>3</sup> [9].

Метакрилатные смолы являются самыми дорогими материалами из всех герметиков, применяемых для пропитки негерметичных литых деталей. Однако расход этого пропиточного герметика составляет 3 – 5 г на 1 кг литья, что значительно ниже, чем при пропитке силикатами натрия и полиэфирными смолами. Вследствие низкой вязкости метакрилатных смол (7 – 10 сПз) и капиллярного эффекта, ими можно без трудностей уплотнять очень мелкие поры и микротрещины. Метакрилатные смолы нетоксичны, биоразлагаемы, их применение не требует дополнительных затрат на создание очистных сооружений.

Скорость и простота процесса, и, прежде всего, надежность анаэробного пропитывающего полимерного материала завоевали популярность для технологии пропитки. Метакрилатная смола (пропитывающая композиция ПК-80) является идеальным материалом для герметизации деталей, прошедших окончательную механическую обработку, самых различных форм из различных материалов.

Процесс герметизации полимерным материалом можно назвать самым чистым, безопасным, быстрым, энергосберегающим, современным пропиточным процессом, требующим минимальных производственных площадей, характеризующийся отверждением при температуре подогрева воды  $94 \pm 3 \text{eC}$  и максимальной глубиной проникновения состава.

Вакуумно-компрессионная линия, приведенная на рис. 1, состоит из 5 автономных модульных блоков с ручным или автоматическим управлением. В состав линии входят:

- модульный блок для хранения пропитывающей композиции с постоянным аэрированием герметика с целью предотвращения преждевременного затвердевания жидкой фазы в баке и трубопроводах;
- вакуумный модуль для сухого и мокрого вакуумирования деталей с микродефектами;
- модуль промывки деталей, в состав которого входит два бака.



Рис. 1. Вакуумно-компрессионная линия

Готовые к пропитке детали загружаются в кассету, которая помещается в пропиточную камеру, где создается вакуум. Камера заполняется пропиточной композицией ПК-80 и погруженные в герметик детали выдерживаются в течение 15 минут, после чего в камере создается избыточное давление, под действием которого герметик сливается в расходный бак.

Кассета с деталями из вакуумной камеры помещается в промывочный бак с раствором моющего средства в воде, где обеспечивается его перемешивание с целью удаления оставшегося пропиточного материала и очистки поверхности деталей и резьбовых отверстий. Затем кассета с деталями перемещается во второй бак и прополаскивается в теплой воде.

После прополаскивания в теплой воде кассета с деталями помещается в модуль полимеризации, где и происходит отверждение полимерного материала в порах и микротрещинах. Весь производственный цикл пропитки, не считая времени, необходимого для перемещения кассеты с деталями, в среднем занимает 15 – 20 минут. Необходимо заметить, что пока детали герметизируются в вакуумном модуле, осуществляется загрузка и разгрузка второй кассеты. Процесс пропитки деталей не вызывает их повреждений с изменением геометрических и прочностных характеристик, а также коррозии или окисления. После пропитки детали могут подаваться на сборку без дополнительной обработки, отверстия и мелкие резьбы не забиваются смолой. В процессе эксплуатации отвердевший герметик противостоит воздействию химически активных жидкостей, газов, масел и смазок, кислот и топлива, смазочно-охлаждающих эмульсий, очистителей и других веществ, которые применяются в автомобильной, судостроительной, аэрокосмической, электронной и других отраслях промышленности.

На окончательном этапе проводится центрифугирование для удаления пропиточного материала с поверхности деталей, что позволяет достичь малых расходов ПК-80 (3 г на 1 кг литья из алюминиевых сплавов) и снижает его перенос в модуль с моющим раствором. Экономия пропиточного герметика окупает центрифугу за 3 – 4 месяца эксплуатации. Кроме того, введение центрифуги в состав линии вакуумно-компрессионной пропитки повышает чистоту поверхности деталей. Случаи негерметичности деталей после пропитки настолько редки, что зачастую сами отливки не подвергаются испытаниям на утечку до сборки готового узла. Некоторые потребители предпочитают сохранить свое производственное оборудование, предназначенное для пропитки полиэфирными смолами или силикатом натрия с целью использования его под пропитку деталей анаэробными герметиками. Для систем, работающих с силикатом натрия, переоборудование осуществляется просто: к системе дополнительно добавляется модуль полимеризации для отверждения в горячей воде. Введение дополнительного оборудования компенсируется получением пропиточной системы с одной пропиткой деталей и 1/8 расхода анаэробного герметика (по сравнению с силикатом натрия).

### Выводы

Сравнивая существующие в настоящее время методы исправления дефектов литья и вновь разрабатываемые технологии для вакуумно-компрессионной пропитки метакрилатными смолами, можно сделать вывод о явных преимуществах последних:

- возможность полностью исключить потери от брака литых деталей с размерами микротрещин от 0,01 мм до 0,5 мм;
- устранение негерметичности в сварных и паяных изделиях;
- простота обслуживания и контроль качества при полной экологической безопасности;
- автоматизация и унификация способа пропитки для изделий из различных материалов, что положительно влияет на качество пропитки и производительность;
- возможность очистки и травления при окончательной обработке изделий; нанесение лакокрасочных и гальванических покрытий после операции пропитки литья;
- возможность передачи деталей после пропитки на сборочные операции без какой-либо дополнительной обработки;

### СТАН І ПЕРСПЕКТИВИ РОЗВИТКУ ТЕХНОЛОГІЇ ВАКУУМНО-КОМПРЕСІЙНОГО ПРОСОЧЕННЯ ЛИТИХ ДЕТАЛЕЙ

В.В. Ільєвський, О.С. Іванов, В.В. Косенко, А.В. Ряховський

*Розглянуто існуючі способи і технологічні можливості герметизації литих деталей запропонованим методом вакуумно-компресійної просочення після їх остаточної механічної обробки.*

**Ключові слова:** ливарне виробництво, дефекти литва, силікати натрію, поліефірні і метакрилатні смоли.

### STATE AND PROSPECTS OF TECHNOLOGY DEVELOPMENT OF IMPREGNATION THE CAST DETAILS VACUUM COMPRESSION

V.V. Il'evskiy, O.Ye. Ivanov, V.V. Kosenko, A.V. Ryakhovskiy

*The current methods and technological opportunities of the sealing of cast details of the proposed methods of vacuum-compression impregnation after their final machining.*

**Keywords:** casting production, defects of casting, silicates of sodium, polyester and methacrylate resins.

– высокая стойкость отвержденного пропитывающего продукта в процессе эксплуатации к воздействию химически активных жидкостей, газов, масел и смазок, кислот и топлива;

– надежная работа пропитанных деталей в составе изделий при давлении от 0 до 50 МПа, в условиях вакуума, повышенной вибрации и диапазоне рабочих температур от -60°С до +250°С.

Таким образом, применение отливок и деталей, изготовленных методами, как традиционных литейных технологий, так и методом порошковой металлургии, и пропитанных современными полимерными материалами может стать новейшим инструментом проектирования и изготовления не только металлоемких и массивных деталей, но и облегченных и высоконадежных деталей и узлов механизмов различного назначения.

### Список литературы

1. Евсеев В.И. Некоторые аспекты деятельности промышленных предприятий в кризисный период: проблемы и возможности / В.И. Евсеев // *Индустрия*. – С-Пб., 2009. – № 2. – С. 43-45.
2. Евсеев В.И. Проблемы литейного производства и автором / В.И. Евсеев, А.А. Ищенко // *Промышленный вестник*. – М., 2009. – № 4/138. – С. 40-43.
3. Патент Российской Федерации на изобретение №2023527. Состав для пропитки пористых отливок. В.А.Руденко, Рыбинский авиационный технологический институт. Дата публикации 30.11.1994 г.
4. ОСТ 5.99578-75. Отливки судовые из цветных сплавов. Исправление дефектов отливок. Типовой технологический процесс.
5. ОСТ 5.9445-85. Герметики и компаунды для судостроения. Марки.
6. ОСТ 5.9656-85. Материалы герметизирующие. Типовые технологические процессы.
7. Технические свойства полимерных материалов / В.К. Крыжановский и др. – С-Пб, «Профессия», 2005. – 650 с.
8. Полимерные композиционные материалы / М.Л. Кербер, Г.С. Головин, Ю.А. Горбатенко и др.; под ред. А.А. Берлина. – С-Пб.: Профессия, 2008. – 562 с.
9. Ильевский В.В. Создание оборудования для ресурсосберегающей технологии вакуумно-компрессионной пропитки (ВКП) деталей / В.В. Ильевский // *Резание и инструмент в технологических системах: междунар. науч.-техн. сб.* – Х.: ХГПУ, 2000. – Вып. 58. – С. 22-24.

Поступила в редколлегию 19.07.2012

**Рецензент:** д-р техн. наук, проф. Х.В. Раковский, Харьковский университет Воздушных Сил им. И. Кожедуба, Харьков.