

3
4 **Технологическое обновление концерна GM —**
5 **запуск современного стержневого оборудования**
6 **немецкой фирмы Laempe**
78
9
10 В статье идет речь о влиянии коронавируса на миро-
11 вую литейную промышленность. Показан поло-
12 жительный пример автомобильного завода в США,
13 который несмотря на мировой пандемийный кри-
14 зис выполняет планы по модернизации литейного
15 производства.16 **Ключевые слова:** модернизация литейного про-
17 изводства, технология производства стержней,
18 стержневые пакеты, алюминиевые отливки, литые
19 автокомпоненты.20 The article deals with the impact of coronavirus on
21 the global foundry industry. A positive example of an
22 automobile plant in the United States is shown, which,
23 despite the global pandemic crisis, is fulfilling plans to
24 modernize the foundry.25 **Keywords:** foundry modernization, core-making tech-
26 nology, core packages, aluminum castings, cast auto-
27 motive components.28 **Коронакризис и его влияние**
29 **на развитие мирового автопрома**30 Мировой автопром к концу 2019 г. имел
31 достаточно много проблем в связи с необхо-
32 димостью разработки и внедрения экологи-
33 чески чистых легковых машин. К этим чисто
34 «техническим» проблемам в первом квартале
35 2020 г. из-за пандемии коронавируса при-
36 бавились и значительно более серьезные и
37 комплексные проблемы, которые заставили
38 автомобильные концерны как минимум пере-
39 смотреть свои заранее разработанные инве-
40 стиционные планы.41 По причине того, что распространение ко-
42 ронавируса в различных странах мира проис-
43 ходило не одновременно, а меры, предпри-
44 нятые правительствами для защиты местного
населения, отличались не только своей стро-
гостью, но и продолжительностью, динами-
ку отрицательных эффектов на ограничение
промышленного производства и сбыта това-
ров, в том числе мирового автопрома, можно
оценить только с большой погрешностью.Некоторые немецкие аналитики, напри-
мер, прогнозируют, что после восстановления
нормального темпа производства на заводах
мирового автопрома, динамика сбыта легко-
вых машин в различных регионах мира все-
таки останется весьма различной. Так, напри-
мер, сбыт легковых автомобилей в Китае за
2020 г. составил 19,7 млн. шт., что в годовом
выражении соответствует спаду всего — 6,7%
по сравнению с 2019 г. А в 2021 году по экс-
пертной оценке в Китае было продано уже
20,8 млн. легковых а/м, что почти соответ-
ствует «допандемийному» уровню. Для других
основных рынков сбыта, таких как Евросоюз
и США, мировой автопром, однако, ожида-
ли значительно более плохие результаты. Их
цифровое выражение зависело от того, как
каждый отдельный автомобильный концерн
самостоятельно смог разрешить свои финан-
сово-технические проблемы на отдельных
производственных площадках своих соб-
ственных заводов или заводов подрядчиков,
которые в условиях глобальной специализа-
ции производственных процессов уже давно
имеют транснациональный характер.Динамика роста мирового автопрома на-
прямую связана с динамикой развития ми-
ровой литейной промышленности. Поэтому
основная цель настоящей публикации — про-
информировать специалистов-литейщиков
о том, как один из ведущих автомобильных
концернов мира, а именно «Дженерал Мо-
торс», во времена самого глубокого за всю
истории США экономического кризиса, вы-
полняет свои инвестиционные планы на од-
ном из своих литейных заводов.**Литейный завод GM Powertrain Defiance**На своем литейном заводе GM Powertrain,
который размещен в промышленной зоне го-
рода Дефианс, США, концерн Дженерал Мо-
торс производит в основном блоки цилиндров



Рис. 1. Фрагменты из производственного процесса на алюминиевом литейном заводе GM Powertrain Defiance [1]

и головки блоков из алюминиевых сплавов методом литья в «стержневые пакеты». Отливки предназначены для 4-цилиндровых рядных и соответственно для V6- и V8- бензиновых двигателей, которые предназначены для легковых машин GM разного класса, которыми в настоящее время укомплектованы различные модели под именами Шевроле, Бьюик, Кадиллак, Джи Ем Си [1].

Литейный завод GM Powertrain Defiance имеет более чем 70-летнюю историю, за которую он прошел множество этапов технического и технологического обновления, но всегда производил только отливки автокомпонентов для потребностей базового концерна, причем сначала только из чугунов, а начиная с 1991 г. — также из алюминия.

В 2017 г. завод приостановил производство чугунных отливок, увеличивая производственные мощности для производства отливок блоков и головок исключительно методом «литья в стержнях». С тех пор на заводе работают всего 120 штатных и не более 470 наемных сотрудников. Инвестиции базового концерна GM для технологического обновления литейного завода GM Powertrain Defiance за период 2007—2015 гг. превысили сумму 420 млн. долларов США.

Тренд развития мировой алюминиевой литейной промышленности

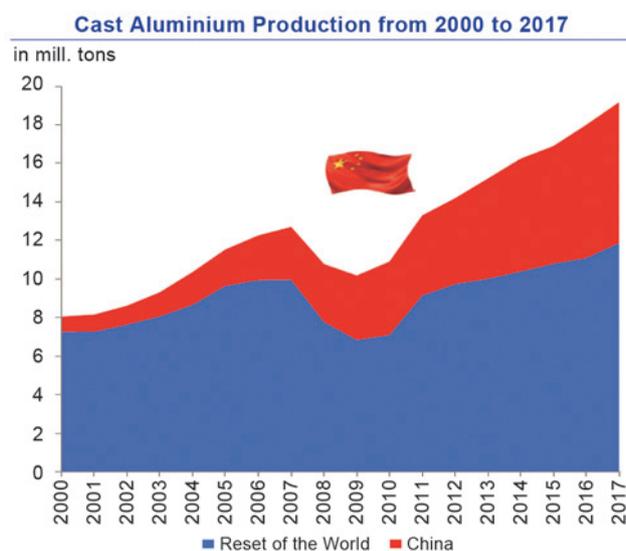
Динамика развития мировой литейной промышленности показана на диаграмме ниже. Диаграмма доказывает, что динамика среднестатистического «нормального», т.е. «бескризисного» роста производства литых заготовок из алюминиевых сплавов за периоды 2000...2007 гг., и 2011...2017 гг. соответственно, имела стабильный линейный характер, причем средний годовой рост мирового производства Al-отливок составлял 0,5...0,8 млн. т [2].

Это неудивительно по двум основным причинам.

1. Мировой автопром пока сравнительно медленно внедряет новые технологии, исключающие на 100% применение двигателей внутреннего сгорания на современных моделях легковых машин, сохраняя таким образом потенциал накопленного десятилетиями технологического опыта производства литых высокорентабельных и сложных Al-блоков и для самых экологически чистых альтернативных двигателей внутреннего сгорания на базе водорода.

2. Не менее 80% всех блоков и головок цилиндров для двигателей внутреннего сгорания легковых машин получают из алюминиевых сплавов с применением различных методов литья.

Таким образом, основательных причин ожидать существенного изменения тренда



Диагр. 1. Динамика развития мировой алюминиевой литейной промышленности за период 2000—2017 гг. (по данным Немецкого Индустриального Банка (ИКВ) [2])

роста мировой алюминиевой литейной промышленности в периоде восстановления мирового промышленного производства после ожидаемого резкого замедления мировой экономики в результате пандемии коронавируса, нет. Автомобильное двигателестроение было, есть и останется гарантом стабильного роста производства алюминиевого литья.

Технологии Laempe в области «пакетной формовки»

Не менее 90% всех отливок блоков и головок из алюминиевых сплавов получают с применением разовых песчаных стержней.

Отдельные песчаные стержни производят на пескострельных автоматах, а затем собирают в «пакеты», которые оформляют как минимум внутреннюю геометрию отливок блоков и головок. Наружные поверхности отливок оформляются тремя способами:

— песчано-глинистыми формами в случае наличия автоматических формовочных линий,

— металлическими формами в случае литья под атмосферным давлением,

— пакетной формовкой в случае доокомплектования базового стержневого пакета наружными стержнями и заливкой обычно под низким давлением.

В результате сотрудничества с мировым автопромом Laempe имеет огромный накопленный десятилетиями опыт в области производства стержней и стержневых пакетов для реализации метода «пакетной формовки».

Для изготовления стержней для метода «пакетной формовки» с целью получения алюминиевых отливок блоков и головок в мировой практике применяют в основном три процесса, а именно:

— Coldbox-Амин-процесс (мировая доля рынка не менее 90%),

— «неорганика» (не менее 6%, с тенденцией нарастания за счет Coldbox-Амин-процесса),

— «FRC-SO₂» (не более 4%, с тенденцией убывания в пользу «неорганики» и/или Coldbox-Амин-процесс) [6...10].

Некоторые технологические факты об отдельных процессах изготовления стержней для «пакетной формовки»

Процесс Coldbox-Амин

Coldbox-Амин-процесс разработан в 1968 г американской компанией Ashland [9].

Фундаментальные причины для бурного развития Coldbox-Амин-процесса за последние 15 лет — создание максимально экологически совершенных связующих систем, которые дают возможность производить высокоточные и сложные стержни в ненагреваемой и относительно недорогой стержневой оснастке. При этом производительность сохраняется на высшем уровне и для самых массовых стержней с отдельным весом 10...40 кг составляет 20...60 сек за цикл, а прочность стержней на изгиб сразу после завершения цикла их производства на стержневой машине не менее 2 МПа — достаточное условие для их ручного или механизированного съема [10, 11].

Основные компоненты стержневых смесей для Coldbox-Амин-процесса:

1. Песок (в основном, кварцевый)
2. Первый жидкий компонент — полиэфирная смола
3. Второй жидкий компонент — полиизоцианат

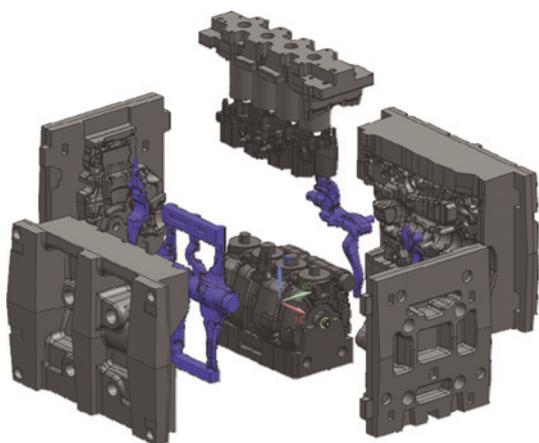


Рис. 2. Пример стержневого пакета для получения алюминиевой отливки 4-цилиндрового рядного блока двигателя методом «пакетной формовки» (www.laempe.com) [2]

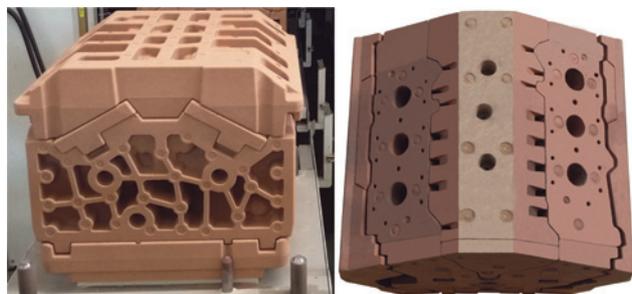


Рис. 3. Примеры стержневых пакетов для получения алюминиевых отливок V8- (слева) и V6- (справа) блоков двигателей легковых машин методом «пакетной формовки» [3]

Классические рецептуры стержневых смесей по Coldbox-Амин-процессу для производства стержней для отливок из алюминиевых сплавов: 100 вес.-% кварцевого песка, 0,5...0,6 вес.-% первого жидкого компонента, 0,5...0,6 вес.-% второго жидкого компонента. Кислотность стержневой смеси слабая (рН около 6,5). Финальная полимеризация связующего в стержневых смесях по Coldbox-Амин-процессу осуществляется только в присутствии катализаторов — третичных аминов, которые вдуваются под регулируемым давлением и обязательно — в газообразном состоянии, в предварительно заполненный смесью стержневой ящик. Ориентировочный расход амина для отверждения 1 кг стержневой смеси в зависимости от качества (герметичности) формообразующих гнезд стержневого ящика составляет 0,5...1 гр., т.е. соответствует согласно рецептуре смеси 0,05...0,1 вес.-%.

Прочностные характеристики стержневых смесей с вышеназванной рецептурой, в зависимости от качества и типов применяемых компонентов, таковы:

Прочность на изгиб, МПа через.... часов	... 0 ч 1,8—2,0	... 1 ч 2,0—2,2	... 2 ч 2,6—2,8	... 24 ч 3,6—3,8
---	--------------------	--------------------	--------------------	---------------------

Процесс на базе «неорганических» связующих

В 2001 г. фирма Laempe разработала и в 2003 г. впервые официально представила на выставке литейного оборудования в г. Дюссельдорф, Германия, экологически чистое связующее LKBinder на основе смеси неорганических солей, а также стержневой автомат LBB10, работающий по процессу BeachBox для получения стержней на базе связующего LKBinder. При запатентованном фирмой Laempe BeachBox-процессе стержневая смесь подается в пескострельную головку стержневого автомата, который оснащен электрической системой нагрева стержневого ящика до 120...180 °С, а также динамической системой LMU для периодической подачи водяных паров в пескострельные сопла с целью предотвращения их «засорения» стержневой смесью. Отверждение стержневой смеси в стержневом ящике происходит в результате теплообмена с горячими поверхностями формообразующих элементов, а избыточная влажность удаляется продувкой стержневого ящика нагретым воздухом.

В настоящий момент на мировом рынке предлагаются различные варианты неорга-

нических связующих систем. Все они основаны на модифицированном жидком стекле с различными неорганическими добавками. Классические рецептуры стержневых смесей: 100 вес.-% кварцевого песка и 1,5...3,0 вес.-% неорганического связующего в жидкотекучем состоянии. Некоторые рецептуры содержат и добавки, которые обычно не превышают 20% от весовой доли связующего.

Физико-химический процесс отверждения стержневых смесей на базе неорганических связующих происходит на базе дегидратации жидкого стекла, причем образование пространственных мостиков силикатного геля вокруг песчаных зерен становится возможным только при использовании специальных добавок («промотеров»), которые сшивают отдельные молекулы по свободным валентностям между кислородными атомами. По причине того, что дегидратация протекает относительно медленно, как конвективный нагрев формообразующих частей стержневой оснастки, так и продувка нагретым выше 100 °С воздухом являются физическими методами ускорения процесса затвердевания стержней. Таким образом, оптимальные условия для серийного производства стержней соответствуют тем условиям, которые еще в первом десятилетии нового века разрабатывала и рекомендовала фирма Laempe [12—14].

Стержни на базе «неорганических» связующих применяются в основном для производства стержней для получения отливок из алюминиевых сплавов. Типичные представители таких отливок — головки цилиндров, блоки двигателей внутреннего сгорания, корпуса корбки передач и т.п.

В настоящий момент основными двигателями внедрения данного процесса в мировой литейной практике являются немецкие автомобильные концерны BMW и VW.

Процесс «FRC-SO₂»

Процесс «FRC-SO₂» разработан в 1982 г американской компанией Ashland и в переводе означает «отверждение свободных радикалов» [9].

Классические рецептуры стержневых смесей для производства стержней для отливок из алюминиевых сплавов: 100 вес.-% кварцевого песка, 1,2...1,4 вес.-% эпоксидной смолы, 1,0...1,2 вес.-% пероксида водорода. Ориентировочный расход SO₂ для отверждения 1 кг стержневой смеси в зави-

симости от качества (герметичности) формообразующих гнезд стержневого ящика составляет 10...15 гр., т.е. соответствует рецептуре смеси 0,10...0,15 вес-%, что по сравнению с Coldbox-Амин-процессом десятикратно превышает расход газа-отвердителя.

В отличие от Coldbox-Амин-процесса, при котором амины являются катализатором процесса отверждения связующего, SO₂ при процессе «FRC-SO₂» расходуется стехиометрически во время реакции полимеризации, т.е. концентрация SO₂ в газовой смеси при продувке необходимо постоянно наблюдать подходящими контрольными приборами.

Кислотность стержневой смеси по причине поэтапного образования сначала серистой, а затем и серной кислоты — повышенная (рН около 3,5...4).

Прочностные характеристики стержневой смеси для вышеназванного состава примерно на 10...15% ниже прочностных характеристик стержневой смеси по Coldbox-Амин-процессу

для сравнимых условий применения. И наоборот — скорость отверждения стержневой смеси при продувке газом-отвердителем SO₂ — примерно на 10...15% превышает скорость отверждения стержневой смеси по Coldbox-Амин-процессу.

Другое технологическое преимущество «FRC-SO₂»-процесса по сравнению с Coldbox-Амин-процессом, в особенности для производства стержней для отливок из алюминиевых сплавов — улучшенная выбиваемость стержней, которую в настоящее время можно сравнивать только с новейшими «неорганическими» связующими.

Но, к сожалению, этим двум технологическим преимуществам необходимо противопоставить такие серьезные технологические недостатки, как, например, значительно более жесткие требования к экологическому обеспечению техпроцесса по причине применения SO₂ в газовой смеси с техническими газами N₂ или CO₂, а также применение значительно

Качественное сравнение технологических свойств и производственных характеристик современных процессов изготовления стержней для производства алюминиевых отливок «блоков» и/или «головок» методом «пакетной формовки» по опыту Лаемре 5)

	Coldbox-Амин	«FRC-SO ₂ »	«неорганика»
Прочностные характеристики	100%	85...90%	85...90%
Производительность процесса (= скорость отверждения смеси до достижения манипуляционной прочности на изгиб = 2,0 МПа)	100%	110...115%	90...95%
Живучесть стержневой смеси	100%	100%	75...80%
Текучесть стержневой смеси	100%	100%	85...90%
Себестоимость стержневой оснастки	100%	120%	150%
Общие энергетические расходы, включая климатизацию помещения стержневого участка и склада для хранения готовых стержней	100%	100%	180...190%
Расходы для очистки атмосферы цехов от вредных газовывделений во время смесеприготовления, производства и хранения стержней, заливки и выбивки стержневых пакетов	100%	110%	0%
Относительная себестоимость стандартных компонентов стержневой смеси (без учета возможных специальных добавок или синтетических песков взамен кварцевого песка)	100%	105%	125%
Выбиваемость стержневой смеси после заливки, затвердевания и охлаждения отливок до температуры выбивки	100%	120%	120%
Регенерируемость термически нагруженных остатков стержневой смеси	100% (термомеханическая)	100% (термомеханическая)	100% (термомеханическая)
Опасность образования дефектов типа газовой пористости на отливках из алюминиевых сплавов по вине газотворной способности термически нагруженной стержневой смеси	минимальная	минимальная	минимальная
Необходимость применения антипригарных красок для защиты отливок от газовой пористости	ограниченная	ограниченная	не практикуется
Динамика внедрения данного процесса в мировой литейной практике	стабильная	ограниченная	повышенная

более дорогостоящей стержневой оснастки по причине образования сильных кислот при полимеризации стержневой смеси.

Именно по этим причинам процесс «FRC-SO₂» в настоящее время находит ограниченное применение в мировой литейной практике [15–16].

Применение технологий Laempe на заводе GM Powertrain Defiance

В феврале 2020 г. автомобильный концерн Дженерал Моторс разместил на фирме Laempe для своего алюминиевого литейного завода GM Powertrain Defiance многомиллионный заказ на поставку пяти стержневых центров для производства стержней для «пакетной формовки».

До размещения данного заказа Laempe проводила непростую проектно-конструкторскую работу для удовлетворения следующих основных требований американского автомобильного концерна:

- применение имеющегося, накопленного десятилетиями парка стержневой оснастки на новых пескострельных автоматах,

- производство стержней на каждом пескострельном автомате как по Coldbox-Амин, так и по «FRC-SO₂»-процессу,

- применение только высокопроизводительных пескострельных автоматов с максимальным «холостым» циклом 20 сек,

- размещение будущих стержневых центров в точно определенных пространственных координатах цеха с учетом существенных высотных ограничений цеха, а также без оформления прямков ям в фундаменте.

Основной причиной выбора Laempe в качестве поставщика для GM стал факт возможности выполнения всех вышеперечисленных требований Заказчика без исключения. А основной предпосылкой для возможности предложить самое подходящее техническое решение со стороны Laempe было наличие семи базовых модельных рядов, а также множества нестандартных конструктивно-технологических вариантов внутри каждого модельного ряда. По этим возможностям Laempe в настоящий момент не имеет конкурентов в мире.

Для реализации данного проекта Laempe разработала и предложила пескострельный автомат со специальной комплектацией из своего модельного ряда LHL.

Модельный ряд LHL — пескострельные автоматы последнего поколения, которые предназначены для крупносерийного производства стержней в условиях постоянной нагрузки в трехсменном режиме. Своей компактностью, надежностью и высокой производительностью эти машины максимально удовлетворяют высоким требованиям литейщиков, особенно в отношении быстрой замены стержневой оснастки с целью гибкого перехода на новое изделие при минимальных простоях.

Основные технические характеристики пескострельных автоматов Laempe типа LHL, которые предназначены для алюминиевого литейного завода GM Powertrain Defiance:

- Макс. габаритные размеры стержневого центра (Ш × Г × В) с выдвижной кареткой стола пескострельного автомата = 6800 × 8400 × 4500 мм.

- Макс. габаритные размеры применяемых на пескострельных автоматах LHL комплектов стержневой оснастки (Ш × Г × В) = 1300 × 1300 × 700 мм.

- Максимально допустимый вес каждого из применяемых на пяти пескострельных автоматах LHL комплектов стержневой оснастки = 6 т.

- Исполнение одной из пяти машин LHL с моно-пескострельной головкой 100 л.

- Исполнение двух из пяти машин LHL со двоянной пескострельной головкой с парциальными объемами 50/50 л соответственно.

- Исполнение двух из пяти машин LHL со двоянной пескострельной головкой с парциальными объемами 60/40 л соответственно.

Основные конструктивные особенности предложенных пескострельных автоматов LHL в соответствии со специфическими требованиями GM:

- Стабильная 4-х колонная несущая конструкция, на которой подвешены верхняя рама машины и траверсы для крепления верхних частей стержневых ящиков.

- К верхней раме машины прикреплена каретка пескострельного и продувочного механизма.

- К основанию корпуса машины прикреплены каретка стола со встроенным роликовым транспортером для установки и подачи стержневой оснастки в машину.

- Автоматизированная система замены и наладки комплектов стержневой оснастки по сигналу от оператора.



Рис. 4. Общий вид пескострельных автоматов типа LHL на монтажно-сборочном заводе Laempe [3]

— Пескострельный механизм с протяжной и быстросменной головкой моно- или сдвоенного типа.

— Гидравлические фиксаторы для быстрой замены надувных головок, а также для замыкания/размыкания пескострельных плит к надувным головкам.

— Автоматизированная система размыкания пескострельной плиты, выдвижения в зону очистки и поворота на 60 градусов для максимально удобного доступа оператора для периодической «посменной» очистки пескострельных сопел.

— Встроенный газогенератор комбинированного типа для обоих процессов — Coldbox-Амин и соответственно «FRC-SO₂», взрывозащищенное исполнение, включая мощные дополнительные нагреватели проходящих инертных газов (в случае FRC-SO₂ процесса) или воздуха (в случае Coldbox-Амин-процесса).

— Гидравлические системы фиксации пескострельных плит, верхних толкательных плит, верхних и нижних частей стержневой оснастки.

— Оптические занавесы в зонах обслуживания для максимальной безопасности персонала.

— Современное микропроцессорное управление стержневым центром на базе средств автоматизации Allen Bradley с интернет-модулем для дистанционной связи со сервисным отделом Laempe.

Оборудование поставлено на литейный завод GM Powertrain Defiance в первом квартале 2021 г.

Обобщение

Данный пример из опыта Laempe доказывает, что лидеры мирового автопрома, независимо от таких неожиданных форс-мажорных

обстоятельств, как пандемия коронавируса, которая нанесла в первом квартале 2020 г. значительный ущерб мировой экономике, продолжают оснащать свои литейные заводы первоклассным технологическим оборудованием.

Однозначна тенденция к динамичному внедрению средств автоматизации на стержневых участках — особенно на тех литейных заводах, которые серийно производят алюминиевые отливки типа блоков и головок для двигателей легковых а/м. Применение промышленных роботов на литейных заводах, конечно, не является модной тенденцией, а основным средством повышения рентабельности производственных процессов в литейной промышленности.

В рамках сотрудничества с GM фирма Laempe прорабатывает в настоящее время новый проект для алюминиевого литейного завода GM Powertrain Defiance, связанный с автоматизацией производственных процессов сборки стержней в пакет. Реализация данного проекта запланирована на 2022 г., т.е. непосредственно после запуска пяти поставленных пескострельных автоматов в эксплуатацию.

Благодаря своему огромному технологическому опыту Laempe является подходящим бизнес-партнером для всех литейных заводов, в том числе на территории России, которые следуют мировым трендам и намерены создавать конкурентоспособные литейные производства.

Литература

1. Сайт компании GM: www.gm.com
2. Jrgen Bchner, Forecast 2025 for the global Foundry Industry, June 2019.
3. Сайт компании Laempe: www.laempe.com
4. Jean Michel Denis, Gieerei 2006, H1, S. 26—31.
5. Jrg Grotzki, Gieerei-Erfahrungsaustausch, 2008, H 9, S. 24—29.
6. Frank Grunow, MTZ, 2007, H 5, S. 2—10.
7. Thomas Schulze, Gieerei 2011, H 7, S. 68—77.
8. Kraftpaket aus Leichtmetall, Report, Gieerei 2008, H 7, S. 35—43.
9. Сайт компании ASK, <https://www.ask-chemicals.com/foundry-products/products>
10. Е.Н. Буданов, Литейное производство, 2016, № 5, стр. 23—27.
11. Е.Н. Буданов, Литейное производство, 2016, № 2, стр. 32—35.
12. Uwe Bischoff, Gieerei-Rundschau, 2006, H 9/10, S. 191—193.
13. Thomas Kautz, Gieerei, 2010, H 9/10, S. 76—79.
14. Carolin Wallenhorst, Gieerei-Praxis, 2010, H. 6, S. 181—184.
15. L. Cobos, Gieerei-Erfahrungsaustausch, 1995, № 6, S. 219—227.
16. Paul R. Carey, Foundry Management & Technology, March 1995, p. 22—26.