

Заводы США пытаются догнать литейные производства России по внедрению технологии ВПФ для производства крупных ЖД отливок

В статье дается оценка развитию производства отливок для грузовых вагонов в России и США. Показаны примеры успешных реализованных проектов на базе технологии ВПФ в России и первый опыт освоения аналогичных отливок по ВПФ в США. Представлены нюансы и основные преимущества данной технологии для данной и других групп отливок.

Ключевые слова: модернизация литейного производства, вакуумно-пленочная формовка, качество форм и отливок, ЖД отливки «рама» и «балка».

The article assesses the development of the production of castings for freight cars in Russia and the USA. Examples of successful implemented projects based on VPF technology in Russia and the first experience of mastering similar VPF castings in the USA are shown. The nuances and main advantages of this technology for this and other groups of castings are presented.

Keywords: modernization of foundry production, vacuum film molding, quality of molds and castings, RAILWAY castings «frame» and «beam».

В конце прошлого века техническое состояние заводов нашей страны и выпускаемая ими продукция ограничивались громкими и сложно исполнимыми лозунгами «догоним и перегоним!». И вот наконец-то уже в отечественном литейном производстве появились примеры и уверенный опыт экспорта крупных железнодорожных (ЖД) отливок в США [1]. И теперь уже наблюдаем американские попытки «догнать» — импортозамещение качественных ЖД отливок, поставляемых в Америку, изготовленных по технологии вакуумно-пленочных форм (ВПФ) на немецких автоматических формовочных линиях (АФЛ) в России и Китае (рис. 1).

Более широкий анализ сравнения уровня научно-технического развития в мире показывает, что в технологическом плане США также значительно отстают от уровня оснащения предприятий России [2]. Например, именно в России не только создали, но и впервые по-

ставили на боевое дежурство сразу несколько образцов инновационного гиперзвукового вооружения — «Циркон», «Авангард», «Кинжал» и др., в то время как в США проводят первые неуверенные испытания. Скорость новых ракетных комплексов в разы выше других образцов. Россия по совокупности технических характеристик и достигнутых успехов является явным лидером, за которым следуют другие страны. Отставание от России признают даже США. Или другая иллюстрация сравнения (внедрения инновационной технологии ВПФ для производства качественных ЖД отливок «рама и балка») — с синхронным плаванием. В 1996 году американские синхронистки стали олимпийскими чемпионками, но, уже начиная с 2000 года, золото неизменно достается России. И сейчас американки пытаются следовать по пути нашей команды, подражать ему — но пока безуспешно.

Можно уверенно говорить, что Россия решительно вышла вперед по техническому и технологическому оснащению в некоторых знаковых отраслях — как то тактические вооружения и транспортное грузовое машиностроение [2, 3]. США же по этим на-



Рис. 1. Монтаж линии ВПФ низкой производительности для ЖД «рам и балок». Завод Brinco, США



Рис. 2. Первые образцы качественных крупных ЖД отливок «рама боковая» и «балка наддресорная» по технологии ВПФ. Завод Grinco, США

правлениям пока оказываются в положении догоняющих и сильно «отстающих».

Немецкая фирма HWS-Sinto в условиях кризиса «коронавируса» успешно запустила первую линию ВПФ в США на заводе Grinco (г. Бристоль, штат Индиана) для отливок «рама боковая» и «балка наддресорная» тележки североамериканского грузового вагона (рис. 2). В новое предприятие США было инвестировано 34,5 млн. USD, из них в оборудование 15 млн. USD. Создано 250 новых рабочих мест. Технические характеристики линии ВПФ (рис. 1–6): размер опок АФЛ тот же, что на ТВСЗ (Тихвин); ВКМ-Сталь (Саранск); Промлит (Чебоксары) — 3000×1800×500/500 мм, но гораздо меньшая тактовая производительность — 2–4 формы в час.

Особо следует отметить, что даже при такой первоначально кажущейся низкой тактовой производительности, например, на ТВСЗ (вторая линия ВПФ на 2 формы в час) изготавливают около 10.000 тонн средних ЖД отливок в год. Также дополнительно следует учитывать и эффективный опыт освоения технологии ВПФ на отечественных предприятиях (ТВСЗ, Промлит), где кроме более скоростных АФЛ (до 20 форм в час) также поставлены и успешно работают дополни-

тельные установки ВПФ, на которых можно без остановки главного производства осваивать новую номенклатуру отливок. Можно предположить, что далее завод Grinco (США) и в этом подходе тоже пойдет по проторенному нашими отечественными заводами пути и в дальнейшем поставит вторую более скоростную АФЛ по ВПФ.

Таким образом, опыт, успешно реализованный литейными заводами России в начале 2000-х годов [1–5], только сейчас начинают перенимать «коллеги» из США — с потерей в темпе его освоения около 15 лет. Первый и сразу крайне успешный проект по созданию производства «рам и балок» по технологии ВПФ был реализован на заводе Промлит, г. Чебоксары [5]. Еще в 2004 году на заводе Промлит была запущена первая в России (и мире) АФЛ вакуумно-пленочной формовки для производства крупных стальных ЖД отливок «рама и балка» (поставщик АФЛ фирма HWS-Sinto, Германия; производительность 20 форм в час; двухместное расположение ЖД отливок суммарным весом около 1 тонны). Промлит, а затем и китайский завод

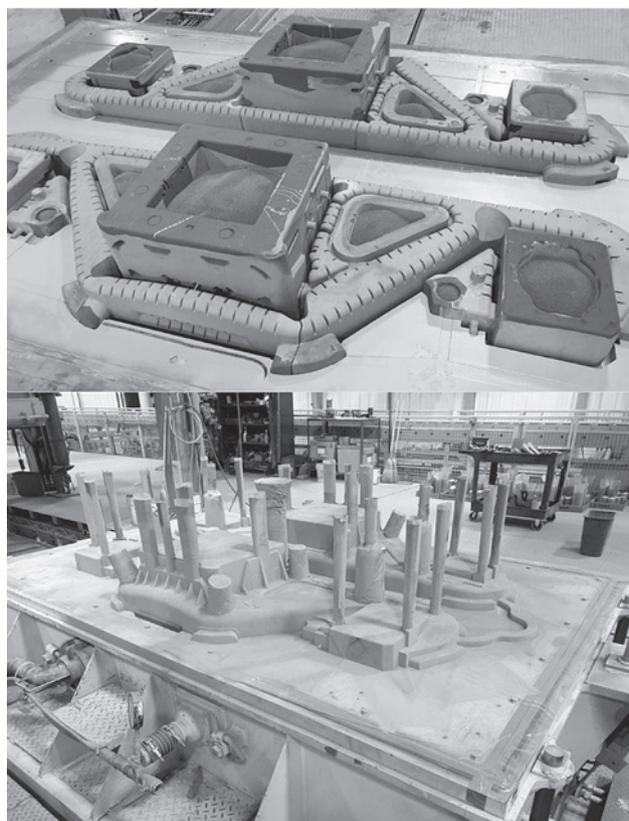


Рис. 3. Полуформы низа (пустотелые стержни с наполнителем) и верха при начальной отладке технологии ВПФ. Завод Grinco, США

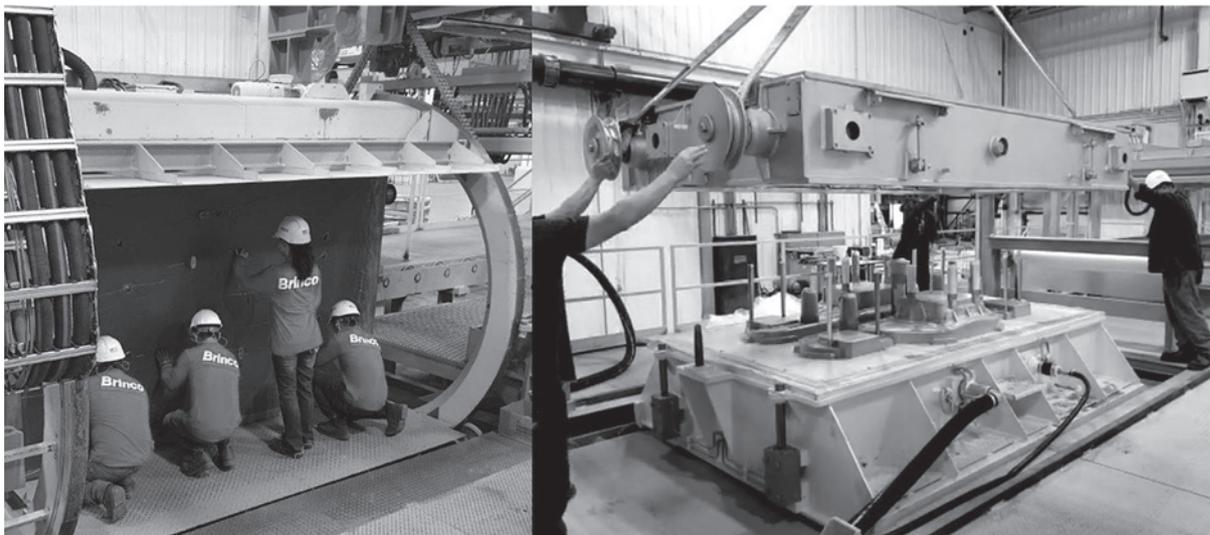


Рис. 4. Устройства литейной линии ВПФ — кантователь, сборка форм с помощью кран-балки, что достаточно для условий заданной низкой производительности (2–4 ф/час). Завод Brinco, США

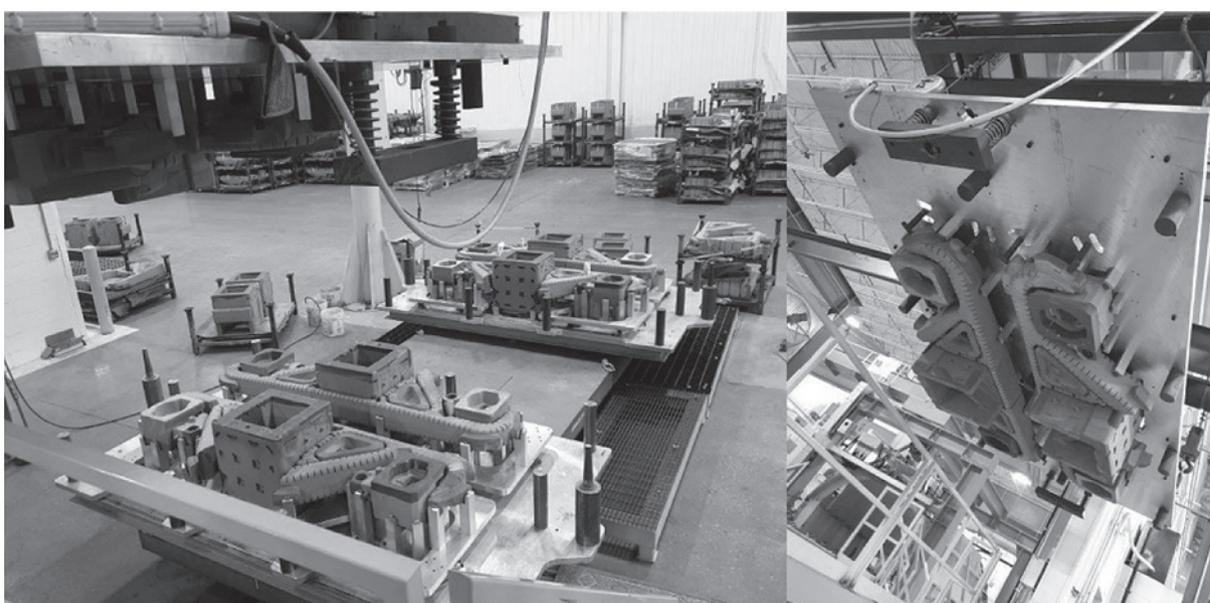


Рис. 5. Автоматизация операций со стержнями. Паллеты для сборки комплекта стержней и устройство их захвата с дальнейшим перемещением к полужормам низа. Завод Brinco, США

Тианруй (Tianrui) в короткие сроки получили сертификаты североамериканских ЖД для экспорта крупных стальных «вакуумных» отливок «рама боковая» и «балка надрессорная» в США.

Далее последовали не менее успешные проекты отечественных литейных заводов ВКМ-Сталь (г. Саранск) [4] и ТВСЗ (г. Тихвин) [3]. До них первый в мире опыт внедрения технологии ВПФ в условиях работы автоматической формовочной литейной линии производительностью 20 форм в час «чебоксарского» завода был быстро скопирован китайским

заводом Тианруй (Tianrui), где выбран тот же размер опок, что и на трех заводах России (производительность та же — 20 форм в час). Завод Тианруй (Китай) как и наш ТВСЗ (г. Тихвин) активно в настоящее время поставляет крупные ЖД отливки, изготовленные по ВПФ в Северную Америку [3].

Потенциал эффективного производства качественных ЖД отливок по технологии ВПФ можно подтвердить актуальными успешными результатами деятельности и опытом, например, завода ВКМ-Сталь (г. Саранск) за особенный «ковидный» 2020 год — 33.000 тонн

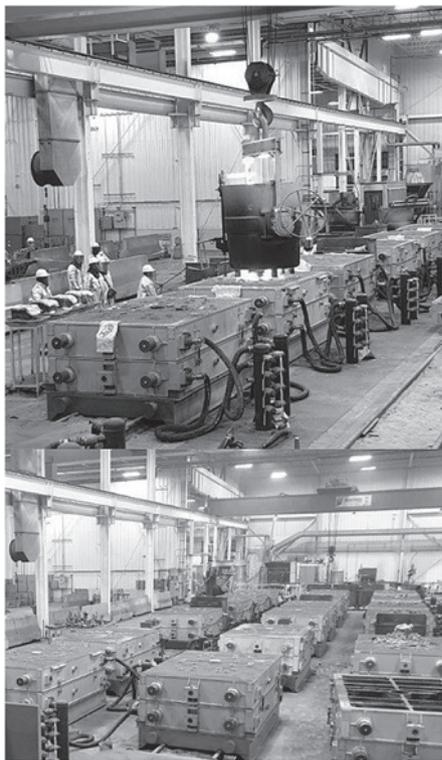


Рис. 6. Участки заливки и охлаждения форм по ВПФ. Завод Brinco, США

«рам и балок» с браком менее 1% на базе всего одной АФЛ по ВПФ с тактовой паспортной производительностью всего 5–6 форм в час. 2021-й год стал еще более результативным — уже 34.500 тонн крупных отливок «рам и балок» в год. Особо следует отметить отличие завода ВКМ-Сталь от ряда аналогичных литейных заводов, где работают другие более скоростные АФЛ (около 20 форм в час). Например, БСЗ (Бежицкий сталзавод, г. Брянск) по технологии ПГС на АФЛ с паспортной производительностью 23 формы в час за тот же период 2020 года выпустил меньше отливок, чем ВКМ-Сталь на АФЛ по ВПФ (5–6 ф/час). В качестве примера для сравнения сложно представить, как на 3,5 тонном а/м Газель NEXT можно перевезти грузов больше, чем на 20-тонном а/м Камаз 6520.

Резюме — в кризисные годы (как 2020 и 2021 гг.) более результативно работали литейные заводы, оснащенные передовыми технологиями ВПФ и современным немецким стержневым оборудованием, обеспечивающими более высокий уровень качества отливок по минимальной себестоимости их производства, и поэтому выбор завода США вполне обоснован [3–5].

Рывок в развитии отечественного производства отливок тележек грузовых вагонов

Первые грузовые поезда двигались со скоростью до 30 км в час; сегодня во многих странах мира уже до 120 км в час, хотя в России пока средняя скорость не выше 90 км в час. Поэтому требования к качеству крупных ЖД отливок постоянно растут. Сравнение уровня развития литейных технологий для производства отливок тележек грузовых вагонов с американским не случайно. Так, например, флагман отечественного грузового вагоностроения Уралвагонзавод (УВЗ) в 30-х годах прошлого века строили по примеру передовых заводов США, а теперь все наоборот — ТВСЗ (Тихвин) поставляет крупные ЖД отливки, изготовленные по технологии ВПФ, для самого «требовательного» Покупателя — железных дорог США (самых протяженных в мире с максимальным грузооборотом) [1].

По проекту УВЗ в то время работало большое число иностранных консультантов, а главный инженер проекта семь лет провел на вагоноборочных предприятиях США. Но главное в том, что проект предусматривал использование опыта заводов США. Не случайно первый директор Уралвагонстроя В.А. Вторыгин указывал, что «весь комбинат и его оборудование запроектировано по американским типам и образцам». Даже журнал «СССР на стройке» признавал: «Родина колес Гриффина — Америка, и цех построен по типу американской литейной колес Гриффина в Новом Орлеане, которая считается лучшей в США».

Действительно, при проектировании цеха колес Гриффина на Уралвагонзаводе были использованы материалы американских фирм «Гриффин Уиль Компани» (Цинциннати, штат Огайо) и «Саутен Кар Уиль Компани» (Тоledo, штат Огайо). Наиболее сложное и ответственное литейное оборудование также было заказано за границей.

Обоснования выбора технологии ВПФ для производства крупных ЖД отливок «рама и балка» в сравнении с технологиями ПГС и ХТС были даны еще в 2004 году в журнале Литейное производство [10]. Дополнительно к конкретному выбору самой эффективной технологии для двух заданных крупных ЖД отливок, следует более подробно остановиться на расширенном обосновании преимуществ

1 вакуумно-пленочной формовки для освое-
2 ния самой широкой номенклатуры чугунных,
3 стальных и алюминиевых отливок.

4 **Краткое описание V-процесса**

5 На закрытую камеру, из которой впослед-
6 ствии удаляется воздух (пустотельный корпус
7 основания для подмодельной плиты), устанавливается модельная плита. Над натянутой на
8 раму термопластичной пленкой (модельной
9 пленкой) находится нагревательное устрой-
10 ство. Нагретая и поэтому пластичная пленка
11 опускается на модель. В подмодельной плите
12 устанавливается вакуум в 0,5—0,6 бар; пленка
13 притягивается к модели за счет действия ва-
14 куума, в точности повторяя ее контуры. По-
15 сле этого на пленку наносится краска. Дву-
16 стенная, оснащенная вакуумными трубками
17 и всасывающими окнами (с внутренней сто-
18 роны) опока устанавливается на модельную
19 оснастку.

20 Опока наполняется обычным сухим песком
21 без связующего. Контрлад полуформы покрыва-
22 ется вакуумной пленкой без ее растяжения.
23 Затем песок уплотняется между двумя слоями
24 пленки посредством вакуума подведенного
25 к опоке. После отключения вакуума в под-
26 модельной плите полуформа, с обеих сторон
27 «закрытая» пленкой и далее удерживаемая
28 вакуумом, снимается с модельной оснастки.
29 Нижняя полуформа кантуется ладом вверх.
30 Проставляются необходимые стержни; затем
31 обе полуформы (низа и верха) собираются в
32 готовую форму.

33 Пониженное давление поддерживается в
34 процессе заливки и на начальном этапе за-
35 твердевания жидкого металла. При заливке
36 пленка испаряется, либо сгорает под влия-
37 нием заливаемого металла. Под воздействием
38 вакуума остатки пленки проникают в краску
39 формы и вместе с частицами песка образу-
40 ют тонкую оболочку, которая упрочняет по-
41 верхностный слой формы. Разряжение формы
42 поддерживается нанесенным слоем противо-
43 пригарной краски.

44 Для выбивки опоки вакуум отключается,
песок «самотеком» высыпается, отливка осво-
бождается для дальнейшей транспортировки.

После того как отливка достаточно осты-
ла, вакуум отключается, и отливка с песком
выпадают из опоки без дополнительной ви-
брации или встряхивания. В результате полу-
чается чистая, с точными размерами отливка,

которая не требует кропотливой очистки. Пе-
сок не образует комков смеси и почти не спе-
кается. После выбивки песок просеивается,
охлаждается и может быть вновь использован
для изготовления форм.

Преимущества технологии ВПФ (V-процесса)

V-процесс имеет значительные преимуще-
ства в сравнении с другими технологиями из-
готовления разовых песчаных форм [6, 7]. Он
более экономичен и экологичен, чем тради-
ционные технологии ПГС и ХТС. Отливки по
ВПФ имеют значительно лучшее качество по-
верхности при более низкой себестоимости их
производства [8]. При сравнении технологии
недостаток ВПФ можно увидеть только в од-
ном, что высокая производительность по это-
му процессу 200—250 форм/час (как на АФЛ
по ПГС) не достигнута. Пока производитель-
ность АФЛ по ВПФ ограничена примером в
100 форм/час, а в отечественной практике, на-
пример, 45 формами в час на АФЛ для чугу-
нных ванн; 20 формами/час для крупных сталь-
ных отливок тележки грузового вагона. Однако
особо следует отметить, что для крупных сталь-
ных ЖД отливок экономически более чем до-
статочно производительности 20 форм/час —
в отличие, например, от примеров создания
эффективных производств чугунных отливок
тормозных вентилируемых дисков, где часто
используют немецкие опочные АФЛ по ПГС
(уплотнение Сейатцу-процесс) с производи-
тельностью 200—250 форм в час [9].

Размерная точность

Этот фактор обусловлен комплексом осо-
бенностей рабочего процесса при использо-
вании технологии ВПФ:

- Использование мелкозернистого формо-
вочного песка
- Высокая и равномерная степень уплот-
нения песка
- Отсутствие износа модельной оснастки
- В большинстве случаев отсутствие необ-
ходимости уклона
- Для извлечения модели из формы не
требуется вибрации
- Отсутствие движения стенок формы по
причине высокой прочности формы
- Отсутствие деформации формы по при-
чине испаряющихся добавок к формовочному
материалу.

Результатом этого является размерная точность и повторяемость веса отливок. Это относится даже к крупногабаритным и тяжелым отливкам, а также к отливкам сложных геометрических форм. Также обеспечивается высокая степень воспроизводимости при серийном производстве, от партии к партии не наблюдается каких-либо различий.

Качество поверхности отливок

Используемые формовочные материалы и специальный производственный процесс при изготовлении песчаных форм гарантируют превосходное качество поверхности отливок, изготовленных по технологии вакуумно-плечной формовки. Причин этому несколько.

Благодаря применению сухого формовочного песка без связующего и без влаги при предварительной слабой вибрации для равномерного распределения песка и уплотнении за счет последующей подачи вакуума можно избежать т.н. «образования мостов» между отдельными зёрнами песка, а, следовательно, предотвратить различную степень уплотнения смеси; этот фактор и обеспечивает однородность поверхности отливки. Кроме того, часто используется мелкозернистый песок, т.к. в этом случае не следует уделять особого внимания вопросу газопроницаемости, который обычно часто возникает.

Благодаря предварительному нанесению краски на пленку во время заливки предотвращается непосредственный контакт металла с песком. Таким образом, качество поверхности отливок, изготовленных по технологии ВПФ, практически не зависит от типа используемого металла. Поэтому в отличие от литья, изготовленного по другим технологиям, качество поверхности чугуновых и стальных отливок по ВПФ одинаково высоко, хотя температура заливки и агрессивность расплава могут быть крайне разными.

Вследствие незначительной рельефности поверхность вакуумных отливок после выбивки возможно сразу покрывать лаком — как поступают на американском заводе North Vernon — где «вакуумные» отливки противососов вообще не подвергают даже мехобработке [10]. За более высокое качество поверхности говорит также тот факт, что возникающие в месте разъема формы в V-процессе заусенцы так незначительны, что их можно оставлять незачищенными. Если зачистка заусенца все

же необходима, достаточно легкого касания шлифовальным кругом.

Для производителей машин и оборудования гладкая поверхность вакуумной отливки имеет решающее значение, либо является важным аргументом, если к конечному продукту предъявляются особые требования, в частности к его внешнему виду.

Меньше времени на очистку отливок

Особенно ярко преимущества ВПФ проявляются в том случае, если наряду с достижением размерной точности и качества поверхности удастся настолько точно воспроизвести рельеф рабочих поверхностей детали, что они не нуждаются в последующей мехобработке.

Чистота поверхности вакуумных отливок настолько высока, что применяемая в обычных случаях для удаления остатков формовочных материалов пескоструйная или дробеметная обработка поверхности может оказать даже негативное воздействие, т.к. после такой обработки отливка будет иметь более шероховатую поверхность, чем сразу после выбивки. Иногда, например, используют просто очистку поверхности от остатков песка проволоочной щеткой [8, 10].

При иных условиях для очистки вакуумных отливок требуется минимум в 2 раза меньше времени, чем для очистки отливок, изготовленных другими способами литья в разовые песчаные формы. Кроме этого, техобслуживание очистного оборудования является наиболее дорогим в сравнении с другими типами оборудования, и лишь потому, что такие установки спроектированы по сути для саморазрушения. Любое сокращение времени очистки отливок будет способствовать продолжительности срока службы такого оборудования.

Универсальность

V-процесс применим для всех основных используемых в литейном производстве металлов — чугунов, сталей, алюминия, медных и специальных сплавов. Поэтому первоначально организовав производство на базе технологии ВПФ для выпуска отливок из определенного материала, следует учитывать и другие ее потенциальные возможности, т.е. дальнейший переход на другие сплавы. Например, на одной линии ВПФ можно производить отливки из серого чугуна, стали или алюминия с применением одинакового песка,

1 пленки и одинаковой оснастки без необходи-
2 мости сложной переналадки производства.

3 Отсутствие связующего

4 Данное преимущество часто недооценива-
5 ют. Литейщики обычно учитывают стоимость
6 бентонита для ПГС или химических связу-
7 ющих для ХТС и т.п., но обычно забывают
8 брать в расчет также затраты на их транспор-
9 тировку, обработку, хранение, амортизацию
10 оборудования смесеприготовления и другие
11 не прямые расходы.

12 Напротив, хранение партии пленки для
13 ВПФ в течение многих месяцев на небольшой
14 площади обходится в минимальные затраты.
15 Пленка для ВПФ при правильных условиях
16 может храниться длительное время (12 меся-
17 цев и больше), поэтому отдел снабжения на
18 заводе может удобно планировать закупки
19 пленки — в подходящий момент с учетом го-
20 дового колебания мировых цен на продукты
21 нефтехимии, как в последние кризисные годы.

22 Отсутствие смесителя

23 Данный фактор способствует не только
24 снижению энергозатрат, но и значительному
25 уменьшению отходов, так как их источником
26 в большинстве случаев является именно сме-
27 ситель, который к тому же часто плохо обслу-
28 живается.

29 Отсутствие выбивной виброрешетки

30 Еще один фактор экономии электроэнер-
31 гии и затрат по техобслуживанию. Кроме того,
32 при ВПФ нет риска деформации отливок во
33 время процесса выбивки.

34 Упрощение системы подготовки песка

35 Все, что необходимо для системы под-
36 готовки песка, это стационарная выбивная
37 решетка с размещенной под ней воронкой
38 и транспортным конвейером, устройство ох-
39 лаждения песка, сито для сепарации песка от
40 остаточного материала, бункер-накопитель
41 и бункер для заполнения полуформ песком.
42 Такие дорогостоящие устройства, как сме-
43 ситель, формовочный автомат, традиционные
44 выбивные решетки по ПГС и ХТС, многие
45 транспортеры и т.д. не требуются.

46 Песок в ВПФ не содержит никаких 47 дополнительных компонентов

48 Что происходит со смесью ПГС, которая
49 используется после ее приготовления? Это

50 знает каждый литейщик — она подсыхает при
51 транспортировке, пересыпке и/или приоста-
52 новке работы линии. V-процесс имеет еще
53 более важные преимущества по сравнению с
54 технологиями ХТС, в т.ч. из-за фактора вре-
55 мени при отверждении смеси ХТС. Нет необ-
56 ходимости выгребать смесь ХТС из бункеров
57 и конвейеров, если формовка по каким-то
58 причинам простаивала определенное время.
59 Сухой, не содержащий связующих элемен-
60 тов песок в V-процессе может использоваться
61 сразу после его охлаждения, а может также
62 быть в любое время складирован на неопре-
63 деленный срок.

64 Снижение потребления энергии

65 Потребление энергии значительно сокраща-
66 ется в основном за счет исключения дополни-
67 тельного оборудования, такого как смеситель,
68 выбивная решетка, формовочная машина ПГС
69 на гидравлических или пневматических при-
70 водах. Основным потребителем электроэнер-
71 гии становится вакуумная система. Хорошее
72 устройство управления вакуумными насосами
73 может сэкономить еще большее энергоресур-
74 сов. Количество действующих вакуумных уста-
75 новок (единиц) пропорционально количеству
76 форм, находящихся под вакуумом: чем боль-
77 ше форм, тем больше объемный расход ($m^3/$
78 час) вакуумной системы. Также важно пони-
79 мать, что для охлаждения форм не требуется
80 постоянного подключения вакуума — только
81 в первые минуты, пока не кристаллизуется и
82 не затвердеет поверхностный слой отливки.
83 Оператор просто должен установить времен-
84 ной промежуток после заливки до отключения
85 вакуума, и далее отливка будет просто охлаж-
86 даться в форме до необходимой температуры.
87 Далее для транспортировки и/или выбивки
88 форм вакуум снова подключают к опокам.

89 Снижение процента брака

90 При ВПФ такой важный для других тех-
91 нологий формовки фактор как качество пе-
92 ремешивания смеси в принципе отсутствует.
93 Это отражается и на уменьшении литейных
94 дефектов отливки. Конечно, речь идет не обо
95 всех известных литейных дефектах, а только
96 от тех, которые возникают по причине соста-
97 ва и качества смеси (смесь ненадлежащего ка-
98 чества, неравномерное уплотнение формы по
99 объему и др.). Примеры отечественных заво-
100 дов ВКМ-Сталь (Саранск) и ТВСЗ (Тихвин)

подтверждают, что среди всех ранее известных литейных производств крупных стальных ЖД отливок достигнут минимальный процент брака (менее 1%) — по технологии ВПФ на немецких АФЛ фирмы HWS-Sinto.

Другой немаловажный факт — меньше пригара на отливке. Подкорковый слой вакуумной отливки также обладает примечательными качествами. Пригара в привычном понимании не возникает, т.к., с одной стороны, полная покраска формы предотвращает реакцию между металлом и формовочным материалом, а с другой стороны, эффект термоудара в сухом формовочном материале существенно ниже, чем при литье в сырую форму.

Отсутствие воды в форме

Многие проблемы, с которыми в настоящий момент сталкиваются технологи-литейщики, возникают по вине неправильной дозировки пропорций воды в смеси по технологии ПГС. Т.е. воды может быть слишком много или слишком мало для получения качественной формы, а также существует проблема повышенного газовыделения при заливке «влажных» форм и т.п. Помним, что при ВПФ этих проблем просто не существует.

Отливка без внутренних напряжений

Постепенное и равномерное охлаждение отливки снижает вероятность возникновения внутреннего напряжения. Даже при довольно высоких требованиях, предъявляемых к состоянию внутреннего напряжения, обычно не возникает необходимости отжига для выравнивания внутренних напряжений.

Снижение расходов на модельную оснастку

Снижение затрат при производстве «вакуумных» отливок начинается уже на этапе изготовления модели. Благодаря тому, что пленка не допускает непосредственного контакта формовочного песка с моделью, и, следовательно, предотвращает износ модели, нет необходимости использования дорогостоящих металлических либо пластмассовых моделей: для производства вакуумных отливок подходят достаточно стабильные деревянные модели.

Имеющиеся в литейном цехе модельные плиты от других технологий формовки вероятнее всего подойдут и могут быть использованы и для линии по технологии ВПФ. Единственное, что необходимо, например, просто переставить модели на фанерную плиту, ко-

торая устанавливается в держатель модельных плит вакуумно-пленочной установки. Что касается отверстий, через которые происходит вакуумирование, то их выполнение не связано с какими-либо трудностями — они могут быть выполнены впоследствии без каких-либо проблем простым сверлением. Возможно даже использование ремонтных пластиков для заполнения при ремонте уступов или углублений на модели. Это позволит сократить затраты на приобретение новых моделей, а также сократить работы по зачистке литья.

Уменьшение объема техобслуживания модели

Так как модель никогда не соприкасается с абразивным песком (между ними всегда пленка, иногда покрытая противпригарной краской), никакого износа модели не происходит. Это означает существенную экономию, особенно при переходе от технологий ПГС и ХТС на технологию ВПФ.

Нет необходимости опрыскивать модель

Процесс протяжки полуформы от модели при ВПФ является очень простым. Кроме того, при ВПФ нет необходимости нанесения разделительного состава на модель. Это выгодно не только с экономической точки зрения, т.к. сокращаются текущие расходы на материалы, перевозку, хранение, инвентаризацию; но также в плане экологии, что наверняка заинтересует заводские службы, отвечающие за экологический надзор.

Меньшей площадью

Это индивидуально для каждого конкретного случая, но если занимаемую площадь можно сократить, это будет важным фактором. Формы по ХТС перед заливкой обычно долго выдерживают (иногда до 24 часов), а формы по ВПФ можно заливать сразу.

Уменьшение размерных допусков

Так как форма является стабильной, а отливки производятся с более высокой размерной точностью, могут быть сокращены допуски на механообработку. Каждый машиностроитель заинтересован в этом, т.к. себестоимость в т.ч. зависит и от первоначального веса отливки. Это особенно важно, например, для отливок деталей горнодобывающего и -перерабатывающего оборудования из марганцовистой стали, которые крайне сложно обрабатывать [11—14].

Литье без конусности

В отличие от отливок, изготавливаемых по традиционным технологиям, при V-процессе можно, по крайней мере, частично отказаться от уклона модели. Благодаря реверсивному переключению вакуума в процессе производства песчаных форм, например при отрыве полуформы от модели, между моделью и пленкой практически не возникает сопротивления трения; таким образом, модель легко извлекается и при уклонах форм около 0°.

Лучшая заполняемость форм — проверено спиральными пробами на жидкотекучесть

Вакуум в форме работает на эффект отсоса воздуха и способствует, таким образом, как бы «затягиванию» металла во все зоны будущей отливки — в литники и более тонкие стенки отливки.

Не обязателен опыт работы

Установки ВПФ могут обслуживаться персоналом без дополнительного специального обучения, так как технология формовки проста в изучении. Это существенное преимущество по сравнению с песчано-глинистой формовкой, а также по сравнению со многими технологиями формовки по ХТС.

Меньше контроля параметров формовочной смеси

Технология ВПФ подразумевает только использование обычного песка, где не присутствуют какие-либо составляющие, которые требовали бы контроля по параметрам влажности, прочности, газопроницаемости, процента содержания бентонита или углеродсодержащих материалов и т.д.

Снижение стоимости смеси

Это актуально в любом случае, так как потребность в добавлении свежего песка очень мала (даже без использования стержней), и песок может использоваться повторно в течение примерно 18 месяцев. Единственные расходы — это расходы на транспорт на «кругооборот» и при необходимости охлаждение песка.

Чрезвычайно простая система транспортировки песка с места выбивки

Тому, кто ни разу не видел процесс работы АФЛ по ВПФ, трудно поверить, что песок высыпается из формы без какой-либо вибрации. На поверхности более массивных отли-

вок может оставаться песок до момента, пока отливка не остынет. Его возможно удалить простой очисткой этих поверхностей. Если отливки могут более долго охлаждаться, пока цвет поверхности не станет черным, то с уверенностью можно сказать, что к этому времени никакого песка на отливке не останется. Часто применяется пневмотранспорт песка.

Исключена деформация опоки

Так как опоки не подвержены воздействию вибрации (как, например, на встряхивающих машинах), прессования или иных нагрузок, уменьшается объем работ по техническому обслуживанию опок.

Можно производить небольшие отливки в больших формах

Если программа производства требует изготавливать мелкие отливки в больших формах, это легко осуществимо. Забудьте о соотношении металл/форма. Любые объемы песка могут использоваться без каких-либо дополнительных затрат на связующее; также нет проблем, например, связанных с необходимостью первоначального получения полного объема горелой смеси для заполнения системы смесеприготовления по технологии ПГС для снижения брака отливок.

Возможно сокращение количества прибылей

Мы предполагаем, что литейщики очень настороженно относятся к отказу от прибылей, которые до сих пор были необходимыми для получения качественной отливки. Однако в V-процессе усматриваются два условия, которые могут заставить над этим задуматься. Во-первых, форма ВПФ плотнее и стабильнее, чем по ПГС, таким образом, металл просто застывает в форме из жидкого состояния, и не способствует особой деформации формы. Во-вторых, прибыли охлаждаются медленнее, чем обуславливается более длительное их функционирование. При использовании ВПФ прибыли могут быть уменьшены, а некоторые из них удалены.

Снижение инвестиций на покупку оборудования

Это не обязательное обстоятельство, но, в целом, линия для производства небольшого объема литья по V-процессу может быть установлена при более низких капитальных затратах, чем линия песчано-глинистой формовки,

отчасти потому, что в составе оборудования нет смесителя и мощного формовочного автомата (с фундаментом).

Улучшение общей обстановки на рабочем месте

Лучшее улавливание пыли. Сухой мелкий песок без каких-либо связующих, конечно же, содержит пыль, поэтому на всех передаточных позициях необходимо предусмотреть точки пылеудаления. При этом пыль подается в бункер-накопитель, накапливается там, чтобы потом снова быть использованной в системе пескооборота. Преимущество также состоит в том, что таким образом сохраняется стабильность гранулометрического состава песка. Сравните этот момент с технологиями ПГС и ХТС, где удаление «вредной» пыли и ее утилизация являются дополнительной крупной статьей расхода.

Уменьшение мощности вытяжной вентиляции

Важно отметить, что во время и после заливки вакуумная система работает и как система для вытяжки газов, а весь объем удаляемого воздуха проходит как бы через звукоизолированный водяной фильтр при использовании водокольцевых вакуумных насосов.

Снижение уровня шума

Это нельзя назвать прямым преимуществом с экономической точки зрения, однако данный фактор, несомненно, обеспечивает более комфортную обстановку на рабочем месте и создает гуманные условия для оператора формовочной линии, снижает риск нарушения слуха. Единственным источником шума являются насосы и моторы, которые, как правило, размещают в отдельном изолированном помещении.

Меньшая загазованность и отсутствие неприятных запахов

Как было ранее отмечено, технология ВПФ исключает использование «литейной химии», традиционной для других процессов. Поэтому из производственного процесса исключаются не только пахучие вещества, но и большая часть обычного дыма, газов и запахов, которые, как правило, сохраняются в обычном литейном цехе в течение многих часов после заливки. Газы от стержней при заливке также удаляются за счет подключения к форме вакуума.

Уменьшение проблем отвода стержневых газов

В большинстве случаев, возможно отказаться от вентилирования стержней, так как на краю стержневого знака вблизи отливки, пленка «выгорает» и освобождает небольшую область находящейся под вакуумом формы. Через нее происходит удаление стержневого газа. Если этого недостаточно для удаления всех возникающих стержневых газов, в пленке на противоположной стороне стержневого знака можно проделать небольшие отверстия — это улучшит процесс отвода газа.

Возможность формовки сложных деталей за счет отъемных элементов модели

Стоит также упомянуть возможность применения отъемных частей модели. Боковые поднутрения могут оформляться с меньшими затратами, если использовать съемные детали на модели. Крепежные выступы могут располагаться как по внешнему, так и по внутреннему контуру; образующееся в результате боковое поднутрение закрывается отъемной частью модели или выгораемой вставкой.

Недостатки или нюансы технологии ВПФ

Было бы несправедливо перечислить только преимущества ВПФ, не упомянув нюансов первоначального освоения этой технологии. Можно привести некоторые аспекты развития и внедрения технологии ВПФ:

— Первоначально около 20 лет после первых поставок АФЛ по ВПФ была необходима лицензия и выплаты за использование технологии — теперь уже не требуется.

— Пластиковая пленка является продуктом нефтехимии, а изделия с применением нефти будут дорожать в цене, однако эти подорожания не будут существенно влиять на общие затратные статьи, так как пленка является относительно небольшой статьей издержек при производстве отливок (незначительные затраты на 1 тонну литья, например в сравнении с добавкой смолы/катализатора для ХТС).

— Применение нюансов новых технологий, например особенности «вакуумной» литниковой системы и отличной от традиционной литниковой системы по ПГС, которые необходимо изучать.

— Необходимы изменения конфигурации моделей, даже если они незначительные.

1 — V-процесс подходит для производства не
2 всех отливок. Но ни одна технология формов-
3 ки не может это обеспечить.

4 — Необходим процесс обучения для тех
5 технологов, кто ранее не работал на АФЛ по
6 ВПФ.

7 V-процесс является технологией, которая
8 всего лишь несколько десятилетий назад была
9 взята на вооружение литейной промышлен-
10 ностью. И хотя основополагающие знания об
11 этой технологии, собранные путем проведе-
12 ния огромного количества экспериментов и
13 на основе практического опыта — например,
14 о пленке, краске и т.д., а также о необходи-
15 мом машинном оборудовании — в будущем
16 не утратят своей актуальности, необходимо
17 осознание того, что эта технология будет со-
18 вершенствоваться и в дальнейшем. Поэтому
19 всю актуальную информацию о технике фор-
20 мовки вакуумно-пленочным способом Вы
21 сможете получить, напрямую связавшись с
22 фирмой HWS-Sinto (Германия), с литейны-
23 ми заводами, где успешно работают АФЛ по
24 ФПФ и/или ознакомившись с публикациями
25 в литейных журналах [1–14].

26 Три кризиса (2008 г. — 2014 г. — 2020 г.) 27 и успехи выхода из кризисов литейных 28 заводов, оснащенных АФЛ 29 по технологии ВПФ

30 Кроме рассмотренного выше опыта осво-
31 ения технологии ВПФ также особо следует
32 отметить и опыт производства стержней для
33 крупных стальных ЖД отливок. Так большин-
34 ство сравниваемых литейных заводов имеют
35 равные условия производства песчаных ли-
36 тейных стержней при изготовлении крупных
37 ЖД отливок на едином оборудовании не-
38 мецкой фирмы Laetpre: 12 машин Laetpre на
39 УВЗ, г. Нижний Тагил; 7 машин Laetpre на
40 Промлит, г. Чебоксары; 10 машин Laetpre на
41 ТВСЗ, г. Тихвин; 8 машин Laetpre на БСЗ,
42 г. Брянск; 5 машин Laetpre на ВКМ-Сталь,
43 г. Саранск.

44 Краткие выводы по преимуществам техно-
логии изготовления отливок по ВПФ:

- заполняемость формы металлом при заливке выше на 30% чем при сырой формовке (доказано на пробах на жидкотекучесть);
- форма обеспечивает минимальную температуру заливки металла за счет высокой заполняемости и теплоемкости;

- самая низкая себестоимость отливок, на 25...30% дешевле отливок, полученных в песчаной форме, и существенно дешевле аналогичных отливок в формах из ХТС;
- нет традиционной системы смесеприготовления, достаточно транспортных операций с сухим песком (иногда только обеспыливание и охлаждение песка);
- нет отходов и системы регенерации смеси, высокая экологичность;
- превосходное качество поверхности отливок без доводок (шероховатость 100 мкм для стали, для других отливок RZ-70 и выше);
- возможность изготовления тонкостенных стальных отливок;



Рис. 7. Выход заводов из кризиса 2008 года (в реальности 2007–2009 гг.) — Промлит (оснащен линией ВПФ), в сравнении с тремя другими заводами, работающими по технологии ПГС

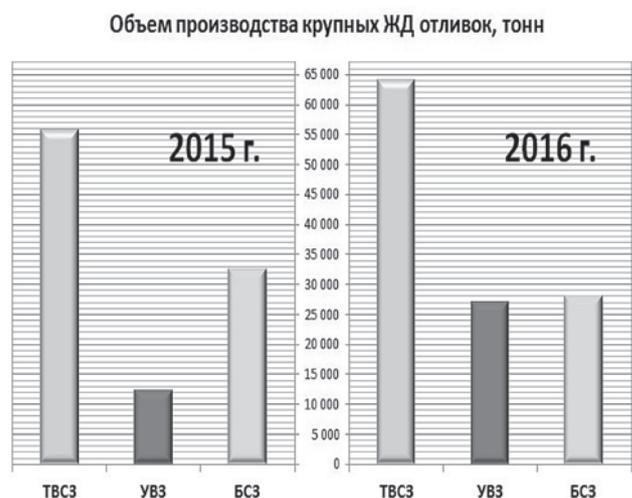


Рис. 8. Результаты выхода из отечественного кризиса 2014 года трех ведущих заводов — на ТВСЗ (г. Тихвин) успешно работает АФЛ только по одной технологии — ВПФ, а на УВЗ и БСЗ технология ПГС

Объем производства крупных ЖД отливок, тонн

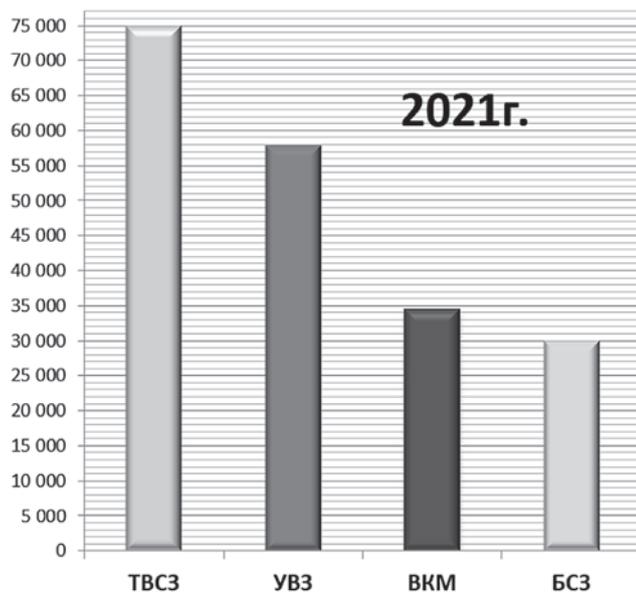


Рис. 9. Результаты выхода из мирового кризиса (пандемии 2020—2021 гг. года) 4-х ключевых заводов (по нашим оценкам). Теоретическая производительность АФЛ по ВПФ на ВКМ в 3,5—4 раза меньше, чем, соответственно на заводах — ТВСЗ, УВЗ, БСЗ

- возможность обеспечения формовочного уклона до 0 град. или отрицательных уклонов с помощью отъемных частей модели;
- долгий срок службы моделей, низкий износ моделей, изготовленных обычно из пластмассы или дерева; нет контакта модели с песком (только с пленкой, что исключает износ);
- минимальный расход заливаемых материалов, меньше прибыли и т.д.;
- существенное уменьшение условий для «горячих трещин»;
- возможность выбивки отливок при высоких температурах;
- меньше затрат на термообработку отливок;
- нет необходимости в специальном обучении персонала.

Вывод

На каждом этапе научно-технического развития для каждой конкретной номенклатуры отливок есть только одна самая эффективная из всех известных технологий разовых песчаных форм и сегодня это ВПФ для крупных стальных ЖД отливок, которая пришла на смену технологии ПГС, активно применяемой в прошлом веке. Однако для большинства

других отливок (например, автомобильных тормозных вентилируемых дисков) технология ПГС является самой востребованной, а АФЛ по Сейатцу-процессу немецкой фирмы HWS-Sinto, по сути, являются современным стандартом изготовления разовых форм ПГС для мирового автопрома.

Использованная литература

1. Буданов Е.Н. Экспорт стальных ЖД отливок в США — результат внедрения линий по технологии ВПФ // Литейщик России. — 2019. — № 07.
2. Буданов Е.Н. Кризис вагоностроения России из-за проблем с крупными стальными отливками // Литейное производство. — 2013. — № 05.
3. Буданов Е.Н. Достижения и опыт лидера по производству отливок для инновационных вагонов России — Тихвинского вагоностроительного завода // Литейщик России. — 2017. — № 03.
4. Котлягин Е.Г. Производство стальных железнодорожных отливок по вакуумно-пленочной технологии изготовления литейных форм на ООО «ВКМ-Сталь» // Литейщик России. — 2014. — № 01.
5. Костромичев Ю.Н. Интервью // Литейное производство. — 2010. — № 11.
6. Буданов Е.Н. Выбор технологии изготовления стальных отливок для железнодорожного вагонного парка // Литейное производство. — 2004. — № 8, № 10.
7. Вернинг Х., Вебер Ф. Технология вакуум-пленочной формовки для производства высококачественных отливок // Литейное производство. — 2004. — № 10. — С. 10—14.
8. Мельников И.А., Буданов Е.Н. Оптимальная технология для точных отливок с качественной поверхностью // Литейное производство. — 2011. — № 05.
9. Голенков Ю.В., Мельников И. Опыт самого массового производства литых автокомпонентов — тормозных вентилируемых дисков // Литейщик России. — 2014. — № 03.
10. Буданов Е.Н. Эффективность Вакуум-процесса на заводе North Vernon Industry Corp., США // Литейщик России. — 2007. — № 1.
11. Мельников И.А., Буданов Е.Н. Отливки по вакуумно-пленочной формовке, изготовленные на заводе ME Elcometal (США) для космической и других отраслей промышленности. // Литейщик России. — 2007. — № 9.
12. Мельников И. Три линии вакуумно-пленочной формовки на предприятии The Frog, Switch & Manufacturing Company, США // Литейщик России. — 2007. — № 5.
13. Веревкин А. Отливки для крупнейшего производителя оборудования (мельниц, дробилок) — холдинга Sandvik // Литейщик России. — 2005. — № 6. — С. 41—46.
14. Буданов Е.Н. Производство отливок из марганцовистой стали по технологии вакуумно-пленочной формовки // Литейщик России. — 2014. — № 09.