

УДК 621.74.669.11:041

**Е. Н. Буданов** (Фирма "Автотекс")

## Выбор технологии изготовления стальных отливок для железнодорожного вагонного парка

Фирма HWS — Heinrich Wagner Sinto в составе концерна Синто изготавливает линии по всем трем известным технологиям формовки.

За эти годы фирмой поставлено следующее количество комплектных формовочных линий:

- V-процесс ~250 ед., до 50...100 форм/ч, опоки габаритами до 5000...8000 мм;
- безопасная горизонтальная форма в сборе со стержнями (FBO) > 200 ед., до 180 форм/ч;
- песчаная форма (ПФ) — Seitsu-процесс > 500 ед., до 250 форм/ч, опоки до 3000 мм;
- ХТС-процесс, No Bake ( $\alpha$ -set, "Фуран") > 600 ед., для единичного быстропереналаживаемого производства отливок без определенного размера формы, опочный и безопасный варианты (смесители, кантователи, конвейеры, вибростолы, регенерация и т.д.).

В последние два года фирмой был проведен тщательный анализ и выбор оптимального варианта технологии изготовления *рамы боковой, балки надрессорной, сцепки* и других отливок грузовых вагонов. Изучен опыт многих предприятий по изготовлению различных стальных отливок, особенно крупных, для железных дорог Японии, Китая, отливок, изготавливаемых на четырех производствах *рам боковых и балок надрессорных* России и Украины.

Владея всеми тремя видами технологий (ХТС, ПФ, V-процесс), специалисты фирмы рекомендуют применять V-процесс для изготовления *рамы боковой, балки надрессорной* и аналогичных им по размерам и программе отливок. Результаты исследований и шаги по модернизации заводов были проанализированы, а соответствующие результаты легли в основу вывода о бесспорном приоритете V-процесса для железнодорожных (ЖД) отливок.

Характеристики ЖД-отливок, полученных по V-процессу.

- Они дешевле на 25...30%, чем аналогичные отливки, полученные в ПФ, которые в свою очередь существенно дешевле отливок, полученных по ХТС.
- Качество поверхности отливок самое высокое по V-процессу (до RZ-70). Нет причин для брака по газовым раковинам и газовой пористости по вине формы. Форма по V-процессу — из обыч-

ного кварцевого сухого песка (без бентонита, воды при ПФ и без смол ХТС). Более того, в момент заливки и охлаждения из формы и стержневых знаков идет активный отсос газов системой вакуумирования. Заполняемость формы металлом по V-процессу на 30% выше, чем ПФ, что обеспечивает возможность заливки при меньшей температуре и, соответственно, более тонкостенных отливок.

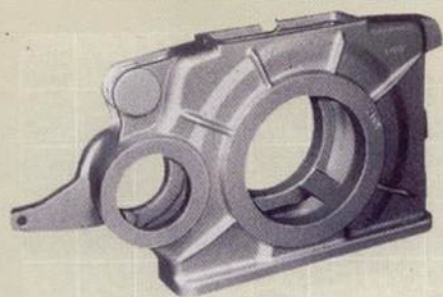
- Данные ЖД-отливки требуют использования опок 3000 × 1800 × 500 мм. Размер 3000 мм — средний и оптимальный для V-процесса, однако он слишком высок для ПФ, особенно для стальных отливок. Для ПФ при условиях использования АФЛ оптимальный размер опоки — до 1500...2000 мм. При этом есть примеры опок по V-процессу габаритами 8000 и даже 10000 мм.
- V-процесс требует минимального состава оборудования — нет необходимости в дорогих устройствах регенерации смеси, смесителях и т.д., как для ПФ и ХТС. По V-процессу используют сухой песок, который циркулирует в обороте с простейшим удалением различных включений и охлаждением.

Оптимальный выбор технологии для изготовления стальных ЖД-отливок в современных условиях конечно принципиально отличен от традиционных вариантов изготовления отливок на базе разработок 40-летней давности. V-процессу всего 30 лет, ПФ — тысячи лет. Для отливок *рам боковых, балок надрессорных, автосцепок* и других ЖД-отливок целесообразно использовать V-процесс в первую очередь, так как это крупные стальные отливки массового производства.

Результаты вакуумной технологии можно увидеть на некоторых заводах Германии, Швеции, Франции, США, Японии, где производят крупные стальные отливки по V-процессу, более сложные, чем *рама* и *балка*. Кроме того, например, *стрелочные переходы* для рельсовых путей в США и Японии также изготавливаются по V-процессу.

История завода Sandvik (Швеция) может проиллюстрировать смену технологий литейных форм для крупных стальных отливок: от песчаной (50-е гг.) до вакуумно-пленочной (с 80-х гг. до настоящего вре-





Gear Case, SC46, 162kg



Side Frame, SC49, 310kg



Axle Box, SC46, 101kg



Axle Box, ASTM A-148 Gr. 80-40, 61kg



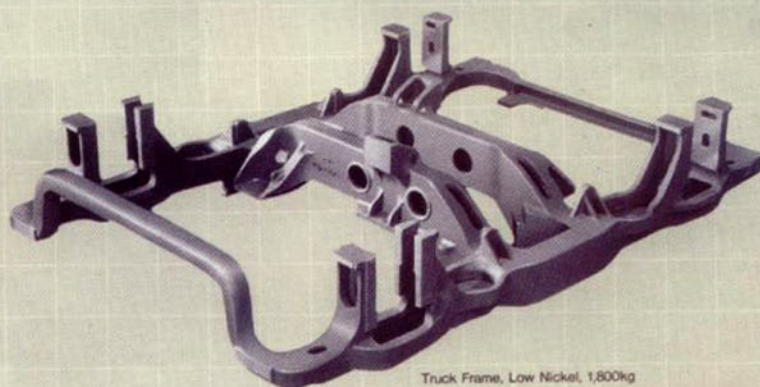
Brake Beam, SC49, 58kg



Bolster, SC49, 320kg

отливки по V-процессу,  
изготовленные на заводе  
в Японии (Nippon Sharyo)

отливки по V-процессу,  
изготовленные  
на заводе в Китае



Truck Frame, Low Nickel, 1,800kg

Рисунки к статье

Е.Н. Буданова

**Выбор технологии  
изготовления**

**стальных отливок**

**для**

**железнодорожного  
вагонного парка**





мени). Завод Sandvik по праву может быть назван самым современным сталелитейным заводом Европы. Отливки характеризуются исключительной размерной точностью.

### Характеристика литейного производства завода Sandvik

Сплавы: 80% продукции — марганцовистая сталь, 20% — углеродистая сталь. 12-т отливки ответственного назначения.

**40...50-е гг.** Изготовление отливок только в "сырых" песчаных формах, (связующее — бентонит, встряхивающие прессовые машины).

**Конец 50-х — начало 60-х гг.** Некоторые формы изготавливают при помощи самотвердеющей формовочной смеси на масляном крепителе (сушка форм в сушильной печи).

**70-е гг.** Освоение ХТС на основе фурановой смолы, продолжение работ по бентонитовым смесям.

**Начало 80-х гг.** Освоение V-процесса на опоках 1250 × 1250 × 300/750 мм на одной формовочной машине (15% отливок).

**1998 г.** Применение V-процесса (II этап модернизации) на второй формовочной машине для крупных форм: 2400 × 2400 × 900/900, 2400 × 2400 × 500/900, 2000 × 2000 × 500/900 и 2000 × 2000 × 900/900 мм (70% отливок). Параллельно используется встряхивающая с подпрессовкой машина для изготовления сырых песчаных форм (связующее — бентонит).

**2000 г.** Окончательный и полный перевод формовки на V-процесс (III этап модернизации). Демонтаж последней встряхивающей машины. Добавлены формы: 1450 × 1450 × 300/750 и 1450 × 1450 × 750/300 мм (97% отливок).

Высота отливки (max) — 1600 мм при высоте опоки 900/900 мм.

Масса (max) — 8...10 т, имеется опыт по более крупным отливкам (12 т).

Используемая краска — на спиртовой основе с магнетитом (Foseco) тип ISOMOL 580, покрытие Teno 5000A-80.

Используется оливиновый песок, как и на других предприятиях Швеции, выпускающих отливки из стали, независимо от способа формовки.

Термообработка отливок: отжиг — нагрев в течение 5 ч до 1150°C и ~30 мин — выдержка. Затем охлаждение водой.

Что касается очистки поверхности, то отливки иногда получают с поверхностью RZ-80, без дополнительной обработки, только обдув от песка.

История модернизации производства крупных стальных отливок подтверждает правильность выбора вакуумно-пленочной формовки для производства рам боковых, балок надрессорных, автосце-

пок и т.д. При этом многие мелкие отливки также эффективно изготавливать по V-процессу.

Для реализации проекта изготовления отливок рамы и балки в октябре 2002 г. Японию посетили специалисты МПС РФ, "Промлита" (г. Чебоксары) и германского филиала фирмы HWS. Исследована и тщательно проанализирована технология изготовления данных отливок по V-процессу. Известно, что на HWS и в головном концерне Sinto в Японии работают квалифицированные исследователи и технологи, которые запустили в работу десятки формовочных линий и имеют опыт, который будет полезен клиентам этой фирмы. Следует учесть и то, что по V-процессу нет других поставщиков оборудования, так как именно HWS является владельцем патента на V-процесс. Более того, до 1993 г. фирма Mitsubishi выплачивала проценты с каждой отливки, изготовленной по вакуумной технологии.

### Пример выбора технологии HWS для крупных стальных отливок

Например, при выборе технологии изготовления стальных ЖД-отливок рамы и балки анализ результатов при равном уровне автоматизации и производительности 20 форм/ч (20 т отливок в час) показали следующее.

#### 1. Именно V-процесс позволяет получать самые качественные и самые дешевые отливки

Самые же дорогие и с большей склонностью к "горячим трещинам", "газовой пористости" и другим дефектам — это отливки, изготовленные по No Bake (Фуран-процессу).

Средний вариант по затратам на изготовление — литье в ПФ. При этом, разрыв между V-процессом и No Bake — значительный, как по качеству отливок, так и по текущим затратам.

#### 2. Начальные инвестиции

V-процесс не требует смесеприготовления и регенерации (только охлаждение и транспортировка обычного сухого кварцевого песка). Фуран-процесс и ПФ требуют значительных инвестиций на оборудование для смесеприготовления, регенерации, дополнительных цеховых площадей и т.д. Устройства автоматизации (кантователи, сборщики, конвейеры заливки и т.д.) примерно равны по цене. Однако длина участков изготовления форм, заливки и охлаждения по V-процессу намного короче. Например, по Фуран-процессу съем опоки с модели — через 45 мин (min), заливка — через 1 ч (min, лучше через несколько часов). Стоит учесть, что сумма начальных инвестиций при программе 20 форм/ч не сильно зависит от производительности линии, так как необходима минимальная комплектация (для любой технологии).

### 3. Размер формы

Для двух отливок оптимален выбор опок 3000 × 1800 × 500/500 мм. Максимальный размер — 3000 мм реален для V-процесса и ХТС. Для ПФ размеры опок > 2000 — уже “экзотика” и редкое исключение (эксперимент). Например, в г. Абакане линия так и не была пущена в работу и разобрана на запчасти. Анализ линий песчаной формовки показал, что АФЛ с опоккой 3000 мм и выше в мире нет. Для стали “красная черта” по размеру опок еще ниже ~1200...1500 мм.

Из 970 линий, поставленных разными фирмами в последние десятилетия, < 1% с опоккой > 2000 мм (3000 мм по обсуждаемому проекту нет вообще). Вот примеры АФЛ, рассчитанных на крупные опокки.

|                                   |         |               |
|-----------------------------------|---------|---------------|
| Германия.....                     | 1962 г. | 2100 мм       |
| Италия.....                       | 1966 г. | 2500 мм       |
| г. Абакан.....                    | 1966 г. | 2900 мм       |
| г. Кременчуг.....                 | 1973 г. | 2900 мм       |
| Индия.....                        | 1983 г. | 2900 мм       |
| Будерус (Германия).....           | 1995 г. | 2000 мм (СЧ)  |
| G. Fischer (г. Лейпциг, Германия) | 1992 г. | 2500 мм (ЧШГ) |
| Турция, Döktas.....               | 1996 г. | 1950 мм (ЧШГ) |

В то же время по V-процессу поставлено ~40% линий с опоккой > 2000 мм, есть опока 8000 мм. Если с опоккой 1500 мм по V-процессу — 56% линий, то по ПФ — единицы. Вывод. Если опока > 1700 мм, выбор — V-процесс или ХТС. Анализ выполнен по референц-листам различных поставщиков АФЛ за последние 20...40 лет.

#### Фактор размера и площади опоки 3000 мм × 1800 мм = 5,4 м<sup>2</sup>

1. 5,4 м<sup>2</sup> — площадь кухни в “хрущевке”. Представьте пресс, который из сырой смеси (с 4% воды) делает прочную и равномерную форму. Таких линий для ПФ в мире более чем за 20 лет не было. Но были линии по V- и ХТС-процессам для опок гораздо больших размеров.

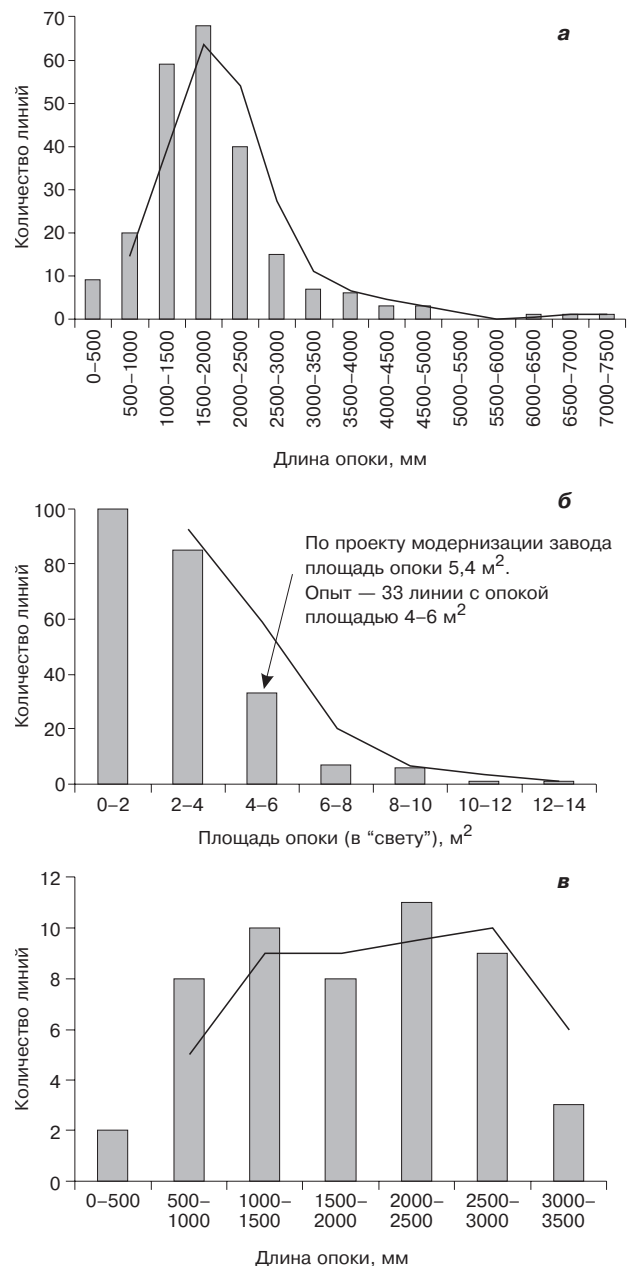
В чем же разница ПФ, ХТС и V-процессов? ПФ уплотняется прессованием с поверхности и, соответственно, неравномерно по объему. Форма по ХТС и V-процессам уплотняется объемно, то есть каждое зерно за счет вакуума уплотняется индивидуально, а в целом объемно и равномерно. Поэтому фактор размера и площади опоки по V-процессу на порядки менее значим, чем для ПФ, по которому начинаются зоны риска (а часто и 100%-ного риска) и брака на больших опоках.

2. Анализ опыта сотен заводов, на которых успешно работают АФЛ по V- и ПФ-процессам, показали следующее:

- для опок ≥ 2000 мм V-процессом в Европу поставили ~40%; для ПФ — до 1% АФЛ;

- для опок > 2500 мм за последние 20 лет для ПФ не было ни одного поставщика оборудования; по V-процессу появились линии с опоками 3000, 3500, 3950, 4500, 4900, 6050, 6700, 7100 мм и др. То есть, линии по V-процессу имели двойной “запас” по габариту опоки.

3. Следует отметить, что после развития V- и ХТС-процессов максимальные длина и площадь опоки на линиях с ПФ существенно уменьшились. Более того, если в 70-е гг. технология ПФ была реализуема чаще встряхиванием, то сегодня это только воздушный поток + прессование. Поэтому опираться на опыт со встряхивающими машинами не представляется возможным, когда говорим о крупных опоках, уплотняемых современными методами ПФ.



▲ Рис. 1

Таблица 1

| Опоки размером, мм, более | ПФ           | V-процесс         |
|---------------------------|--------------|-------------------|
| 1500                      | 22 / 4,50    | 116 / 52,02       |
| 1700                      | 9 / 1,84     | 94 / 42,15        |
| 1900                      | 5 / 1,02     | 78 / 34,98        |
| 2100                      | 2 / 0,41     | 57 / 25,56        |
| 2300                      | 2 / 0,41     | 46 / 20,63        |
| <b>2500</b>               | <b>0 / 0</b> | <b>29 / 13,00</b> |
| <b>3000</b>               | 0 / 0        | 16 / 7,17         |
| 3500                      | 0 / 0        | 13 / 5,83         |
| 4000                      | 0 / 0        | 9 / 4,04          |

Примечания. 1. Всего изучено линий: для ПФ — 489, для V-процесса — 223.  
2. В числителе — количество, шт., знаменателе — %.

Таблица 2

| Опока площадью, м <sup>2</sup> , более | ПФ           | V-процесс         |                   |
|--|--------------|-------------------|-------------------|
|  |              | Европа            | Япония + Европа   |
| 1,5                                    | 31 / 6,34    | 37 / 72,55        | 175 / 78,48       |
| 2,0                                    | 11 / 2,25    | 29 / 56,86        | 130 / 58,30       |
| 2,5                                    | 4 / 0,82     | 22 / 43,14        | 89 / 39,91        |
| 3,0                                    | 2 / 0,41     | 17 / 33,33        | 69 / 30,94        |
| 3,5                                    | 2 / 0,41     | 17 / 33,33        | 53 / 23,77        |
| 4,0                                    | 0 / 0        | 13 / 25,49        | 41 / 18,39        |
| <b>5,0</b>                             | <b>0 / 0</b> | <b>13 / 25,49</b> | <b>30 / 13,45</b> |
| 6,0                                    | 0 / 0        | 5 / 9,80          | 15 / 6,73         |
| 7,0                                    | 0 / 0        | 2 / 3,92          | 9 / 4,04          |

Примечания. 1. Всего изучено линий: для ПФ — 489, для V-процесса — 51 в Европе и 223 в Европе + Японии.  
2. В числителе — количество, шт., знаменателе — %.

На рис. 1 приведено количество поставленных фирмой HWS линий по V-процессу: *a*, *б* — в Японию, Россию, Европу; *в* — только в Европу; *a*, *в* — в зависимости от размера, мм, и *б* — площади, м<sup>2</sup>, опоки.

В табл. 1 и 2 дано сравнение количества поставленных в мире с 1984 по 2003 гг. линий (ПФ и V-процесс) по размерам и площадям опок.

По проекту модернизации сталелитейного производства для отливок *рам* и *балок* принята опока длиной 3000 мм и площадью 3000 × 1800 = 5,4 м<sup>2</sup>. Внимание! Площадь опок — базовый параметр при расчете сил прессования для ПФ.

Таким образом, длина и площадь опоки только для одного завода РФ существенно выше всех известных в мире линий с ПФ, но вполне соответствует аналогичным линиям по V-процессу.

Ниже приведены результаты сравнения количеств поставленных в мире с 1983 по 2003 гг. АФЛ по ПФ- и V-процессам (*A* — всего линий, *B* — ли-

ний для отливок из стали, в числителе — количество, шт., знаменателе — %).

|                | <i>A</i> | <i>B</i>   |
|----------------|----------|------------|
| ПФ .....       | 390      | 16 / 4,10  |
| V-процесс..... | 223      | 43 / 19,28 |

Анализ поставленных для стального литья линий с ПФ показывает, что 99% всех АФЛ (с 1984 г.) рассчитаны на опоку до 1900 мм. Сегодня предел для этих линий — опока 2500 мм, но и это уже экзотика. А с учетом погрешности выбора в 5%, получаем максимальный размер опоки для технологии ПФ всего 1500 мм.

Если говорить о площади опоки, то 99% всех линий, поставленных на сталзаводы с 1984 г., рассчитаны на 2,5 м<sup>2</sup>. Предел этих АФЛ — площадь опоки 4 м<sup>2</sup>. А с учетом погрешности выбора в 2%, получаем максимальную площадь опоки 2 м<sup>2</sup>. Вспомним, что в проекте модернизации Российского сталзавода — опока 5,4 м<sup>2</sup>, что для линий с ПФ хотя теоретически и возможно, но практически сложно. К тому же результат непредсказуем при сомнительном качестве более дорогих отливок.

### Производительность

ЖД-отливки — крупные, и реально можно снять лишь 15...20 форм/ч (30...40 отл./ч); 10 форм/ч экономически не выгодно, так как необходимо окупать инвестиции.

Наличие опок необходимо во всех трех случаях (V-процесс, ПФ, фуран-процесс). Для опоки размером 3000 мм “сырая” импульсная формовка достаточно трудоемка и дорога. Для V-процесса необходима лишь двухстенная сварная опока с трубами вакуумирования и конусом подвода вакуумпровода. Нет таких высоких нагрузок, как в ПФ.

Следует отметить, что при форме в 3000 мм без опоки невозможно манипулирование с ХТС-формой, проблематична точность сборки, вероятна высокая аварийность и т.д.

V-процесс — безотходный, тихий, самый “экологичный”, что в дополнение к низкой стоимости отливок высшего качества ставит его вне конкуренции при изготовлении отливок *рамы* и *балки*.

Текущие затраты на 1 т отливок — самые низкие в V-процессе. Дополнительные затраты — только на пленку, при экономии по всем другим статьям. Для ПФ — значительные затраты на бентонит, освежение песка до 25...45%, регенерацию смеси, вывоз в “отвалы” и т.д.

Проведем анализ затрат для типовых ЖД-отливок — *рамы* боковой и *балки надрессорной* (табл. 3).

Металлоемкость формы для отливки *рамы* — 970 кг, *балки* — 1190 кг. Используют низколегированные углеродистые стали 20ГЛ, 20ГФЛ, 20ГЛЛ.

Таблица 3

| Отливка | Размер, мм       | Масса отливки, кг | Программа, тыс. шт./год |
|---------|------------------|-------------------|-------------------------|
| Рама    | 2415 × 555 × 650 | 420               | 80...160                |
| Балка   | 2590 × 480 × 410 | 550               | 40...80                 |

### Песчаная формовка

Ориентировочный расчет затрат на бентонит.

Расчет песка на 1 т отливок:

- опока 3000 × 1800 × 500/500 мм — 5,4 м<sup>3</sup> (общий объем);
- металлоемкость: рамы — 970 кг или 0,124 м<sup>3</sup>, балки — 1190 кг или 0,152 м<sup>3</sup>;
- объем стержней для отливки: рамы — 2 × 214 = 428 кг или 0,281 м<sup>3</sup>, балки — 2 × 199 = 398 кг или 0,265 м<sup>3</sup>;
- объем песка в форме на 1 т отливок: рамы — 5,205 м<sup>3</sup> или 8,329...8,59 т (плотность 1,6...1,65 т/м<sup>3</sup>), балки — 5,193 м<sup>3</sup> или 8,31...8,57 т (плотность 1,6...1,65 т/м<sup>3</sup>).

Итого: расход песка на 1 т отливок 8,1...8,59 т (1 т отливок ~2 шт. рамы, балок) или 8,44 т песка (в среднем) на 1 т отливок.

Итого, затраты только на бентонит в год составляют \$5,50...6,86 млн (min) на 60 тыс. т отливок или \$9,16...10,50 млн на 100 тыс. т отливок.

Следует также учесть, что при цене \$130 за 1 т бентонита из Хакассии — качество его достаточно низкое, поэтому расход должен быть выше указанного в табл. 4. Цена \$200 за 1 т бентонита — фирмы "Бентопром" (Россия).

Сегодня реальные данные Кременчугского сталелитейного завода по ПФ для ЖД-отливок примерно следующие:

- бентонит — 3,5% для оборотной смеси и 9% — для облицовочной смеси;

- расход облицовочной смеси — 45% от объема формы;
- вывоз в отвалы — 14 тыс. т отходов смеси в месяц.

### V-процесс

Бентонит не используется.

Если в Японии на заводе Nippon Shario при производстве рамы и балок по V-процессу всего 1% брака, то на Брянском сталелитейном заводе по технологии ПФ на российских связующих — 11%, а на "Уралвагонзаводе" — 14% брака.

Выход. Даже при высокой квалификации специалистов заводов по стальным отливкам рамы и балки все возможности ПФ уже использованы.

Даже если предположить ошибку в оценке брака и принимать в расчете только 5%, то при годовом производстве 100 тыс. т отливок в год, потери завода на брак (которых при современной технологии не должно быть) составят:

\$10 млн/год = \$2 тыс./т × 5 тыс. т (5%).

Даже 3% брака — это уже \$6 млн/год убытков.

**Надеемся, это достаточно весомый аргумент для срочного уточнения всех расчетов по выбору современной технологии взамен традиционной песчаной формы.**

Какова же допустимая погрешность в расчетах? Например, по проекту модернизации завода (А) по технологии ПФ: 5% брака = 5 тыс. т. × \$2 тыс. = \$10 млн потерь в год.

При этом не учтено:

- освежение 19% отработанной смеси, затраты \$10 на сушку 1,5 т песка (на 1 т отливок), \$25...35 — закупка, доставка. Итого, дополнительно: \$35...45 × 100000 т/год = \$3,5...4,5 млн/год потерь;
- разница затрат по термообработке и механообработке по V-процессу и ПФ, например \$100...200 на 1 т отливок, тогда \$100...200 × 100000 т/год = \$10...20 млн/год дополнительных затрат;

Таблица 4

| Облицовочная смесь |                       | Наполнительная смесь |                       | Всего затраты на бентонит <sup>3</sup>          |
|--------------------|-----------------------|----------------------|-----------------------|---|
| Смесь <sup>1</sup> | Бентонит <sup>2</sup> | Смесь <sup>1</sup>   | Бентонит <sup>2</sup> |   |
| 50 / 4,22          | 380 / 49,4...76,0     | 50 / 4,220           | 148 / 19,2...29,6     | <u>68,6...105,6</u><br>4,1...6,86 (6,3...10,5)  |
| 45 / 3,798         | 342 / 44,5...68,4     | 55 / 4,642           | 162 / 21,0...32,4     | <u>65,5...100,8</u><br>3,9...6,05 (6,55...10,1) |
| 40 / 3,376         | 304 / 39,5...60,8     | 60 / 5,064           | 177 / 23,0...35,4     | <u>62,5...96,2</u><br>3,75...6,25 (6,25...9,62) |
| 35 / 2,954         | 266 / 34,6...53,2     | 65 / 5,486           | 192 / 25,0...38,4     | <u>59,6...91,6</u><br>3,58...5,49 (5,96...9,16) |

Примечания. Расход бентонита: 9% — для облицовочной, 3,5% — для наполнительной смеси. <sup>1</sup> В числителе — %, знаменателе — т. <sup>2</sup> В числителе — кг, знаменателе — затраты, \$ (при цене \$200 за 1 т). <sup>3</sup> В числителе — на 1 т отливок, \$, знаменателе — на годовую программу 60 (100) тыс. т отливок, \$ млн.



- отвалы отработанной смеси  $1,5 \text{ т} \times 100000 \text{ форм/год} \times 90 \text{ Euro} = 13,5 \text{ млн Euro}$  убытков в год;
- цена бентонита — до \$300: расход 10% для 1,5 т, 2(4)% для 6,35 т (на 1 отливку). Итого, неучтенных или ошибочно рассчитанных затрат на бентонит:  $\$45 + \$38 (79) \times 100000 \text{ форм/год} = \$8,3 (12,4) \text{ млн/год}$ . Это реальные затраты только на бентонит при технологии ПФ. Небольшой прои́звол погрешности в расчетах — и не учтено  $> \$40 \text{ млн/год}$  убытков завода. Причем, это затраты и убытки, которые не учли или неверно учли по технологии ПФ только по пяти позициям, а их — десятки, которые нужно уточнить, чтобы открыто говорить о затратах ПФ в сравнении с другими технологиями.

При V-процессе этих затрат нет, так как нет четырех из пяти статей затрат, а качество отливок существенно выше, чем по технологии ПФ.

Что касается линий, работающих на ХТС (No Bake-процесс), то они также менее пригодны из-за высоких текущих затрат, а также из-за низкого качества отливок и др. Затраты только связующего на 1 т отливок — \$258...438. Использование линий, работающих на ХТС (No Bake-процесс), не целесообразно экономически. Это делает литейную продукцию не конкурентоспособной на рынке СНГ по сравнению с изготовлением отливок традиционными способами на линиях песчаной формовки или V-процессом.

Для изготовления формы из ХТС требуется дорогостоящее качественное связующее, которое состоит из смолы и катализатора, и в нужных количествах в СНГ не производится (см. ниже).

|                  | Цена 1 т в Европе, \$ | Расход, % |
|------------------|-----------------------|-----------|
| Смола .....      | 1700                  | 100       |
| Катализатор..... | 1000                  | 40        |

Цена 1 т смолы с катализатором — \$2100. НДС (20%), таможня (5%), транспорт (5%) — \$678. Итого, затраты на 1 т смолы составят \$2778.

Расход смолы (табл. 5): теоретический — 1,2%, реальный может быть 1,5% (до 2%) от массы смеси (в зависимости от многих факторов, например состава песка и низких температур в цехе, особенно в зимнее время года).

Таблица 5

| Расход  | А             | Б              | В                |
|---|---------------|----------------|------------------|
| Смеси, т  | 7,8...7,9     | 390...395 тыс. | 780...790 тыс.   |
| Смолы, т  | 0,093...0,158 | 4650...7900    | 19,3...37,5 тыс. |
| Связующего, \$ на 1 т отливок   | 258...438     | 12,9...21,9    | 25,8...43,8 млн. |
| Примечание. Программа выпуска: А — 1 т (2 отливки), Б — 50, В — 100 тыс. т отливок в год. |               |                |                  |

К перечисленным расходам на связующее добавляются расходы на освежение смеси (до 10...20%), противопожарное покрытие, разделительный состав и др. Тратить \$20...40 млн в год на связующее — не реально. ХТС-процесс возможен, если делать одну-две “дорогие” отливки в день разнообразной, но опытной номенклатуры. Текущие затраты в год на смолу (связующее), даже без учета других затрат, превышают стоимость обсуждаемого оборудования. Поэтому ХТС-процесс для данных отливок можно сразу исключить из рассмотрения.

Правда, при наличии АФЛ с размером опок 2900 или 3000 мм (песчаной формовки) можно, как минимум, поменять формовочный автомат на современный. Так, фирмой HWS проведена модернизация линий производства разных изготовителей более чем в 40 случаях, например, заменен устаревший формовочный автомат. Но для нового литейного производства крупных стальных отливок рекомендуем только V-процесс. Конечно, нужно заменить стержневую машину. Например, Кременчугский сталелитейный завод и Чебоксарский “Промтрактор” купили стержневые автоматы “Laetpre” для изготовления комплектных стержней для отливок рамы и балки.

Следует отметить, что такие ЖД-отливки, изготовленные в Японии, признаны МПС России отливками высшего качества, что было достигнуто применением V-процесса. Отливки производства завода Nippon Shario (Япония) соответствуют действующему сертификату качества МПС РФ. Завод отликает раму и балку для японских вагонов только по V-процессу, хотя на заводе есть линия ХТС и линия песчаной формовки.

V-процесс позволил японцам делать раму и балку массой 310 и 320 кг, соответственно, а их поезда развивают скорость до 300 км/ч. Можно провести сравнение с отливками РФ и Украины, которые продолжают изготавливать в песчаной форме с массой 420...550 кг и огромным браком по горячим трещинам, газовым раковинам и т.д. (конечно, некоторые бракованные отливки часто используют).

В обоснование нашей концепции модернизации сталелитейного производства приводим некоторые основные аспекты технологии ХТС-технологии (No Bake).

#### Положительные

Линии ХТС (No Bake) могут иметь более низкие начальные инвестиции на оборудование, чем линии других типов, если использовать только смесители без “автоматизации”. Но когда поставлена задача оптимальной и эффективной модернизации завода, линии других типов могут обеспечить производительность в 4 – 7 раз большую, чем линия No Bake, на тех же площадях. Текущие затраты на связую-

щее по No Bake только за первый год работы линии будут превышать стоимость оборудования всей линии ХТС. Поэтому этот аспект для задач завода не имеет решающего значения.

### Отрицательные

1. Высокие текущие затраты, только на связующее — это \$258...438 на 1 т отливок.

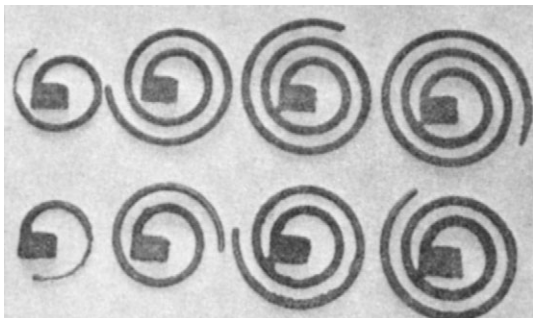
2. Большие расходы на вывоз в отвалы смеси по ХТС-процессу (см. ниже).

|   |      |      |
|---|------|------|
| Объем выпуска отливок в год, тыс. т .....   | 50   | 100  |
| Расход формовочной смеси в год, тыс. т...   | 390  | 700  |
| Объем отходов в отвалы 5%.....  | 19,5 | 39   |
| после регенерации, тыс. т: 10%.....   | 39   | 78   |
| 15%.....  | 58,5 | 117  |
| Затраты на расход свежего формовочного песка (цена 1 т \$10).....   | 0,78 | 1,56 |
| Цена за транспорт 1 т свежего песка и вывоз в отвал после регенерации (\$20), включая "экологию", \$ млн..... | 1,17 | 2,34 |

В основном, линии вакуум-пленочной формовки оптимально использовать для стали, чугуна, цветных сплавов, с размером опок от минимального до 5000 мм (есть пример опок 10000 мм), с производительностью  $\leq 100$  форм/ч.

Преимущества технологии и линий вакуумной формовки:

- заполняемость формы металлом при заливке выше на 30%, чем при сырой формовке (доказано на пробах по жидкотекучести, рис. 2);
- 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 (ПФ), и в "разы" дешевле аналогичных отливок, изготовленных по ХТС (фуран- или  $\alpha$ -set-процессом);



▲ Рис. 2. Проба на жидкотекучесть: верхний ряд — по V-процессу, нижний — в ПФ

В среднем, затраты на вывоз в отвалы в год могут составить \$750...1500 тыс. при 10% отходов, но реально отходов всегда больше, а, соответственно, и затраты на них.

3. Низкая производительность линий по ХТС (No Bake). "Узкие" места — длительные сроки заполнения формы смесью, предварительного отверждения до простановки стержней и сборки форм, окончательного отверждения перед заливкой. К сожалению, заливать металл в форму можно не ранее, чем через 1,5 ч после заполнения опоки смесью. По рекомендации специалистов и исходя из практического опыта, стальные отливки лучше заливать даже через сутки. На линиях другой технологии заливка возможна сразу после изготовления и сборки форм. По этой причине линии No Bake имеют существенно более длинные конвейеры и занимают много дополнительных площадей при сравнимой производительности.

4. ХТС-процесс имеет самую плохую "экологию" из всех трех перечисленных технологий.

### Совершенствованию литейных технологий и оборудования нет предела, особенно в творчестве по Вакуум-Процессу при современных условиях

- превосходное качество поверхности отливок без доводок (шероховатость  $\sim 100$  мкм для стали, для других отливок можно достичь RZ-70 и чище);
- нет традиционной системы смесеприготовления, достаточно транспортных операций с сухим песком (только обеспыливание и охлаждение песка);
- нет системы регенерации смеси и отходов, экологичность процесса;
- получение особо точных геометрических размеров, плоскостности и граней отливок;
- минимальные допуски на механообработку литых деталей;
- возможность изготовления тонкостенных стальных отливок;
- точное воспроизведение форм и маркировок;
- возможность обеспечения формовочного уклона до 0 град. или отрицательных уклонов с помощью съемных частей модели;
- минимальный расход заливаемых сплавов, меньше прибыли и т.д.;
- отличное качество поверхности, не требующее дополнительной финишной обработки;
- существенное уменьшение условий для "горячих трещин";
- возможность выбивки отливок при высоких температурах;
- меньшие затраты на термообработку;
- нет необходимости в специальном обучении персонала.



### Главное преимущество: стоимость и качество отливок по вакуумной форме — вне конкуренции

Стремление акционеров улучшить условия работы на литейных предприятиях, а также экономические причины способствовали разработке и срочному освоению этого наиболее перспективного в настоящее время формовочного процесса.

**V-процесс** — самый новый из способов изготовления ПФ (открыт 30 лет назад), активно развивается 20 лет и осваивается на передовых заводах России, Украины, Японии, Европы, США. Основа процесса — вакуум, посредством которого термопластичная формовочная пленка натягивается на соответственно подготовленную модель, что обеспечивает стабильность процесса по всем технологическим процессам, вплоть до выбивки (с временным отключением вакуума при охлаждении отливок).

*Краткое описание технической реализации V-процесса.* Над натянутой на раму термопластичной пленкой (модельной пленкой) находится нагревательное устройство. Подогретая и поэтому очень пластичная пленка опускается на модель. В подмодельной плите устанавливается пониженное давление 0,05...0,06 МПа; пленка натягивается на модель, в точности повторяя ее контуры. После этого на пленку наносится противопопригарная краска (по необходимости). При необходимости холодильники, стояк и др. устанавливаются непосредственно на пленку.

Опока опускается на модельную плиту, наполняется сухим, предпочтительно кварцевым (в 99% случаев), песком без связующего. Контрлад полуформы покрывается другой по составу вакуумной пленкой. Затем песок уплотняется между двумя слоями пленки посредством пониженного атмосферного давления (или вакуума). Вакуум подводится через клапан на внешней стороне опоки. После отключения вакуума в подмодельной плите полуформа верха, с обеих сторон “закрытая” пленкой, удерживаемой пониженным давлением, снимается с модельной оснастки. Нижняя полуформа изготавливается аналогично. Проставляются необходимые стержни; обе части формы собираются в готовую форму. Пониженное давление поддерживается в процессе заливки и на начальном этапе затвердевания жидкого металла (достаточно коротком). При заливке пленка испаряется либо сгорает под влиянием заливаемого металла. Под воздействием горячего металла остатки краски проникают в форму и вместе с частицами песка образуют тонкую оболочку, которая упрочняет поверхностный слой формы, частично дублируя роль пленки. Для выбивки опоки вакуум отключается, песок высыпается без всякой вибрации, отливка освобождается для дальнейшей транспортировки.

Многочисленные другие преимущества V-процесса привлекают внимание литейщиков во всем мире, но сегодня единственная компания-производитель — концерн Sinto, работающий на разных территориях мира (патентодержатель).

Вся история развития германской компании HWS (Heinrich Wagner Sinto) — известной на мировом рынке как единая инжиниринговая и производственная группа, стремится разработать оптимальный *литейный цех*. Воплощением этой идеи явилось создание высокоавтоматизированных линий V-процесса, который позволяет удовлетворить потребности литейных предприятий в наступившем XXI в.

При этом производительность по V-процессу сегодня уже гарантированно может быть достаточно высокой даже для таких крупных отливок, как чугунная *ванна*, отливаемой, например, на заводе Porcher (Франция), 48 форм/ч (опока 2000×1100×750/200, год поставки линии фирмой HWS — 1981 г., работает и сейчас). Следует отметить, что отливки такого типа с минимальной толщиной стенки (4 мм) и высоким “болваном” проблематично изготовить другим способом формовки, с аналогичной степенью готовности к эмалированию. Можно выделить целую группу типовых отливок, которые наиболее эффективно изготавливать этой технологией. Это сложные развернутые *плиты станков*; стальные *рама боковая* и *балка надрессорная* для железной дороги; *вентили* и *здвижки* из чугуна и стали для нефтяной и газовой промышленности, *стрелки* и *крестовины* для рельсовых путей, тонкостенные протяженные отливки типа чугунных *ванн*; цельнолитые *задние мосты* грузовиков и тракторов, литые *опоки*, *плиты* для фильтров, *тюбинги* и многие другие отливки с минимальным отношением металл/форма, от мелкосерийного до массового производства. Например, все секции для туннеля через пролив между Англией и Францией изготовлены из отливок, полученных V-процессом.

*Опоки.* Вакуумные опоки имеют двойные стенки, сваренные герметично и оснащенные вакуумными окнами и трубами, а также обратными клапанами для того, чтобы внутри опоки можно было создать вакуум с наименьшими потерями. При этом начальные инвестиции по V-процессу много ниже, чем по линиям ПФ, и сравнимы с линиями по ХТС (No Bake-процессу), но производительность V-процесса существенно выше. Следует отметить, что используется очень низкий уровень вакуума (сравним с домашним пылесосом), поэтому герметичность достигается простым и дешевым методом сварки опок и конусными разъемами (опоки дешевле литых для ПФ).

Литейная промышленность всегда старалась уменьшить допуск на размер отливок и повысить их воспроизводимость. Но уже тот факт, что при традиционном изготовлении ПФ на размерную точ-

ность отливок влияют 63 фактора (источник: Американское объединение литейных предприятий), показатель того, насколько трудна эта задача и велики затраты, связанные с ее выполнением. При изготовлении форм V-процессом количество факторов влияния значительно уменьшается, и остается лишь несколько, подлежащих постоянному контролю. К ним относятся характеристики пленки и краски, а также расход вакуумной установки.

Следует учесть также, что сегодня постоянно увеличивающиеся затраты на охрану окружающей среды, регенерацию песка, хранение и т.д. — это те факторы, которые заставляют будущих инвесторов на каждом новом этапе модернизации обращаться к этой технологии, так как V-процесс наносит наименьший вред окружающей среде. Еще один аргумент в пользу данной технологии — особые качества вакуумных отливок и их преимущества при дальнейшей механообработке отливок, поскольку эти отливки могут производиться вообще без уклона на моделях, что существенно снижает затраты на их обработку.

Размерная точность вакуумных отливок делает возможным изготовление тонкостенных деталей сложной поверхности с крайне узкими размерными допусками. Чрезвычайно гладкая поверхность вакуумных отливок делает возможной ее лакировку и покрытие эмалью без дополнительной обработки.

Сухой кварцевый песок вакуумных форм представляет собой прекрасный теплоизолятор и сокращает скорость охлаждения отливок, поэтому отливки, находящиеся в форме достаточное время, демонстрируют те же качества, что подпитываемые или подогреваемые отливки.

Вакуумные отливки по своему допуску на механообработку настолько приближены к получаемым под давлением, что более экономичным является изготовление прототипов отливок ЛПД посредством V-процесса, а также проверка их пригодности до приобретения дорогостоящей оснастки для ЛПД. V-процесс не имеет равных в производстве форм для крупных и протяженных отливок с развитой поверхностью, традиционно получаемых ручным способом. В большинстве случаев достаточно небольшого вмешательства машины, чтобы создать экологически чистое рабочее место для персонала, изготавлиющего формы со значительно меньшими затратами. *Несомненно, имеется еще немало областей применения, в которых возможно проявление преимуществ V-процесса, который может предложить клиенту отливки, уникальные среди другой продукции за счет своей размерной точности, качества поверхности и структуры металла.*

## Опыт традиционных технологий для литья рамы и балки

1. Около 20 лет ведущий поставщик линий ПФ производит формовочный модуль только по принципу Seiatu — воздушный поток с прессованием. Это самый современный способ уплотнения форм на линиях ПФ. По указанному или аналогичному способу никто не делает *раму и балку*.

2. ПФ для *рамы и балки* готовят, в основном, на встряхивающих машинах, выбор которых в современных условиях неприемлем. Другого опыта изготовления форм нет. А значит, есть опыт только древнейших технологий и/или полное отсутствие опыта современных. Вывод. Опыта по ПФ для данных отливок нет или есть негативный.

3. Анализ референт-листов за последние 20 лет, в том числе по всем ведущим поставщикам формовочных линий, показал, что нет линий с опоккой > 2500 мм с новым способом уплотнения. Ранее в 1973 г. для Кременчугского сталелитейного завода поставлена линия по старейшему способу уплотнения. Современного опыта с использованием воздушного потока с прессованием или импульса для *рам и балок* ни у них, ни у кого другого пока нет.

4. Следует отметить, что для *рам и балок* есть опыт применения современных технологий “сухих” форм (V-процесс и ХТС).

Например, на “Уралвагонзаводе” работает восемь формовочных машин концерна Sinto мод. Herman. На БСЗ (г. Брянск) — шесть таких машин. Заводы строили по одному проекту с базовым формовочным оборудованием Herman. Три завода России изготавливают *раму и балку* на оборудовании концерна Sinto. Только на “Промлите” (г. Чебоксары) — полностью автоматическая линия, а на БСЗ и “Уралвагонзаводе” — отдельные встряхивающие машины. Взамен машин по встряхиванию концерн Sinto изготавливает формовочные машины по новому способу уплотнения форм Seiatu — воздушный поток + прессование. Особо следует отметить, что *раму* никто не делает и по технологии импульс + прессование. Все заводы СНГ пока работают только по технологии встряхивания.

### Выводы.

- Для изготовления отливок *рамы и балки* пока еще не нашли применения современные технологии ПФ.
- Все *рамы и балки* в России делают на старом оборудовании концерна Sinto, подлежащем замене.

В России всего три завода отливают *раму и балку* и один в Украине, четвертый завод России в г. Люблино закрыт, и одна из причин — низкая экология литья стали способом сырой песчаной формовки (табл. 6).

Таблица 6

| Способ уплотнения смеси | “Уралвагон-завод”                    | БСЗ                      | “Промлит”                           |
|-------------------------|--------------------------------------|--------------------------|-------------------------------------|
| Старый                  | Встряхивание                         |                          | Встряхивание + прессование          |
|                         | Машины Herman (Sinto)                |                          | Линии Herman (Sinto)                |
| Новый                   | ХТС-фуран                            | V-процесс или ПФ         | V-процесс                           |
|                         | Линия IMF (Италия), контракт 2003 г. | Проект контракта 2005 г. | Линия HWS (Sinto), контракт 2004 г. |

Сегодня отливки завода “Промлит” (г. Чебоксары) признаны и сертифицированы в Министерстве как отливки высшего качества из всех предлагаемых.

#### Краткие сведения о модернизации завода “Промлит”, г. Чебоксары

На предприятии было начато освоение новой продукции — железнодорожных отливок, спрос на которые растет с каждым годом. Подготовка производства потребовала серьезной модернизации производственных мощностей: существующие автоматические формовочные линии производства американской фирмы Herman были подвергнуты серьезной модернизации — увеличен размер опок, произведена замена устаревших и изношенных узлов. Дополнительно закуплено новое оборудование, в том числе и импортного производства. Освоены рама боковая, балка надрессорная, крышка буксовая, клин фрикционный, корпус буксы, корпус поглощающего аппарата. Ведется работа по подготовке производства корпуса автосцепки, хомута тягового и других комплектующих. В перспективе планируется полная механообработка всей выпускаемой продукции и сборка основных узлов вагонов.

К железнодорожным отливкам предъявляют особые требования по качеству — от этого зависит безопасность движения поездов. Вся продукция, предназначенная для МПС РФ, до начала массового производства проходит сертификацию в соответствующих организациях, на предприятии постоянно осуществляют контроль приемщики МПС. Для повышения механических свойств отливки проходят термообработку (нормализацию и отпуск) в проходных туннельных печах. Благодаря освоению новой продукции происходит постоянный рост объемов производства, расширяются производственные площади, растет число рабочих мест. Заявки на новую продукцию предприятия поступают из многих регионов России и стран СНГ. Потребители оценивают качество поставляемой продукции как очень высокое.

К новым возможностям предприятия проявляют интерес и зарубежные фирмы. 3 окт. 2003 г. ООО “Промтрактор” посетила делегация Министерства путей сообщения России, возглавляемая первым заместителем министра В. И. Якуниным. Гости приняли участие в пуске линии по механообработке рамы боковой в механообрабатывающем цехе №11. Эта линия рассчитана на обработку 35000 боковых рам в год. Однако уже в будущем году, соответственно росту производства отливок, планируется запуск еще одной линии механообработки рам на 50000 рам/г. Делегация посетила литейное производство ООО “Промтрактор-Промлит”, где ознакомилась с полным циклом производства рам боковых, начиная с производства стержней и заканчивая термообработкой деталей.

Особое внимание привлекли принятые в эксплуатацию в июне этого года новые пескострельные стержневые автоматы фирмы Laetpre (Германия), способные делать стержни массой до 350 кг. В беседах с заводчанами гости из Москвы выразили полное удовлетворение темпами роста производства на “Промлите”. Если в начале 2003 г. производили 500...600 рам в месяц, то сейчас достигнут уровень в 2500 рам, а к декабрю эта цифра составит 3500. Годовое задание в 22500 рам будет выполнено. Задача 2004 г. — увеличить производство рам в 2,5 раза. Следует отметить, что и МПС не остается в стороне. В Москве при содействии министерства подписан контракт на закупку импортного оборудования АФЛ для производства рам боковых и балок надрессорных по технологии вакуум-пленочной формовки.

Большие заказы на железнодорожные отливки вызвали необходимость приобретения нового оборудования и освоения новых технологий. Для изготовления стержней отливок рамы боковой, балки надрессорной, корпуса буксы выбран cold-box-amin-процесс с присущими ему преимуществами и как наиболее удовлетворяющий требованиям получения отливок ответственного назначения без литейных дефектов. В 2002 г. был подписан контракт с фирмой Laetpre на поставку стержневого оборудования. В настоящее время освоено изготовление стержней для рамы боковой. Для изготовления стержней используют связующее и разделительное покрытие отечественного производства. Для улавливания и нейтрализации амина при работе автомата применяют высокоэффективный скруббер, обеспечивающий отсутствие вредных выбросов в окружающую среду. Высокое качество получаемых стержней подтверждает правильность выбора оборудования и технологии. Планируется приобретение дополнительных стержневых автоматов...



## Краткая информация о компании HWS

HWS сегодня — это > 77% производимых во всем мире опочных формовочных линий, машин и “цехов под ключ”.

Компания HWS поставляет линии для литья в ПФ по всем технологиям:

- безопочная форма (FBO);
- песчаная опочная форма (Seiatsu-процесс);
- вакуум-пленочная форма (V-процесс);
- форма ХТС — процесс-No Bake ( $\alpha$ -set, фуран-процесс).

В конце 2004 г. идет монтаж и запуск сразу трех линий вакуум-пленочной формовки в РФ (“Кировский завод”, “Универсал”, г. Новокузнецк) для изготовления чугунных отливок габаритами 1900×800×700 мм с протяженными тонкими стенками ~4 мм, с опокой 3000×1800×500/500 мм — “Промлит” для производства отливок *рамы боковой, балки адрессорной* и др.

Заключены контракты на поставку еще двух линий по вакуум-процессу для “Центролита”, г. Сумы. Одна из линий аналогична поставляемой на “Промлит” (20 форм/ч, опока 3000×1800×500/500 мм), а это — крупные стальные отливки.

На “Кировском заводе” план ввода линии в производство — окт. 2004 г.

В мае 2004 г. запущена формовочная линия на КамАЗе — воздушный поток с прессованием (опока 1500×1100×400 мм; 70 форм/ч); вторая линия — в стадии подготовки монтажа (опока 1100×750×300 мм; 100 форм/ч), песчаная форма.

Ранее поставленные линии на Николаевский глиноземный комбинат, Новороссийский завод “Красный Двигатель”, Минский тракторный завод и другие обеспечивают европейское качество отливок, которые поставляют даже на экспорт для предприятий по комплектации, например, заводов Mercedes и т.д.

*По всем технологиям формовки HWS — признанный лидер, поэтому, производя все типы оборудования, не делают приоритетным один процесс, а рекомендуют клиенту оптимальный для его номенклатуры отливок.*

*Цель фирмы* — комплексные поставки литейного оборудования из Германии по индивидуальным заказам клиентов с учетом особенностей литейных цехов (сетки колонн, потоков отливок, стержней, металла, смеси и т.д.) Каждый проект на 100% уникален.

Для начала инжиниринга HWS и подготовкой коммерческого предложения от Завода-Покупателя достаточно следующей минимальной информации:

- планируемые площади с сеткой колонн и расположением оборудования (плавильного, стержневого, смесеприготовления и т.д.);

- необходимый размер форм/опок и производительность линии в час;
- комплектация состава формовочного оборудования, включая выбивку, смесеприготовление и т.д.;
- таблицу отливок (размер, масса, программа в год, марка сплава, время охлаждения и т.д.).

*Клиент платит только при поставке оборудования HWS. Все работы до заключения контракта на поставку, такие, как предварительная планировка оборудования в цехе клиента и другие работы предварительного инжиниринга, HWS делает за свой счет для всех заводов РФ и Украины.*

## Первые отливки из Mg-сплава по V-процессу

(из материалов 108 Конгресса AFS, American Foundry Society, 12–15 июня 2004 г., шт. Иллинойс, США)

*“Отливки из любого металла — будь то серый чугун, чугун с шаровидным графитом, ковкий чугун, различные виды стальных и алюминиевых сплавов, а также сплавов на основе меди — могут с успехом изготавливаться в вакуумных формах, за исключением разве что магниевых сплавов.”*

(Эзра Л. Котзин, “Литье металлов и формовочные процессы”, публикация AFS, 1981. С. 143)

**Цель исследований:** получение отливок из Mg-сплава технологией вакуум-пленочной формовки.

Участники эксперимента: Space Age Enterprise, Inc., Лоренсвилл, шт. Джорджия; ECK Industries, Inc., Манитовок, шт. Висконсин; Обернский Университет, шт. Алабама.

## Вакуумный процесс Mg- и других сплавов — экологически безопасен и имеет следующие преимущества:

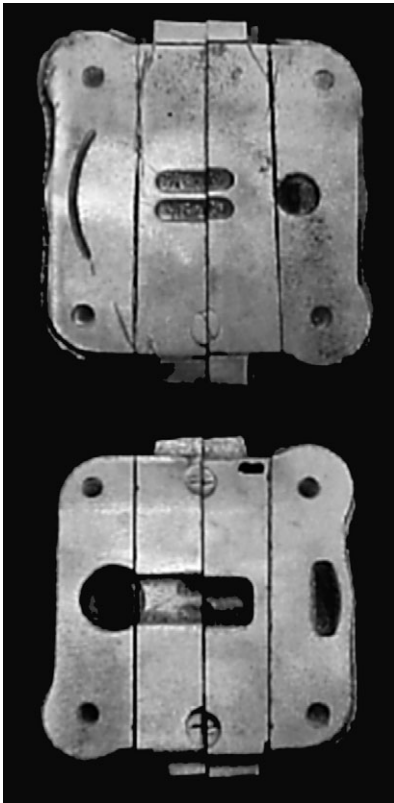
- песок можно использовать многократно, и, таким образом, исключается дорогостоящий процесс терморегенерации формовочной смеси;
- технология безопасна для окружающей среды. В ней не используются токсичные органические связующие. Количество отработанных газов, выделяемых при работе по данной технологии, примерно в 20–30 раз меньше, чем при литье по газифицируемым моделям. Этот способ признан наиболее экологически безопасным по сравнению с традиционными литейными технологиями;
- значительно снижается уровень шума из-за минимальной вибрации формы с сухим песком.

Химсостав магниевого сплава AZ91E, %: 88,9 Mg; 9,0 Al; 2,0 Zn; 0,10 Mn.

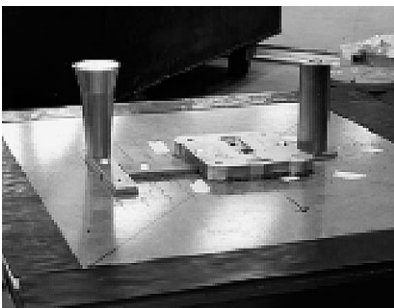
Физические свойства магниевого сплава AZ91E при 20°C приведены ниже.

|  |       |
|--|-------|
| Плотность, г/см <sup>3</sup> .....               | 1,81  |
| Температура плавления, °С.....                   | 598   |
| Начальная температура плавления, °С.....         | 468   |
| Линейное терморасширение, мкм/(м·К).....         | 26,0  |
| Удельная теплоемкость при плавлении, кДж/кг..... | 3,70  |
| Теплопроводность, Вт/К·м.....                    | 51    |
| Электропроводность, Ом·см.....                   | 0,066 |

Для изготовления первой отливки из Mg-сплава AZ91E по V-процессу выбрали плиту клапана (рис. 3) для грузовых автомобилей. Первые испытания про-



▲ Рис. 3. Отливка плиты воздушного клапана из Mg-сплава, изготовленная по V-процессу

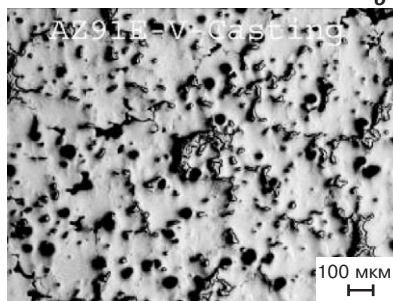
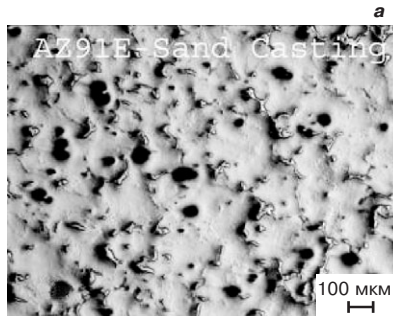


▲ Рис. 4. Установка модели, литника и прибыли на модельной плите

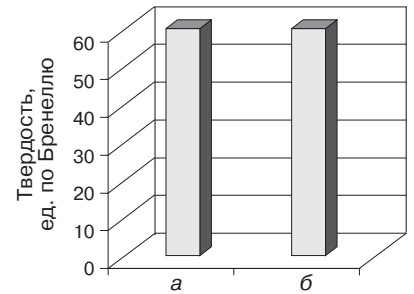
демонстрировали, что эта технология может с успехом применяться при производстве Mg-отливок (рис. 4, 5). Не выявлено существенных различий в микроструктуре отливок, полученных ЛВМ и по V-процессу (рис. 6). Отливки в обоих случаях не различаются по твердости (рис. 7) и очень незначительно — по плотности (рис. 8).



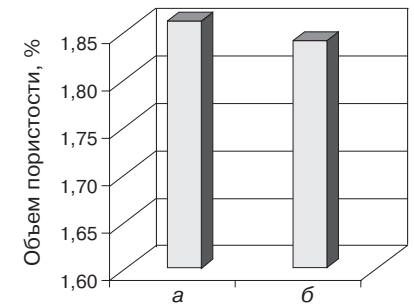
▲ Рис. 5. Подготовка к первому производству Mg-отливки по V-процессу, Jones Engineering, Co



▲ Рис. 6. Микроструктура отливки из сплава AZ91E: а — ЛВМ; б — V-процесс



▲ Рис. 7. Твердость отливок из сплава AZ91E, полученных по ЛВМ (а) и V-процессу (б)



▲ Рис. 8. Пористость отливок из сплава AZ91E, полученных по ЛВМ (а) и V-процессу (б)

### Последние проекты модернизации производства

И в заключение с удовлетворением сообщаем о стремительном подъеме литейного производства в России и Украине. Инвестиции в производство отливок сегодня выше, чем в металлургию, о чем свидетельствуют контракты на закупку современного оборудования. Так начиналось экономическое "чудо" в других странах мира.

- май 2004 г. — подписан контракт на поставку линии HWS, Seitsu-процесс (воздушный поток + прессование) для стальных отливок (1000×900×350), Россия;

- июнь 2004 г. — запуск линии HWS, Seitsu-процесс на Камском литейном заводе (КамАЗе) (опока 1500×1100×400 мм; 70 форм/ч, чугунные отливки). Вторая линия — в стадии монтажа;

- август 2004 г. — подписаны контракты на поставку сразу двух линий вакуум-пленочной формовки на Сумской центролит, Украина.

Таблица 7

| Процесс                       | Масса отливки                     | Припуски  | Поверхность, RMS | Уклон, град. (min) | Толщина стенки (min) | Заказываемое количество | Стоимость оснастки, тыс. долл. США | Срок исполнения заказа, нед. <sup>1</sup> |
|-------------------------------|-----------------------------------|---|------------------|--------------------|----------------------|-------------------------|------------------------------------|---|
| Вакуум-пленочная формовка     | До 150 фунтов                     | $\pm .010''$ на первый 1", затем добавляем $\pm .002''$ на каждый следующий 1". Плюс $\pm .020''$ через линию разъема отливки           | 125...150        | Нет уклона         | .125"                | Любое                   | 3...14                             | $\frac{2..6}{2..6}$                       |
| Литье в сырые песчаные формы  | От нескольких унций до тонн       | От $\pm 1/32''$ до 6", затем прибавить $\pm .003''$ на каждый следующий 1". Плюс от $\pm .020''$ до .090" через линию разъема отливки   | 200...550        | 1...5              | .25"                 | —                       | 0,8...4                            | —   |
| Литье по выплавляемым моделям | От нескольких унций до 20 фунтов  | От $\pm .003''$ до $1/4''$ , от $\pm .004''$ до $1/2''$ , $\pm .005''$ до 3", а затем прибавлять от $\pm .003''$ на каждый следующий 1" | 63...125         | Нет уклона         | .060"                | До 1000                 | 3...20                             | $\frac{8..10}{5..12}$                     |
| Кокильное литье               | От нескольких унций до 100 фунтов | От $\pm .015''$ до 1", затем прибавить $\pm .002''$ на каждый следующий 1". Плюс от $\pm .010''$ до .030" через линию разъема отливки   | 150...300        | 2...5              | .1875"               | От 500                  | 5...25                             | $\frac{8..20}{10..12}$                    |
| Литье под давлением           | От нескольких унций до 15 фунтов  | $\pm .002''$ на каждый следующий 1". Плюс $\pm .015''$ через линию разъема отливки  | 32...63          | 1...3              | От .030" до .060"    | От 2500                 | 10...100                           | $\frac{12..22}{8..14}$                    |

<sup>1</sup> В числителе — пробные отливки, знаменателе — начало производства после апробации.

Размер опок 3000×1800×500/500 и 3500×2500×500/750/900/1250 мм; для производства крупных стальных и чугунных отливок;

- сентябрь 2004 г. — монтаж и запуск линии вакуум-пленочной формовки HWS (2000×1250×750 мм; 45 форм/ч) на "Кировском заводе", г. Киров;

- октябрь 2004 г. — монтаж и запуск линии вакуум-пленочной формовки HWS (2000×1250×750 мм; 45 форм/ч) на заводе "Универсал", г. Новокузнецк;

- ноябрь 2004 г. — отгрузка линии вакуум-пленочной формовки HWS (3000×1800×500/500 мм; 20 форм/ч) на завод "Промлит", г. Чебоксары, для производства стальных отливок рамы боковой и балки надрессорной.

### Выводы

1. Доказана необходимость и возможность изготовления крупных стальных отливок типа рамы боковой и балки надрессорной по V-процессу.

2. Анализ способов изготовления песчаных форм показал, что V-процесс на новом витке развития демонстрирует высокую эффективность при изготовлении не только стальных и чугунных отливок, но теперь уже и магниевых, при наилучшей экологичности способа.

3. V-процесс позволяет существенно сократить инвестиции в модернизацию литейного производства. Получаемые отливки не только более качественные, чем изготовленные другими способами формовки, но главное — более дешевые.

4. Наметился перелом в отношении владельцев заводов к литейным цехам. Стало экономически выгодно вкладывать инвестиции в их модернизацию. Бизнес по изготовлению отливок вышел на первые места, потеснив инвестиционные проекты в металлургии по срокам окупаемости и процентам прибыли. Сегодня это — наилучшая "ниша" для вложения средств после "сырьевой отрасли" при достаточной простоте проектов создания первоклассных литейных цехов.

5. Заводам стало легче получить кредиты, так как закончились схемы ГКО и т.п. Кроме того, проценты европейских кредитных линий уменьшились за последние несколько лет почти вдвое.

6. Можно предположить, что данная технология, как самая "высокая" с начала 80-х гг., искусственно сдерживалась для передачи заводам бывшего СССР, вместе с другими новейшими "западными" разработками и технологиями. Однако даже в кризисные для экономики времена России все же



удалось купить одну линию вакуумной формовки и освоить этот процесс на ряде заводов, таких как "Курганмашзавод", при активном участии пионера этого процесса в нашей стране В. П. Кузнецова. Сегодня благоприятный финансовый климат гарантирует "зеленый свет" вакуумной технологии.

7. Процессы вакуум-пленочной и магнитной формовки дали старт принципиально новым способам изготовления форм с применением сыпучих зернистых материалов без связующих. Новые процессы "отверждения формы" обратимы, то есть по-

сле отключения источника усилия уплотнения формовочный материал возвращается в исходное состояние.

8. Однако при параллельном развитии магнитных, замораживаемых и других форм, только вакуум-пленочная форма получила широкое применение, вытеснив возможных конкурентов. Число высокоавтоматизированных линий по V-процессу становится сравнимым с линиями по ПФ, и эта технология не имеет конкурентов при размере опок > 2500 мм, а тем более, по качеству отливок.