

ющей 20ГЛ. По разработанным и утвержденным в установленном порядке техническим условиям (по результатам работ ЗАО «НПП ФАН» совместно с «Уралвагонзаводом» и ОАО «ВНИИЖТ») на усовершенствованную марку стали ТУ 3180-168-07518941-2007 была изготовлена опытная партия боковых рам из стали 20ФТЛ не усиленной модификации по черт. 100.00.002-4, которые прошли полные усталостные испытания в аккредитованном испытательном центре УО ВНИИЖТ. Полученное значение коэффициента запаса усталостной прочности превысило нормативную величину.

Учитывая доступность ванадийсодержащей сырьевой базы и снижение в стали 20ФТЛ верхнего предельного содержания марганца (на 0,2%), сталь 20ФТЛ по показателю экономической эффективности практически не уступает стали марки 20ГЛ. Учитывая общепромышленную значимость рассматриваемой проблемы, считаем актуальным с применением последних технических решений и инноваций продолжать работы по оптимизации технологии производства и внедрению унифицированной стали 20ФТЛ как на «Уралвагонзаводе», так и на других предприятиях отрасли.

В качестве успешного примера нового решения модифицирования стали можно привести пример использования азот-титан-содержащего сплава, полученного самораспространяющимся

высокотемпературным синтезом, вместо стандартного ферротитана. Механизмом модифицирования при данном методе является инокулирование, т.е. введение в расплав готовых центров кристаллизации. Данная технология уже апробирована в опытно-промышленных условиях «Уралвагонзавода». Многие специалисты недооценивают роль первичной структуры стали, хотя известно, что крупное зерно и столбчатые кристаллы провоцируют образование горячих трещин. На серийной стали получено измельчение первичного зерна на 2-3 балла ниже и увеличение KCV⁻⁶⁰ на 20%. Новый стандарт открывает возможности для решительных действий по внедрению наиболее конкурентноспособной стали с гарантируемой хладостойкостью. Такие результаты получены за счет применения инновационной технологии модифицирования, обеспечивающей лучшее соотношение показателей цена/качество, включая лучшую ремонтпригодность (свариваемость), большую трещиностойкость при литье и повышенную «живучесть» (на 15÷30% выше по сравнению со сталью 20ГЛ), что позволяет существенно снизить эксплуатационные затраты.

Для решения задачи перехода на унифицированную сталь 20ФТЛ предприятиям отрасли необходимо объединить усилия, предусмотрев в том числе и широкий профессиональный обмен опытом.

Е.Н. Буданов

Производство отливок из марганцовистой стали по технологии вакуумно-пленочной формовки

Есть существенные отличия, которые обеспечивают бесспорные преимущества технологии изготовления литейных форм по вакуум-процессу при производстве отливок из марганцовистых сталей. Для данных отливок только в самых крайних случаях отливки из марганцовистых сталей подвергают минимальной механической обработке, а также назначают дорогостоящую плазменную резку. Вакуумно-пленочная формовка (ВПФ) обеспечивает возможность получения отливок с минимальными уклонами и высоким качеством поверхности, не требующей последующей механической обработки,

Выбор технологии формовки для производства отливок из марганцовистой стали – сложная задача для любого литейного производства. В статье дается обоснование выбора вакуумно-пленочной технологии на базе конкретных примеров ведущих литейных заводов мира.

Ключевые слова: горно-перерабатывающие предприятия, отливки из марганцовистой стали, вакуум-процесс.

* * *

Budanov E. Production of manganese steel castings by V-Process technology

Choosing the moulding technology for manganese steel casting production is a challenging task for any foundry production. The article provides selection rationale for vacuum moulding technology with specific references to the world's leading foundries.

Key words: mining and milling companies, manganese steel castings, Vacuum moulding process.

в ряде случаев возможен отказ от использования стержней. Так, в отличие от других технологий, закладные элементы моделей по ВПФ легко вынимаются из полуформы без «расшатывания». В сравнении с песчано-глинистой смесью (ПГС), в формах ВПФ есть возможность изготавливать более крупные отливки.

Например, ВПФ получают полуформы с «болваном» (рис. 1), который невозможно получить в «сырых» формах по ПГС. При этом на современных АФЛ по ПГС предельная высота опоки 500-600 мм, но марганцовистые стальные отливки конусных дробилок требуют применения более высоких опок (например, 1000 мм), что многократно было реализовано на АФЛ по ВПФ. Другие характеристики оборудования и технологии ВПФ также соответствуют реше-

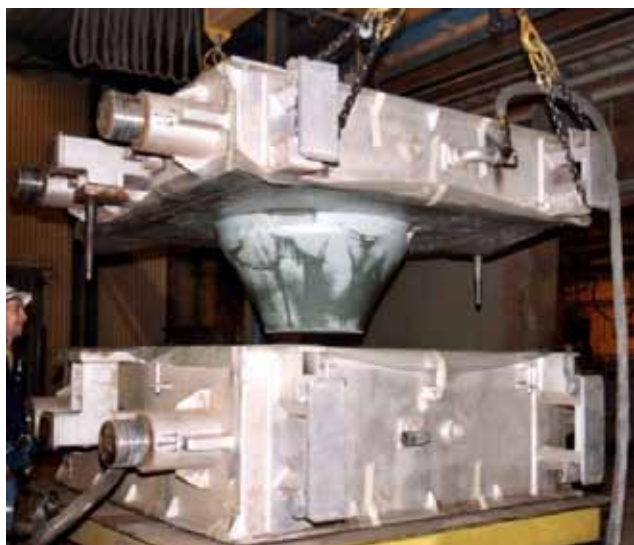


Рис.1. Полуформа ВПФ с высотой «болвана», существенно превышающей высоту опоки. Завод Frog Switch, США (слева) и Sandvik, Швеция (справа).

нию технологических задач получения марганцовистых стальных отливок.

Особо следует отметить высокую экологичность литейного производства на базе ВПФ, так как форма состоит только из сухого песка без какого-либо связующего, в отличие от «сырых» форм (связующее бентонит), или, тем более, форм с химическим связующим. Поэтому, если за основу сравнения для возможности применения различных способов изготовления марганцовистых отливок взять технологический, экологический и экономический факторы, то ВПФ по всем параметрам имеет преимущества перед ХТС и ПГС. Так, «вакуумные» отливки более качественные при самой низкой себестоимости их изготовления.

Отливки из высокомарганцовистой стали аустенитного класса 110Г13Л (сталь Гадфильда) работают на износ в условиях трения, скольжения и высоких давлений и ударов. Есть мнение, что сталь Гадфильда явилась первой легированной сталью массового производства. Эта сталь имеет в составе 11-14,5 % Mn, 0,9-1,3 % C. При таком соотношении углерода и марганца в стали обеспечивается аустенитная структура, обладающая уникальным сочетанием повышенной износостойкости и склонности к упрочнению при деформации с высокой пластичностью и ударной вязкостью.

Вследствие большой вязкости эта сталь плохо обрабатывается режущим инструментом, изделия из нее получают литьем. Она предложена в 1882 г. английским металлургом, почетным членом АН СССР Робертом Эбботом Гадфильдом (Hadfield Robert Abbot, 1858-1940 гг.). Основные его научные труды и работы выполнены по производству, термической обработке и свойствам износостойкой марганцовистой стали 110Г13Л.

Сталь Гадфильда сильно наклепывается при ударных нагрузках. Из нее изготавливают детали для горнодобывающего и горно-обогащительного оборудования, работающие в непосредственном контакте с породой при значительных напряжениях и динамических нагрузках, а также для другого оборудования самого широкого назначения. Очень часто сталь Гадфильда применяют для производства отливок типа зубьев ковшей экскаваторов, футеровок шаровых мельниц, днищ ковша, брони конуса, гусеничных траков (рис. 2), коронок землеройных и камнедробильных машин, брони и бил для роторных дробилок, рельсовых крестовин, стрелочных переводов, работающих в условиях ударных нагрузок и истирания.

Применение отливок из стали Гадфильда для изготовления траков танковых гусениц впервые освоено британской фирмой «Виккерс» в конце 1920-х годов. Эта сталь позволила значи-

тельно увеличить ресурс пробега гусениц танков с 500 (рекорд периода Первой мировой войны) до 4800 км.

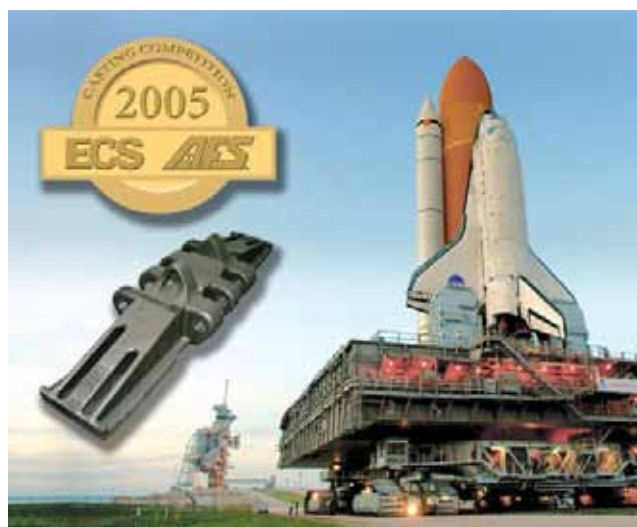


Рис. 2. Трак для тягача космического «Шаттла» весом 998 кг, изготовленный по ВПФ — лучшая отливка 2005 г. согласно решению Ассоциации литейщиков США.

Изготовлена на заводе ME Elecmetal, США по технологии ВПФ.

Одной из особенностей высокомарганцевистой стали является ее большая усадка — до 2,6% (усадка стали обычных типов $1,56 \div 2,08$ %). Поэтому для литья деталей из этой стали необходимо применять особо податливую литейную форму (лучше ВПФ) во избежание образования трещин, что соответственно ограничивает применение более «жестких» форм при использовании технологии ХТС (процессов фуран и альфа-сет).

В настоящее время можно с гордостью сообщить о первом большом положительном опыте, достигнутом по ВПФ сразу двумя отечественными предприятиями в Казахстане и Украине, специализирующимися на производстве отливок из марганцевистых сталей — «Казцинкмаш» и КЗГО. На данных заводах технология ВПФ эффективно используется для самой широкой номенклатуры отливок, в том числе и единичного производства. Это, собственно, многократно подтверждено активным освоением и на заводах России производства других стальных отливок по ВПФ самого разнообразного назначения — рам, балок, букс, автосцепок для железнодорожного транспорта, корпусов отливок запорной арматуры и т.д.

По состоянию на лето 2014 г. завод «Казцинкмаш» (г. Риддер, Казахстан), освоил более 200 единиц модельных плит для линии ВПФ с размером опок $2700 \times 2700 \times 400/1000$ ($400/400$ и $1000/1000$) мм. Город Риддер основан в 1786 году

и назван по имени Филиппа Риддера, открывшего здесь месторождение полиметаллических руд и заложившего рудник. **Филипп Филиппович Риддер** (1759–1838) — горный инженер, генерал-майор Корпуса инженеров Путей сообщений. Он родился в семье обрусевшего санкт-петербургского золотошвейного фабриканта, сына купца Риддера, внука шведского военного лекаря, плененного русскими под Полтавой.

Город Риддер расположен в живописном и экологически чистом месте на Рудном Алтае у подножья Ивановского хребта, в верхнем течении реки Ульба (приток Иртыша). Выбор ВПФ был обусловлен не только с целью повышения качества отливок при самой низкой себестоимости их производства, но еще и лучшей экологией этой литейной технологии.

На украинском КЗГО, г. Кривой Рог соответственно (на май 2014 г.) освоили уже 86 модельных плит для различной номенклатуры отливок на линии ВПФ с размером опок $2000 \times 1800 \times 600/600$ мм. **Кривой Рог** — город в Днепропетровской области Украины. Самый длинный город Украины. С начала добычи железной руды в 1881 г. город пережил экономический подъем, а его население стремительно увеличивалось. Началу добычи железной руды положил Александр Николаевич Польш. Официальной датой основания города считается 1775 г. *Город расположен* в месте слияния рек Саксагани и Ингульца, на реках есть несколько водохранилищ, в том числе Карачуновское водохранилище. Вопросы экологии были не на последнем месте при выборе технологии при модернизации литейного производства КЗГО (рис. 3).

Полученный положительный результат на заводах «Казцинкмаш» и КЗГО (рис. 4) был запланирован и ожидаем, ведь самый опытный в Европе производитель горнодобывающего и горно-перерабатывающего оборудования завод **Sandvik/Швеция** изготавливает марганцевистые отливки на базе трех линий ВПФ, которые поочередно внедрялись на смену ранее используемого оборудования по ПГС и ХТС. Более того, на



Рис. 3. Лодочная станция на слиянии рек Ингулец и Саксагань, Украина.



Рис. 4. Пример отливок по ВПФ на заводе КЗГО - стальные отливки зубьев экскаваторов.

заводе Sandvik более 2000 модельных комплектов для ВПФ (рис. 5), что демонстрирует опыт применения ВПФ для самой широкой номенклатуры по конфигурации и размерам отливок. Стоит учесть очередное преимущество ВПФ — возможность применения деревянных и пластиковых моделей благодаря наличию пленки



Рис. 5. Склад более 2000 деревянных моделей для ВПФ. Завод Sandvik, Швеция.



Рис. 6. Завод Sandvik. Расположен в г. Сведала рядом с лесным массивом через дорогу от жилых домов. Вопросы экологии литейного производства традиционно для Швеции решены в первоочередном порядке (на базе ВПФ).

между абразивным формовочным материалом и рабочей поверхностью модели, что исключает прямой контакт между ними при уплотнении и протяжке.

Сегодня концерн Sandvik — это крупнейший международный холдинг по производству горнодобывающего и перерабатывающего оборудования, выпускающий современную продукцию и занимающий лидирующее положение в мире в этой отрасли деятельности: оборудование для разработки скального грунта, продукция из нержавеющей стали, специальные сплавы, термостойкие материалы и технологические системы. В 2013 г. во всех подразделениях концерна было занято свыше 47 тыс. сотрудников. Подразделение Sandvik Mining and Construction занимается производством горного инструмента и оборудования, буровых станков, дробилок и грохотов, проходческих комбайнов и др.

Завод Sandvik Mining and Construction в г. Сведала (рис. 6) оборудован сразу тремя формовочными линиями HWS-Sinto, Германия по Вакуум-процессу:

- АФЛ №1, 1980 г.: размер опок 1250x1250x300/750 мм.
- АФЛ №2, 1998 г.: размер опок 2400x2400x900/900(500/900) мм
- АФЛ №3, 2000 г.: размер опок 1450x1450x300/750 мм и 750/300 мм.

Каждая из этих линий поставлена в разные годы, что говорит об исключительном доверии известного шведского концерна к качеству и надежности оборудования (рис. 7):



Рис. 7. Подвод, нагрев и наложение пленки на модель, готовые отливки с минимальной обработкой. На заводе Sandvik прочность «вакуумной» формы позволяет ходить по ней для простановки стержней, съема отъемных частей или других технологических операций.

FROG SWITCH, США

Являясь мировым лидером по производству отливок из марганцовистой стали, The Frog, Switch & Manufacturing Company специализи-

руется на поставке запасных частей для горно-добывающей, агрегатной и дробильной техники. Компания поставляет полный ассортимент отливок из марганцовистой стали с увеличенным сроком пользования для всех типов и производителей дробилок.

Приобретя в 1979 г. первую линию по V-процессу, завод был одним из пионеров в использовании вакуумно-пленочной формовки. На базе опыта на первой линии **Frog Switch** по аналогии с представленным шведским заводом также последовательно внедрял линии ВПФ. На сегодняшний день компания является самым крупным и активным пользователем этого передового способа литейного производства, производя более чем три четверти всех своих отливок на трех линиях вакуумно-пленочной формовки (рис. 8, 9):

- АФЛ №1: 1370 x 2440 x 450/450 мм
- АФЛ №2: 1800 x 1800 x 400/800 мм
- АФЛ №3: 3400 x 1700 x 600/800 мм



Рис. 8. Завод Frog Switch, США. Технологические операции получения готовой полуформы для отливки конуса дробилки на линии ВПФ. Модель с съемными элементами, которые затем вынимают из готовой полуформы (отливка без стержней).



Рис. 9. Опыт завода Frog Switch. Термообработку марганцовистых отливок крайне важно выполнить в кратчайшие сроки после заливки, что обеспечивается ВПФ благодаря простому осыпанию сухого формовочного песка с отливки после отключения вакуума.

Компания ME Elecmetal — крупный производитель элементов дробилок, гусеничных траков экскаваторных ковшей, бурильного оборудования, шламовых насосов и др., а также занимается изготовлением отливок на заказ. Литейный завод компании в г. Дулус, США занимается производством стальных марганцовистых отливок на линии ВПФ концерна Sinto. Объем производства завода около 30 000 тонн отливок в год, размер опок АФЛ по Вакуум-процессу 1370x2440 мм. Опыт завода ME Elecmetal (см. рис. 2) дополнительно доказывает эффективность производства отливок из стали Гадфильда по ВПФ. Аналогичных литейных производств в мире — значительное количество, особенно в Японии.

Заключение

Марганцовистая сталь — конструкционная сталь, легированная марганцем. Отличается высокой прочностью и износоустойчивостью. По составу подобна углеродистым сталям, но содержит много марганца. Легирование дополнительными элементами — хромом, никелем, азотом — укрепляет свойства марганцовистой стали. Марганцовистая сталь обладает большей прочностью, чем обыкновенная сталь. Она особенно хорошо сопротивляется ударам. Основным недостатком марганцовистой стали — трудность обработки на станке, поэтому особо важно получать отливки с такой размерной точностью, которая бы максимально возможно соответствовала финишным размерам детали.

Размерная точность отливок, произведенных методом ВПФ, обусловлена особым рабочим процессом при использовании вакуумной технологии:

- использование чрезвычайно мелкозернистого отсортированного формовочного песка
- высокая и равномерная степень уплотнения песка
- отсутствие износа модельной оснастки
- в большинстве случаев — отсутствие необходимости уклона
- для извлечения модели из формы не требуется вибрации
- отсутствие движения стенок формы по причине высокой прочности формы
- отсутствие деформации формы по причине испаряющихся добавок к формовочному материалу.

Результатом этого является размерная точность. Это относится также к отливкам больших размеров, тяжелым отливкам и к отливкам сложных геометрических форм. Кроме того, обеспечивается высокая степень воспроизводимости при серийном производстве, от

1 партии к партии не наблюдается каких-либо
2 различий. В качестве исходного значения для
3 размерной точности может быть задано около
4 $\pm 0,3\%$.

5 При производстве стальных отливок не-
6 обходимо учитывать высокую температуру
7 плавления, повышенную усадку и *невысокую*
8 *жидкотекучесть* стали. *Жидкотекучесть*
9 стали примерно в два раза меньше жидкотек-
10 учести чугуна. Однако опыты показали, что
11 жидкотекучесть металла в формах по ВПФ (со-
12 ответственно, и их заполняемость) при залив-
13 ке выше на 30%, чем при «сырой» формовке по
14 ПГС.

15 Основные преимущества вакуумно-пленоч-
16 ной формовки:

- 17 • форма обеспечивает минимальную тем-
18 пературу заливки металла за счет высо-
19 кой заполняемости и теплоемкости;
- 20 • самая низкая себестоимость отливок, на
21 25...30% дешевле отливок, полученных
22 по ПГС, и тем более гораздо дешевле ана-
23 логичных отливок в формах по ХТС;
- 24 • нет традиционной системы смесеприго-
25 товления — достаточно транспортных
26 операций с сухим песком (иногда только
27 обеспыливание и охлаждение песка);
- 28 • нет отходов и системы регенерации сме-
29 си, высокая экологичность;
- 30 • превосходное качество поверхности
31 отливок без доводок (шероховатость
32 ≤ 100 мкм для стали, для других отливок
33 RZ-70 и выше);

- 34 • возможность изготовления тонкостен-
35 ных стальных отливок;
- 36 • возможность обеспечения формовочно-
37 го уклона до 0 град. или отрицательных
38 уклонов с помощью отъемных частей
39 модели;
- 40 • долгий срок службы моделей, низкий
41 износ моделей, изготовленных обычно
42 из пластмассы или дерева; нет контакта
43 модели с песком (только с пленкой), что
44 исключает износ;
- 45 • минимальный расход заливаемых мате-
46 риалов, меньше прибыли и т.д.;
- 47 • существенное уменьшение условий для
48 «горячих трещин»;
- возможность выбивки отливок при вы-
соких температурах;
- меньше затрат на термообработку отли-
вок;
- нет необходимости в специальном обуче-
нии персонала.

Выводы

Опыт представленных заводов наилучшим образом демонстрирует преимущества ВПФ для отливок из марганцовистой стали. м

Разнообразная номенклатура отливок, полу- чаемых по ВПФ развеивает мифы об узкой спе- циализации применения данной технологии.

Оправдались все прогнозы по активному развитию и внедрению технологии ВПФ для са- мых разнообразных стальных отливок (теперь и марганцовистых).