

От редакции. Журнал «АС» считает полезным вновь обратить внимание арматуростроителей на высокопрочный чугун с шаровидным графитом. Мы в свое время подробно рассказывали об этом материале. Хотя было это давно, более трех лет назад.¹ Однако, с тех пор мало что изменилось: в России арматура из ВЧШГ практически не производится. А ведь почти все крупнейшие мировые производители имеют в своей номенклатуре арматуру из чугуна, и в большинстве случаев речь идет именно о чугуне с шаровидным графитом, а не об аналогах нашего «серого».

Почему освоение в производстве такой арматуры вызывает у наших крупных заводов сложности? Видимо, потому, что у большинства из них — собственная литейка, технологически приспособленная к изготовлению заготовок либо из обычного чугуна, либо из стали. И чтобы заводу самому освоить производство отливок из ВЧШГ — нужно приобретать новое оборудование, значительно перестраивать технологический процесс.

Но ведь времена меняются. И многим становится ясно, что когда литейка (или вообще заготовительное производство) осуществляется по кооперации — зачастую получается более оптимальный вариант организации бизнеса. Так почему бы арматуростроителям не попробовать установить деловые контакты с заводами, освоившими литье из ВЧШГ? Пусть они делают заготовки на заказ! И, возможно, арматура из высокопрочного чугуна на определенных сегментах рынка окажется более конкурентоспособной, нежели стальная.

¹ См. В.А. Изосимов и др. «Роль химического состава при получении отливок из высокопрочного чугуна» — «Арматуростроение» № 6-2004, стр. 49

Высокопрочный чугун с шаровидным графитом — перспективный конструкционный материал XXI века

Н.Н. Александров, проф. д.т.н., ОАО «НПО «ЦНИИТМАШ»

Высокопрочный чугун с шаровидным графитом (ВЧШГ) является уникальным конструкционным материалом, с которым по разнообразию его технического применения сейчас не может сравниться ни один металлический сплав. ВЧШГ обладает комплексом ценных физико-химических свойств, которые в сочетании с его высокими прочностными характеристиками (R_m от 400 до 1600 МПа) и, особенно, повышенной пластичностью (A_2 до 25%) делают незаменимым его применение для производства изделий самого ответственного назначения: корпуса контейнеров для перевозки и хранения ОЯТ массой свыше 100 тонн, станины мощных прессов массой до 200 тонн, детали газовых и паровых турбин, корпусов насосов различного назначения и компрессоров.

В настоящее время из большого числа известных конструкционных материалов на основе железа тенденция к расширению объемов производства и применения имеет лишь высокопрочный чугун с шаровидным графитом. В 2005 году из этого чугуна в промышленно развитых странах было произведено порядка 25 млн тонн отливок различного назначения.

ВЧШГ в мировой практике признан самым перспективным материалом для изготовления водонапорных труб, труб для нефтяной, газовой и химической промышленности. В 2005 году из этого материала изготовлено свыше 5 млн тонн труб различного назначения. Главное достоинство труб из ВЧШГ в сравнении со стальными — более высокая коррозионная стойкость. Скорость питтинговой коррозии высокопрочного чугуна с шаровидным графитом в морской воде на порядок ниже, чем у стали ($V_{\text{чшг}} = 0,03$ мм/год, $V_{\text{ст.20}} = 0,5$ мм/год).

По коррозионной стойкости трубы теплоцентралей, изготовленные из чугуна с шаровидным графитом, сопоставимы лишь с трубами из нержавеющей стали 12(08)X18H10T и в 8 раз превосходят стойкость труб из низкоуглеродистых сталей. Гарантийный срок службы центрально-литых труб из ВЧШГ составляет порядка 100 лет.

В последнее время в работах ОАО «НПО «ЦНИИТМАШ» расширены теоретические представления о физико-химической природе воздействия модифицирующих веществ и РЗМ на особенности процессов кристаллизации и структурообразования эвтектических железоуглеродистых сплавов — чугунов в литом и термообработанном состоянии. В

этих исследованиях показано, что посредством раскрытия механизма модифицирования расплава чугуна можно в нужном направлении регулировать процессы кристаллизации и структурообразования и обеспечить, в зависимости от требований условий эксплуатации изделий из ВЧШГ, получение в литом состоянии не только соответствующего размера и формы графита, но и преимущественно перлитной или ферритной металлической основы чугуна с повышенной пластичностью, хорошо поддающейся деформации методами прокатки и прессования. При этом деформационная способность ВЧШГ, как, впрочем, и его физико-механические свойства, при обычной и пониженной температурах в сильной степени зависят от состава, а также формы, размеров и характера распределения графитных включений в структуре металлической основы.

Наша страна, имеющая глубокие традиции развития прогрессивных технологических процессов литейного производства и большой опыт по синтезу и применению ВЧШГ, и сейчас располагает знаниями (включая ноу-хау), условиями и возможностями изготовления уникальных высококачественных и конкурентоспособных изделий самого ответственного назначения таких, как корпуса контейнеров массой до 100 т, корпуса насосов и компрессоров.

Специалистами ОАО «НПО «ЦНИИТМАШ» разработан и широко применяется в различных отраслях промышленности самый экономичный и экологически чистый процесс получения ВЧШГ.

Основными производителями ВЧШГ в нашей стране являются хорошо зарекомендовавшие себя, в том числе и за рубежом, ЗАО «Петрозаводскмаш», ЗАО «Коломенский тепловозостроительный завод». Для изготовления деталей металлургического оборудования (главным образом прокатных валков и холодильных плит доменных печей) Кушвинский завод прокатных валков, Западно-Сибирский металлургический комбинат, Северсталь и другие, для изготовления труб из ВЧШГ Липецкий завод «Свободный Сокол». Подавляющее большинство деталей автомобильного транспорта изготавливаются из ВЧШГ непосредственно на автомобильных заводах (КАМАЗ, ВАЗ, ГАЗ).

Рис. 1. Корпус поршневого компрессора (с двойной стенкой), массой 3650 кг. Материал ВЧ-40

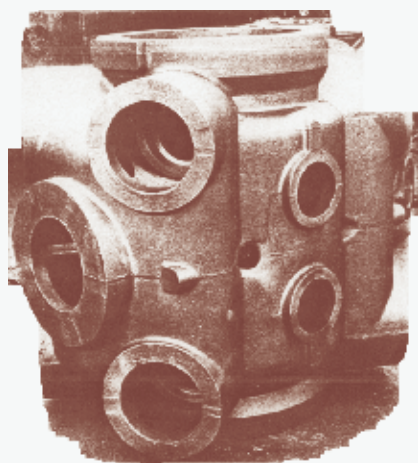
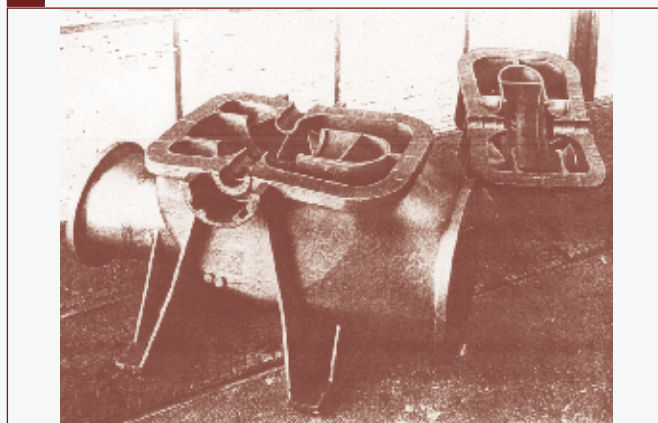


Рис. 2. Корпус насоса, состоящий из 2-х частей: 7,7 и 3,4 тонны. Материал ВЧ-40



Механические свойства ВЧШГ зависят от ряда факторов: химического состава чугуна, структурного состояния металлической основы, формы графита, толщины стенки отливки и др.

Однако, для повышения пластических свойств, как уже отмечалось, главным является преимущественно ферритная структура металлической основы (>80%), низкое содержание фосфора и серы, пониженное содержание марганца в чугуне и получение высоких значений коэффициента формы графита K_{ϕ} , принятой в практике как степень приближения к идеальной сфероидальной форме, обычно определяемой на количественном анализаторе «Квантимер-720».

$$K_{\phi} = 8,545F^{1/2}/P,$$

где: F – площадь отдельного включения графита;

P – периметр условного круга с равновеликой включениям графита площадью.

Для ферритного высокопрочного чугуна с содержанием 3,0-3,4% С; 1,6-1,8% Si; 0,3-0,35% Mn и 0,04-0,06% Mg с увеличением толщины стенки отливки коэффициент формы графита, естественно, снижается (см. табл.).

Толщина стенки отливки, мм	25	100	300	500
Коэффициент формы графита, K_{ϕ}	0,82	0,73	0,62	0,55

Разработанный совместно с ЗАО «Петрозаводскмаш» технологический процесс изготовления корпусных толстостенных отливок (содержащий ноу-хау), позволяет получать толстостенные крупнотоннажные изделия с более высокой (примерно на 20%) изотропностью физико-механических свойств.

Прочностные характеристики (R_m и $R_{p0,2}$) ферритного ВЧШГ с понижением температуры от +20°C до -150°C заметно возрастают, тогда как относительное удлинение (A_5) практически не изменяется, а ударная вязкость (KCV), особенно при повышенном содержании фосфора (> 0,01% P) и марганца (> 0,3% Mn) при температуре -40°C заметно (в 2-2,5 раза) снижается.

Исследование механических свойств опытной отливки глуходонного корпуса контейнера массой 40 тонн, с толщиной стенки 315 мм, показало, что механические свойства

тва отливки (R_m и $R_{p0.2}$) по высоте (4 м) и сечению отливки изменяются незначительно в пределах (5-8%).

Как показали дальнейшие исследования, такой незначительный для литого крупнотоннажного изделия разброс механических свойств можно несколько понизить при вводе в расплав чугуна небольшого количества РЗМ.

Высокопрочный чугун с шаровидным графитом, получивший в последнее время признание в мировой практике как самый экономичный и перспективный материал для производства цельнолитых, крупнотоннажных корпусов ТУКов, привлекает внимание специалистов также высокими литейными свойствами, позволяющими отливать любые по геометрической сложности изделия массой от нескольких килограммов до 250 тонн. Он обладает также следующими преимуществами:

- обеспечивает лучшую, чем другие сплавы, защиту от радиоактивных излучений вследствие наличия графита в металлической матрице чугуна,
- позволяет осуществлять ультразвуковой контроль качества изделия на всех стадиях изготовления и эксплуатации;
- обеспечивает получение, как уже отмечалось, высокой изотропности свойств изделия;
- позволяет в несколько раз снизить затраты на одно изделие в сравнении со сварно-коваными изделиями из стали.

Многолетний опыт безаварийной эксплуатации большого числа крупнотоннажных контейнеров, изготовленных фирмой GNB (Германия) из ВЧШГ и проведенные диагнос-

тические исследования практически не выявили изменений структуры и свойств чугунных контейнеров, что, по мнению специалистов, дает достаточно оснований гарантировать срок службы контейнеров из ВЧШГ более 50 лет.

В 2001 г. по результатам аттестационных испытаний полномасштабной 40-тонной модели корпуса контейнера, выполненных ОАО «НПО «ЦНИИТМАШ», совместно с ЗАО «Петрозаводскмаш» разработаны технические условия: «Чугун высокопрочный с шаровидным графитом для отливок упаковочных комплектов для хранения и транспортирования радиоактивных материалов» (ТУ 11306-004-00212179-2001).

В 2005 году на ЗАО «Петрозаводскмаш» был изготовлен и испытан в полном объеме всех требований Правил МАГАТЭ и нормативно-технической документации Российской Федерации и сертифицирован опытный образец транспортно-упаковочного комплекта, корпус которого изготовлен из высокопрочного чугуна с шаровидным графитом.

На *рис. 1 и 2* представлены лишь два типа образцов новой техники, серийно изготавливаемых изделий ответственного назначения из высокопрочного чугуна с шаровидным графитом.

По своим технико-экономическим показателям и неограниченным возможностям изготовления в литом состоянии любых по массе и геометрической сложности изделий ответственного назначения высокопрочный чугун с шаровидным графитом и в XXI веке не имеет себе равных аналогов среди металлических конструкционных материалов.