

Предложения по металлосбережению при литье высокопрочного чугуна в песчаных формах

Металлосбережение соответствует современной тенденции для инноваций в литейном производстве. Предложено использовать концепции сочетания новых достижений в технологии высокопрочных сплавов и формовочных процессов, а также литейной формы в качестве инструмента для изменения свойств металла из высокопрочного чугуна. Приведены рекомендации по оптимизации толщины стенок отливок, примеры точных легковесных отливок и высокотехнологичного их производства.

Ключевые слова: сбережение металла, точные отливки, высокопрочный чугун, ЛГМ-процесс, конструкция отливки, песчаная форма, вакуумируемая форма, металлоёмкость

В условиях повышения коммуникационных возможностей современного мира мы переходим в эпоху идей, от экономики внимания к экономике участия, когда производители и потребители путём развития мелких актуальных предложений могут создавать продукт, убирая всё лишнее с точки зрения потребления. Одной из актуальных задач литейного производства является существенное уменьшение массы литых конструкций для изделий машиностроения (в первую очередь транспортных средств) и рост их эксплуатационного ресурса. По мнению проф. Шинского О. И. современные литые конструкции в силу используемых литейных процессов и традиционных условий их конструирования как в Украине, так и странах СНГ превышают расчётные в 1,5-2,0 раза, а в Западной Европе – в 1,3-1,5 раза [1]. Это ведёт к перерасходу энергоносителей, шихтовых материалов, трудоёмкости литейного производства в 1,5-2,3 раза. При эксплуатации машин и механизмов, созданных на основе литых деталей высокой металлоёмкости, расходы энергоресурсов, топлива и смазочных материалов превышают на 20-30 % от использования оптимальных литых деталей. В денежном эквиваленте такие перерасходы только при производстве 1 млн тонн литья составляют более 10 млрд грн.

Для осуществления металлосбережения нужны новые методы расчёта эксплуатационных характеристик литых деталей, прогнозируемых свойств высокопрочных материалов, напряжённо-деформационного состояния отливок при их твердении и охлаждении с использованием наработанных научными институтами компьютерных информационных технологий и адаптированных компьютерных программ, отражающих кинетику кристаллизации и структурообразования отливок. Разработка автоматизированных систем проектирования литых конструкций с соответствующими базами данных должна сочетать новые достижения в технологии высокопрочных сплавов и формовочных процессов [1], включая последние разработки в области специальных видов литья, объединяющих точные способы получения отливок.

Литейная форма всё чаще рассматривается как инструмент для изменения свойств металла с целью металлосбережения, а не только как огнеупорная ёмкость для получения металлоизделия по чертежу конструктора.

В растущем с каждым годом мировом выпуске отливок (103,64 млн тонн за 2014 г.) доля отливок из серого чугуна (СЧ) составляет 47,46 млн т, из высокопрочного чугуна (ВЧ) – 25,03, стали – 11,05 (Mod. Casting № 12 – 2015). Видно, что объём отливок из ВЧ почти в 2,5 раза превышает объём стального литья и составляет почти четверть всего выпуска отливок. По тем же данным в Украине из 1,56 млн т за 2014 г. доля отливок из СЧ – 0,40 млн т (25,6 %), из ВЧ – 0,12 (7,7 %), стали – 0,58 (37,2 %), что существенно ниже относительных показателей в мире.

Результаты исследования структуры и механических свойств чугуновых отливок, полученных в песчаных формах различного вида, показывают многофакторное влияние графитовой фазы в сочетании с условиями охлаждения металла отливки на структуру и механические свойства металла. Графитовые включения в структуре чугуна способствуют повышению демпфирующей способности, теплопроводности, коррозионно- и износостойкости изделий. Обладая (среди двух основных типов Fe-C сплавов) лучшими, чем сталь литейными свойствами, чугун позволяет получать готовые изделия непосредственно в литом состоянии.

Однако графитовая фаза оказывает не только положительное, но и отрицательное воздействие на свойства чугуна. Графитовые включения, выступая в роли концентраторов напряжений, ослабляют металлическую матрицу, особенно, если они имеют различные дисперсность и количество включений на единицу площади шлифа, также влияют на соотношение содержания феррита-перлита металлической матрицы по толщине стенки отливки. Снизить отрицательное влияние включений графита стремятся за счёт уменьшения их размеров и более равномерного распределения в объёме этой матрицы. Изменяя форму графитовых включений, их распределение и количество, в сочетании с рациональным структурированием

металлической матрицы, можно эффективно управлять конечными свойствами чугуна [2].

Металлическая матрица в значительной степени определяет механические и эксплуатационные свойства литейных чугунов. Особенно очевидно это для чугунов с шаровидной формой графита марок ВЧ (ДСТУ 3925-99), где негативная разупрочняющая роль включений как концентраторов напряжений нивелируется их сферической формой. Поэтому максимальное использование прочностных свойств такой матрицы отвечает задаче металлосбережения.

В свою очередь технология литейной формы существенно влияет на качество отливок, в частности на скорость процесса кристаллизации металла и выделения в нём графитовой фазы, последние два процесса обладают определённой взаимосвязью. Анализ механических свойств и микроструктуры отливок из чугуна марок ВЧ 500-2 и ВЧ 500-7 ДСТУ 3925-99, полученных в песчано-глинистой по-сырому (ПГФ) и вакуумируемой (ВФ) в песчаных формах, показал характерные изменения механических свойств по толщине стенки отливки [3, 4] в пределах соответствия ДСТУ на стандартных пробах.

На графиках зависимости твёрдости металла НВ по Бринеллю (в соответствии с ГОСТ 9012-59 с изменениями 1963-2003 гг. и ISO 6506-81) и содержания перлита в структуре ВЧ от расстояния от поверхности (по глубине стенки) отливок деталей и ступенчатых образцов толщиной до 60 мм, полученных в ПГФ и ВФ, видно следующее (рис. 1). Кривые НВ и «количество перлита, %» имеют практически одинаковый куполообразный вид с явным максимумом [3]. На этих кривых твёрдость НВ в поверхностных слоях отливок из ВЧ растёт на глубину до ~15 мм, где достигает максимума, и далее НВ снижается. НВ по трём областям на расстоянии от поверхности 0, 15, и 30 мм в среднем составляет для отливок по ПГФ – 204-208-200 ед. с перлитом 49-71-48 %, для отливок по ВФ НВ 170-190-177 ед. с перлитом 18-63-45 % (остальное феррит и графит).

Из информационных источников и полученных нами данных на рис. 2 приведены для сравнения зависимости твёрдости по сечению отливок от расстояния l (м), от поверхности формы. Кривая 1 получена для отливки из ВЧ 600-2 при сырой формовке и затвердевании от стенки наружного холодильника, 2 – для отливки из чугуна СЧ 25 при ВПФ, 3 – для отливки цилиндрического образца из ВЧ 500-2, полученного нами в вакуумируемой форме (ЛГМ), 4 – для отливки из серого чугуна, полученной в кокиль [3].

Для кривых 1-3 наблюдается характерное понижение твёрдости у поверхности отливки. Кривая 4, иллюстрируя аномальную ферритно-графитную зону (минимальные значения НВ) при кокильном литье серого чугуна после образования отбеленного слоя толщиной до 14-15 мм, начиная с расстояния (l) 20-22 мм, имеет подобный остальным кривым характер изгиба.

Снижение твёрдости и содержания перлита в приповерхностных слоях отливок из ВЧ (рис. 1) объясняется повышенной скоростью затвердевания этих слоёв с образованием большого числа зародышей графита

и, следовательно, с появлением сравнительно мелких (точечных) графитовых включений, чем в среднем по толщине стенки отливки. Близкое расположение дисперсного эвтектического графита (переохлаждения) и большая суммарная площадь поверхности этих мелких графитовых включений способствуют при перлитном превращении полному распаду аустенита и выделению феррита (иногда до полного отсутствия перлита), сокращая пути диффузии углерода к графитовым включениям при распаде карбидов, что является аналогом графитизирующего самоотжига [5]. Снижение твёрдости и содержания перлита в центральных зонах отливок объясняется наиболее медленным их охлаждением в данном теле отливки.

Снижение твёрдости в приповерхностных и центральных слоях чугунных отливок, полученных в ВФ, проявляется сильнее (чем в ПГФ) и относится к характерным явлениям для этих форм. Среднее

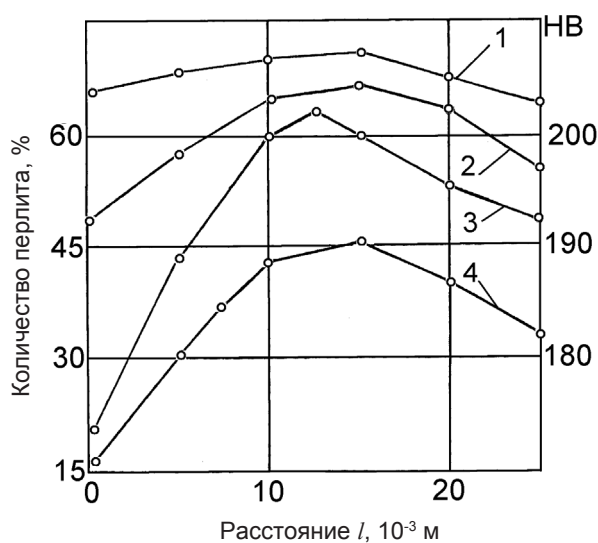


Рис. 1. Изменение твёрдости (1, 3) и содержания перлита (2, 4) отливок из чугуна марок ВЧ 500-2, ВЧ 500-7 от расстояния l от их поверхности, соответственно: 1, 2 – при ПГФ; 3, 4 – в вакуумируемой форме (ЛГМ)

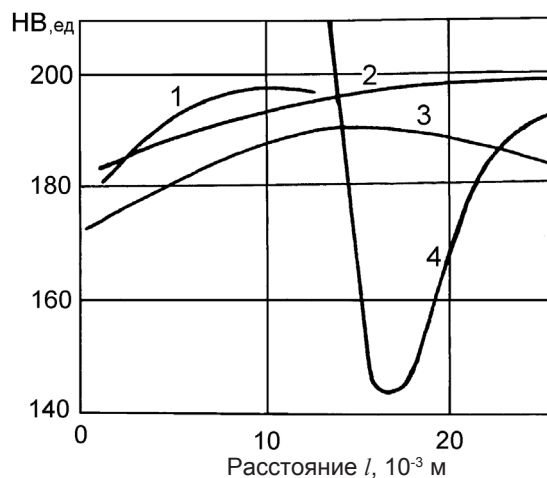


Рис. 2. Изменение твёрдости отливок от расстояния l от поверхности стенки (по глубине) отливки: 1 – отливка из ВЧ 600-2 от наружного холодильника; 2 – отливка из СЧ 25 при ВПФ; 3 – цилиндрической отливки из ВЧ 500-2, полученной в вакуумируемой форме (ЛГМ); 4 – для отливки из серого чугуна, полученной в кокиль

значение НВ отливки, полученной в ПГФ, превышает НВ отливки, полученной в ВФ на 20...25 ед. Вакуум формы, притягивая металл, ускоряет его затвердевание в слое, контактирующем с формой, но сухой песок ВФ проводит тепло хуже, чем при ПГФ, и, в целом, затвердевание и охлаждение отливки при ВФ идёт медленнее. Этим объясняются более крутые изгибы кривых 3, 4 по сравнению с кривыми 1, 2. Сравнение микроструктуры и твёрдости металла отливок по сечению (толщине l) показывает характерное укрупнение графитовых включений в стенке толщиной 45-50 мм (от наружной поверхности к центру) при литье в ВФ в 2,3-2,5 раза, при ПГФ – в 1,5-2,0 раза. Причём заметно, что с укрупнением размера включения графита в центре тела отливки несколько ухудшается его шаровидная форма, а в местах температурных узлов в центральных зонах могут наблюдаться области с так называемым «вырожденным» шаровидным графитом («шунку»-графит) – вероятно по причине понижения в них остаточного магния.

Подобный изгиб кривой твёрдости наблюдается в ряде случаев также в отливках из серого чугуна. Например, это описано при получении отливок в металлических формах и вызвано повышенной скоростью кристаллизации металла отливки с выделением высокодисперсного графита. Серые чугуны высоких марок, как правило, имеют меньшее содержание углерода, чем ВЧ, и переход на более «прочную» марку чугуна при конструировании деталей часто выполняют путём перехода на чугун с вермикулярным или шаровидным графитом, устраняя «надрезающий» эффект пластинчатого графита.

Такое явление образования в приповерхностных слоях отливок преимущественно «мягкой» ферритной структуры с мелкими частыми включениями графита иногда называют образованием «аномальной структуры». Оно не оказывает «браконосного» ухудшения механических свойств отливок, получаемых в песчаных формах, и пока не настолько изучено, чтобы его можно было бы специально создавать для формирования и использования подобных структур во всём теле или в определённых слоях чугунных отливок. Однако для конструирования отливок из ВЧ описанное характерное изменение механических свойств предложено учитывать для оптимизации конструкции отливки с целью металлосбережения [6].

Кривые изменения прочностных свойств отливок из ВЧ в песчаной форме, закономерное снижение количества перлита в стенке отливки на глубине более 15 мм поставило вопрос о целесообразности утолщения стенок конструкций свыше этого размера в свете берегающей металл тенденции в машиностроении. Рационально ли упрочнение конструкции путём увеличения толщины стенки за счёт увеличения массы металла, который имеет при этих условиях невысокую прочность? При ответе на этот вопрос очевидна выгода толщины стенки не выше размера $15 \cdot 2 = 30$ мм, при которой с обеих её поверхностей к середине твёрдость и перлитная составляющая приближается к максимуму, что позволит предельно использовать механические свойства ВЧ на единицу массы.

Охлаждение отливок в ВФ на 20-22 % дольше, чем в ПГФ, скорость охлаждения ниже и, соответственно, твёрдость примерно на 9-10 % ниже [3]. Однако при литье в ВФ недостаточно применяют ту особенность, что вакуум в поверхностной зоне отливки благодаря силовому действию (присасыванию) снижает зазор на границе «металл-форма» и повышает скорость затвердевания ВЧ на глубину до 8 мм (ускоренное образование корки металла). Это характерное явление использовали для литья ВЧ при учёте удвоенной толщины этой корки с обеих сторон стенки в способе литья ВЧ без прибылей [7].

Ускоренное затверждение стенок отливок на расстоянии до 8 мм от её поверхности литье в ВФ видно на шлифах при исследовании микроструктуры по измельчению зерна металла и графитовой фазы такой поверхностной корки при разрезании стенки. Прочность этой ускоренно образующейся корки суммируется с прочностью формы и достаточна для удержания от деформации стенки отливки от предусадочного расширения металла, давление которого в затвердевшей оболочке уплотняет металл и способствует его упрочнению.

Рассмотрим подробнее возможности по металлосбережению при литье ВЧ в ВФ без применения питающих прибылей. Как известно, графитизированные чугуны претерпевают предусадочное расширение в твёрдом, твёрдожидком и жидком состояниях, и этот процесс по данным [8] начинается для таких чугунов с различной формой графита при температуре $T_p < 1207$ °С и $C_E > 3,73$ при ($C_E = C + 0,5Si + 0,25P$). Такие условия отвечают практически всем маркам ВЧ по ДСТУ 3925-99.

Предусадочное расширение протекает до температуры 900-950 °С, при охлаждении отливки [9] до этой температуры следует продолжать вакуумировать форму, поддерживая её в упрочнённом состоянии, когда она тормозит внешнее расширение отливки, а объём предусадочного расширения металла компенсирует объём его усадки. При этом показано, что стенка отливки из ВЧ 500-2 толщиной 36 ± 4 мм оказывает минимальное давление на форму, так как объём расширения наружной части стенки до образования прочной замкнутой корки отливки не превышает объёма усадки остальной части отливки [7]. При условии нерасширения стенок отливки (обратное характерно для сырой формы и требует применения прибылей) в толще более тонких стенок при кристаллизации отливок, получаемых в ВФ, преобладает давление от предусадочного расширения, а при толщине 36 ± 4 мм и выше это давление компенсируется усадкой жидкой части металла, когда свободно образуется поверхностная корка практически без повышенного давления на поверхность формы (без расталкивания стенок формы) с последующим затвердеванием металла в такой замкнутой корке, внутри которой отсутствуют условия образования усадочных дефектов из-за расширения металла.

Следовательно, для металлосбережения следует брать в расчёт характерное явление измельчения структуры металла при литье в ВФ при конструировании отливки, а также указанный способ литья без

прибылей при создании условий компенсации усадки за счёт расширения металла в замкнутой корке при выделении в нём графитовой фазы. Косвенно такая компенсация подтверждается увеличением общей усадки отливки при ВФ (по сравнению с ПГФ) с повышением точности размеров отливки (уменьшении отклонений от чертежа) при серийном производстве [10].

Техническое предложение изготовления отливок из ВЧ литьём в песчаную форму со стенками толщиной не более 30 мм основано на использовании в отливках прочной перлитной структуры ВЧ в стенках указанной толщины без дальнейшего утолщения стенки, поскольку, согласно исследованиям [3, 4], дальнейшее наращивание толщины добавит металл невысокой прочности. С ростом толщины стенки ВЧ уменьшается соотношение количества перлита к ферриту. Феррит имеет незначительную прочность ($\sigma_b = 250$ МПа) и твёрдость (НВ 80-100), а предел прочности зернистого перлита достигает $\sigma_b = 800$ МПа [11]. Показатель твёрдости прямо пропорционально связан с прочностью для перлита – НВ 170-230 [12] в зависимости от вида, хотя для легированного ВЧ с почти 100 % перлита в литом состоянии получали $\sigma_b = 860$ МПа, НВ 280 [13].

Если отливке требуется повышение прочности более достижимой указанной толщиной стенок (при литье в песчаную форму со стенками толщиной не более 30 мм) для данной марки ВЧ, то дальнейшее упрочнение её конструкции следует достигать добавлением к ней рёбер и опор указанной толщины. Это часто наиболее удобно выполнить для ЛГМ-процесса, обладающего широким диапазоном способов получения разовых моделей, включая применение 3D-обработки материалов на станках с ЧПУ.

Таким образом, сбережения металла рекомендуется достигать за счёт его использования в отливке с наиболее прочной литой структурой, возможной при литье в песчаные формы со стенками указанной толщины, за счёт приближения к максимальному использованию перлитной составляющей. А для литья в песчаную ВФ предложено учитывать специфическое для этого процесса ускоренное затвердевание корки металла для стенок толщиной не более 16 мм, зерно структуры которых измельчается под действием вакуума формы [3, 4, 6]. При этом следует учитывать возможность экономии металла при отказе от питающих прибылей, используя давление предусадочного расширения [7] в теле стенки отливки в процессе кристаллизации ВЧ, которое способствует упрочнению с предотвращением образования усадочных дефектов. При этом возникает необходимость уточнения рассмотренных явлений для различных марок чугунов и конструкций отливок, а также исследования влияния внутрискоточного давления на свойства металла.

По итогам обзора информации в области металосбережения и оптимизации литых конструкций, процессов их получения и автоматизированных методов проектирования, по теме статьи заслуживает внимания традиция Американского общества литейщиков, на сайте которого, начиная с 2008 по 2015 гг., представлены галереи конкурса «Отливка года»,

где примерно треть образцов – отливки из ВЧ [14]. Среди этих отливок 2013-2015 гг. (рис. 3), в разном масштабе показаны 300 т плита (а), подрамник для транспортного средства (б), передняя опора двигателя тяжёлого грузовика (в), деталь для горнодобывающего оборудования (е), деталь трактора (д), деталь по ЛГМ-процессу для тяжёлых грузовиков (е), корпус для гидравлики (ё), устройство для косилок (ж), корпус подшипника для привода вентилятора трактора (з), кронштейн для сельхозмашиностроения (и), деталь трактора (к), тройник системы пожаротушения (л), зажим для бетонных изделий (м), кронштейн из аустенизированного ВЧ (н). На двух последних фото показаны стальные сварные детали и их замена на отливки из ВЧ (о, л).

Показанные примеры конкурсных отливок из ВЧ дополняют информацию для анализа и идентификации базовых литых конструкций транспорта (автотракторного, ж/д), трубопроводов, нефтехимической промышленности, горно-обогатительного комплекса для разработки многоуровневой структуры определения и прогнозирования эксплуатационных характеристик базовых литых конструкций из ВЧ для этих отраслей. Эти примеры демонстрируют высокотехнологический уровень развития ведущих зарубежных производств, с которым необходимо конкурировать отечественным литейщикам.

Из вышеуказанного мирового выпуска литья в 2014 г. в Китае было произведено 46,2 млн т (44,58 %). По теме сочетания новых достижений в технологии высокопрочных сплавов (ВЧ) и формовочных процессов для тонкостенного литья интересен недавний опыт компании из Китая Hebei Ruiou Lost Foam Science & Technology Co.,Ltd, описанный на её сайте [15]. Эта компания изготовила массовым производством – ЛГМ-процессом (Lost Foam Casting) для заказчика из Марокко партию крышек люков размером 850 мм с толщиной литой стенки 4 мм (по тексту с сайта) из ВЧ марки QT500-7 (ближайший аналог ВЧ 500-7 ДСТУ 3925-99). На сайте показано, как два вида моделей (рис. 4, а, б) из пенополистирола плотностью 22 кг/м³ склеивали на трубчатых каркасах (рис. 4, в, г), рассредоточенными и многоярусными литниковыми системами подавали металл в центральную часть отливки. Показаны сушка в сушиле окрашенных с помощью душа моделей (рис. 4, д, е), формовка нескольких моделей в контейнере (рис. 4, ж) и готовые отливки люков (рис. 4, з). По показателям прочности на разрыв и удлинению отливки соответствовали требованию заказчика.

Выполнен комплекс технических решений при ответе на ряд вопросов, неминуемо возникающих при литье тонкостенных изделий ЛГМ-процессом. Избежать короблений габаритной тонкостенной модели при формовке удалось путём использования каркасов при монтаже модели, окраске, формовке и, вероятно, заливке формы металлом в вакуумируемой форме. Для предотвращения недоливов и спаев снизили до минимума плотность модели при сохранении удовлетворительной шероховатости поверхности, скорректировали углеродный эквивалент металла для повышения жидкотекучести и повысили



Рис. 3. Отливки из ВЧ в галерее «Отливка года» 2013-2015 гг. (www.afsinc.org)

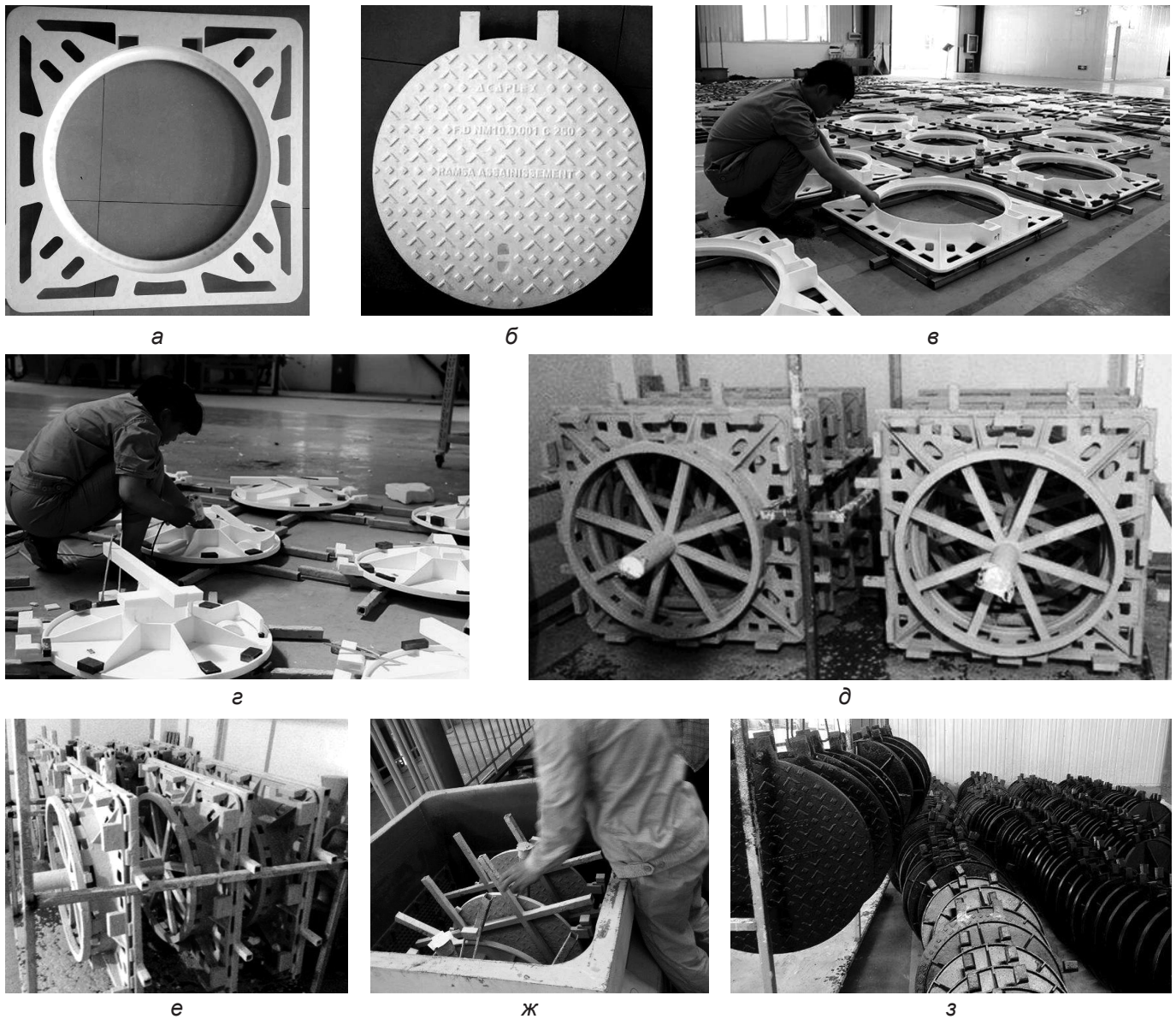
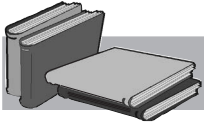


Рис. 4. Производство тонкостенных люков ЛГМ-процессом [16]

содержание марганца для увеличения прочности и ударной вязкости чугуна. Отливки обладают эргономичностью, оптимально сочетают эстетичность и металлосбережение за счёт высокой прочности тонкостенного литья с использованием ускоренно затвердевающей поверхностной корки металла на развитой поверхности формы с декоративным рельефом для противоскольжения. Множество тонкостенных рёбер позволяет отливке выдерживать испытание давлением, заявленным исполнителем, демонстрируя преимущества использования высокой прочности металла тонкостенной отливки.

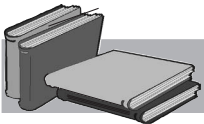
Показанные высокотехнологичные примеры соответствуют современной инновационной тенденции металлосбережения как приоритетному направлению совершенствования литейного производства. В процессе выполнения отделом ФХПФ Физико-технологического института металлов и сплавов НАН Украины текущей ведомственной научно-исследовательской работы проводится анализ параметрических признаков конструкций отливок и процессов их получения для уменьшения металлоёмкости путём

оптимизации литых конструкций и технологий формообразования при сопоставлении с базой данных высокопрочных материалов. Это позволит адаптировать компьютерные методы определения и прогнозирования эксплуатационных свойств базовых литых деталей для автоматизированных систем проектирования отливок малой металлоёмкости. Планируется изготовление опытных образцов таких отливок по оптимизированным технологическим процессам формообразования и определение технико-экономических показателей нового класса литых конструкций малой металлоёмкости.



ЛИТЕРАТУРА

1. Шинский О. И. Снижение металлоемкости литейной продукции – основа развития отрасли / О. И. Шинский // Оборудование и инструмент для профессионалов. – 2011. – № 1. – С. 78-79.
2. Макаренко К. В. Рациональное структурирование графитизированных чугунов // Труды НГТУ им. Р. Е. Алексеева. – 2014. – № 2. – С. 196-205.
3. Барский В. Т. Некоторые особенности получения отливок при ВПФ / В. Т. Барский, В. С. Дорошенко, Н. И. Шейко // Литейное производство. – 1987. – № 2. – С. 38-39.
4. Формирование структуры чугунных отливок при ЛГМ в формах из кварцевого песка и металлической дробы / Н. Я. Терещенко, Т. К. Пилипенко, В. С. Дорошенко и др. // Процессы литья. – 2009. – № 4. – С. 31-37.
5. Производство крупногабаритных отливок их чугуна / Н. Н. Александров, А. А. Черепов, В. В. Андреев, Е. В. Ковалевич. – М.: НИИЭнформнергомаш, 1987. – 44 с.
6. Дорошенко В. С. Изменение содержания перлита по толщине стенки отливки из высокопрочного чугуна при литье в песчаных формах / В. С. Дорошенко, В. О. Шинский // Литье. Metallurgia. 2015: Материалы XI Международной научно-практич. конференции (26-28.05.2015, г. Запорожье) / Под общ. ред. Пономаренко О.И. – Запорожье, ЗТПП. – С. 61-62.
7. А. с. 1694316 СССР, МКИ В22С 9/02. Способ изготовления отливок из чугуна с шаровидным графитом / В. С. Дорошенко, Н. И. Шейко – Оpubl. 30.11.1991, Бюл. № 44.
8. Трухов А. П. Усадочные явления в чугунных отливках / А. П. Трухов. – М.: Машиностроение, 1985. – 44 с.
9. Шапранов И. А. Высокопрочные и специальные чугуны / И. А. Шапранов, А. Д. Срыбник. – М.: Машиностроение, 1983. – 44 с.
10. Дорошенко В. С. Особенности литья высокопрочного чугуна в вакуумируемые формы / В. С. Дорошенко, В. О. Шинский // Металл и литье Украины – 2015. – № 9. – С. 18-21.
11. Козлов Ю. С. Материаловедение / Ю. С. Козлов. – М.: Высш. школа, 1983. – 118 с.
12. Новиков И. И. Теория термической обработки металлов / И. И. Новиков – М.: Metallurgia, 1986. – 480 с.
13. Медь в высокопрочном чугуне / В. Б. Бубликов, А. А. Ясинский, Л. Н. Сыропоршневы и др. // Процессы литья. – 2010. – № 3. – С. 46-57.
14. Дорошенко В. С. Отливки из высокопрочного чугуна малой металлоемкости // Перспективные технологии, материалы и оборудование в литейном производстве: материалы V междунар. научно-техн. конференции, 21-25 сентября 2015 г. / под общ. ред. А. Н. Фесенко, М. А. Турчанина. – Краматорск: ДГМА, 2015. – С. 62-63.
15. Our company successfully quantity produced the manhole cover by lost foam process. News, 2015.7.9 [Электронный ресурс] // Hebei Ruiou Lost Foam Science & Technology Co.,Ltd: [сайт] – Режим доступа: <http://www.ruioeipc.com/info.asp?id=3444> (13.01.06). – Загл. с экрана.



REFERENCES

1. Shinskij O. I. (2011). *Snizhenie metalloemkosti litejnoj produkcii – osnova razvitija otrasli.* – Oborudovanie i instrument dlja professionalov, no 1, pp. 78-79. [in Russian].
2. Makarenko K. V. (2014). *Racional'noe strukturirovanie grafitizirovannyh chugunov.* – Trudy NGTU im. R. E. Alekseeva, no 2, pp. 196-205. [in Russian].
3. Barskij V. T. Doroshenko V. S., Shejko N. I. (1987). *Nekotorye osobennosti poluchenija otlivok pri VPF.* – Litejnoe proizvodstvo, no 2, pp. 38-39. [in Russian].
4. Tereshhenko N. Ja., Pilipenko T. K., Doroshenko V. S. et al. (2009). *Formirovanie struktury chugunnyh otlivok pri LGM v formah iz kvarcevogo peska i metallicheskoj drobi.* – Processy lit'ja, no 4, pp. 31-37. [in Russian].
5. Aleksandrov N. N., Cherepov A. A., Andreev V. V., Kovalevich E. V. (1987). *Proizvodstvo krupnogabaritnyh otlivok ih chuguna.* – M.: NIIEinformnergomash, 44. [in Russian].
6. Doroshenko V. S., Shinskij V. O. *Izmenenie soderzhaniya perlita po tolshhine stenki otlivki iz vysokoprochnogo chuguna pri lit'e v peschanyh formah.* Materialy 11 Mezhdunarodnoj nauchno-praktich. konferencii «Lit'e. Metallurgija. 2015». Zaporozh'e, 2015, pp. 61-62. [in Russian].
7. A. s. 1694316 SSSR, MКИ V22S 9/02. *Sposob izgotovlenija otlivok iz chuguna s sharovidnym grafitom / Doroshenko V. S., Shejko N.I.* – Opubl. 30.11.1991, Bjul. no 44. [in Russian].
8. Truhov A. P. (1985). *Usadochnye javlenija v chugunnyh otlivkah.* – M.: Mashinostroenie, 44. [in Russian].
9. Shapranov I. A., Srybnik A. D. (1983). *Vysokoprochnye i special'nye chuguny.* – M.: Mashinostroenie, 44. [in Russian].
10. Doroshenko V. S., Shinskij V. O. (2015). *Osobennosti lit'ja vysokoprochnogo chuguna v vakuumiruemye formy.* – Metall i lit'e Ukrainy, no 9, pp. 18-21. [in Russian].
11. Kozlov Ju. S. (1983). *Materiallovedenie.* – M.: Vyssh. shkola, 118. [in Russian].
12. Novikov I. I. (1986). *Teorija termicheskoj obrabotki metallov.* – M.: Metallurgija, 480. [in Russian].
13. Bublikov V. B., Jasinskij A. A., Syroporshnev L. N. et al. (2010). *Med' v vysokoprochnom chugune.* – Processy lit'ja, no 3, pp. 46-57. [in Russian].
14. Doroshenko V. S. *Otlivki iz vysokoprochnogo chuguna maloj metalloemkosti.* Materialy 5 Mezhdunarodnoj nauchno-tehn. Konferencii «Perspektivnye tehnologii, materialy i oborudovanie v litejnom proizvodstve», Kramatorsk, 2015, pp. 62-63. [in Russian].
15. Our company successfully quantity produced the manhole cover by lost foam process. News, 2015.7.9 [Elektronnyj resurs] // Hebei Ruiou. Lost Foam Science & Technology Co.,Ltd: [sajt] – Rezhim dostupa: <http://www.ruioeipc.com/info.asp?id=3444> (13.01.06). – Zagl. s ekrana.

Анотація

Дорошенко В. С.

Пропозиції з металозбереження при литті високоміцного чавуну в піщаних формах

Металозбереження є сучасною тенденцією для інновацій в ливарному виробництві. Концепції поєднання нових досягнень у технології високоміцних сплавів і формувальних процесів, а також використання ливарної форми в якості інструменту для зміни властивостей металу запропоновано використовувати для лиття високоміцного чавуну. Наведено рекомендації щодо оптимізації товщини стінок виливків, приклади точних легковагих виливків і високотехнологічного їх виробництва.

Ключові слова

заощадження металу, точні виливки, високоміцний чавун, ЛГМ-процес, конструкція виливки, піщана форма, вакуумна форма, металоємність

Summary

Doroshenko V.

Advice on saving metal for casting ductile cast iron in sand molds

Savings metal corresponds to the current trend for innovation in the foundry industry. Concept combination of new advances in the technology of high-strength alloys and molding processes, and the use of the mold as a tool to change the properties of the metal offered to use for casting ductile cast iron. Guidelines for optimizing the thickness of castings, examples accurate castings of lightweight and high-their production are described in the article.

Keywords

saving metal, precision castings, ductile iron, Lost Foam Casting, design casting, sand casting, evacuated mold, metal content

Поступила 14.01.2016

Телефон редакції журналів
«Металл и литьё Украины» и «Процессы литья»

(044) 424-04-10

Информация о журналах на сайте:

www.ptima.kiev.ua