

б) габаритные размеры фильтрующей сетки должны превышать диаметр зумпфа на 15–40 мм;

в) зона перекрытия стояка элементом модифицирующим по площади не должна превышать 30–40 %;

г) при использовании предлагаемой технологии время заливки формы практически не меняется и переделки оснастки не требуется;

д) для оптимально эффективного использования ЭКМФ возможно необходима доработка формы стояка (либо его диаметра) (рис. 3), а также определение химического состава чугуна.

Данная технология была успешно опробована в промышленных масштабах в условиях чугунолитейного цеха РУП «МАЗ», ОАО «КАМАЗ-Металлургия», ОАО «Автодизель».

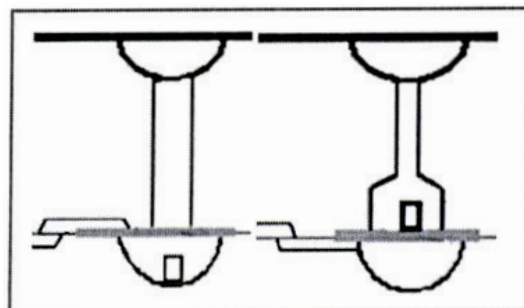


Рис. 3. Схема расположения ЭКМФ в усовершенствованных литейных формах: использование по данным схемам ускоряет время заливки, предотвращает всплытие и способствует лучшему усвоению элемента модифицирующего

Использованы материалы: <http://evtektika.com>



ПРИКЛАДНЫЕ НАУЧНЫЕ РАЗРАБОТКИ

УДК 641.74:681.5:519.24

DOI: 10.15587/1729-4061.2015.56039

ПОВЫШЕНИЕ КАЧЕСТВА ЛИТЫХ ДЕТАЛЕЙ ДВС: УЧЕТ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ АСПЕКТОВ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ЛИТЕЙНОГО ПРОИЗВОДСТВА

Акимов Олег Викторович, доктор технических наук, профессор

Заведующий кафедрой, кафедра литейного производства, Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт», ул. Фрунзе, 21, г. Харьков, Украина, 61002
E-mail: litvo11@kpi.kharkov.ua

Коваль Оксана Сергеевна

Инженер, кафедра сварки, Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт», ул. Фрунзе, 21, Харьков, Украина, 61002

Пуляев Антон Анатольевич

Аспирант, кафедра литейного производства, Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт», ул. Фрунзе, 21, Харьков, Украина, 61002

Дымко Егор Павлович

Аспирант, кафедра литейного производства, Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт», ул. Фрунзе, 21, Харьков, Украина, 61002

Егоренко Татьяна Александровна

Кафедра литейного производства, Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт», ул. Фрунзе, 21, Харьков, Украина, 61002

Высоцкий Святослав Викторович

Кафедра литейного производства, Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт», ул. Фрунзе, 21, Харьков, Украина, 61002

Показано, що ключове місце в модернізації ливарного виробництва, орієнтованого на випуск литих деталей двигунів внутрішнього згорання (ДВЗ), відводиться заміни існуючих матеріалів перспективними і управлінню процесами плавки і позапічної обробки. Для литих деталей ДВЗ запропоновані застосування алюмінієвих чавунів

з вермикулярным графитом і технологічні схеми процесів, що забезпечують підвищення якості литих деталей ДВС.

Ключові слова: литая деталь, двигун внутрішнього згорання, алюмінієвий чавун, вермикулярний графіт.

Показано, что ключевое место в модернизации литейного производства, ориентированного на выпуск литых деталей двигателей внутреннего сгорания (ДВС), отводится замене существующих материалов перспективными и управлению процессами плавки и внепечной обработки. Для литых деталей ДВС предложены применение алюминиевых чугунов с вермикулярным графитом и технологические схемы процессов, обеспечивающие повышение качества литых деталей ДВС.

Ключевые слова: литая деталь, двигатель внутреннего сгорания, алюминиевый чугун, вермикулярный графит.

1. Введение

Ужесточение требований к качеству литых деталей двигателей внутреннего сгорания и энергоустановок (ДВС) требует непрерывного совершенствования процессов конструкторско-технологической подготовки производства. При этом на передний план выходит не только необходимость повсеместного применения современных CAD/CAM/CAE-систем, но и учет реальных возможностей предприятия по обеспечению решений, выработанных на основе использования таких систем. В условиях, когда для изготовления литых деталей используется физически и морально устаревшее оборудование, даже наличие оптимальных проектных решений не станет панацеей в контексте обеспечения высокого качества литых деталей. Возможным выходом из складывающейся ситуации может быть комплексный подход, основанный на решении задач модернизации существующих мощностей, имеющей целью внедрение автоматизированных систем, способных обеспечивать получение стабильных высоких показателей качества литых деталей.

При этом очевидна необходимость выбора приоритетных направлений модернизации в условиях ограниченных возможностей финансирования комплекса соответствующих мероприятий. Поэтому исследования, направленные на выбор основных путей модернизации, обеспечивающих возможность получения стабильного и высокого качества литых деталей ДВС, по праву можно считать актуальными.

2. Анализ литературных данных и постановка проблемы

Пути повышения качества литых деталей исследователи традиционного рассматривают в двух аспектах: за счет совершенствования технологии литейной формы и за счет управления плавкой и термовременной обработкой. В рамках первого подхода упор делается на компьютерно-интегрированное проектирование технологии литейной форм с мак-

симальным привлечением всего функционала, предоставляемого CAD/CAM/CAE-системами [1–4]. Анализ работ такого плана показывает, что при проектировании технологии затрагиваются вопросы и выбора рациональной полости формы, и материалов, применяемых для изготовления формы, и конструирования литниково-питающих систем. Зачастую все эти технические решения должны учитывать возможность внедрения в производство с учетом быстро меняющейся номенклатуры литых деталей, а также в условиях модернизации тех или иных участков литейного цеха, накладывающих определенные ограничения на возможности внедрения [5, 6].

В рамках второго подхода упор делается на поиск оптимального управления процессами плавки и внепечной обработки [7–10]. В контексте такого подхода особое внимание исследователей обращено на разработку математических моделей и синтез оптимальных регуляторов, обеспечивающих заданные требования к критериям качества управления. Последнее также является вопросом дискуссионным, т. к. предпочтение одному из критериев, как правило, ухудшает другие. Например, попытка реализации управления процессом плавки и термовременной обработки, обеспечивающего высокую производительность, приводит к повышению энергозатрат и ухудшению качества сплава для литых деталей. В условиях же использования для плавки электропечей, энергозатраты являются как раз основной составляющей в оценке эффективности процесса. Все это позволяет сделать вывод, что существующие варианты решений в рамках второго подхода ориентированы на описание процессов энергетическими характеристиками и при всей обоснованности с точки зрения управления плавкой не в полной мере учитывают влияние технологических параметров процесса на качество получаемого продукта, в частности литых деталей ДВС. Отсутствие единого мнения относительно приоритетов лишь подчеркивает то обстоятельство, что без учета специфики конкретного производства эффективное решение задачи обеспечения высокого

качества литых деталей вряд ли возможно. В связи с этим, для решения задач повышения качества литых деталей представляет интерес дальнейшее развитие интегрированного подхода, объединяющего как вопросы поиска оптимального управления плавкой, так и поиска технологических инструментов, в первую очередь выбора и обоснования сплавов для литых деталей ДВС в зависимости от их функционального назначения.

3. Цель и задачи исследования

Целью исследования является разработка предложений по выбору материалов и технологических особенностей их получения для литых деталей ДВС.

Для достижения этой цели рассматривались следующие задачи:

- ➔ обоснование проектно-технологических схемных решений, обеспечивающих возможность выполнения требований к качеству сплава на этапе «плавка — заливка в формы»;

- ➔ обоснование выбора материалов для литых деталей ДВС в зависимости от их функционального назначения и технологических особенностей их получения.

4. Выбор проектно-технологических схемных решений по плавильно-заливочным участкам цеха

Под проектно-технологическими схемными решениями следует понимать такое расположение оборудования на плавильно-заливочных участках, которое обеспечивает возможность минимизации потерь тепла расплавом и времени его транспортировки до участка заливки, а также возможность автоматизации плавильно-заливочных операций и управления процессами плавки и термовременной обработки при минимуме энергетических затрат.

Если в качестве плавильного агрегата используется электродуговая печь, то в плане автоматизированного производства представляется рациональной двухпозиционная система — двухванная дуговая печь, в которой совмещаются процессы плавки и окисления, а также процессы рекуперации тепла отходящих газов. Такая схема представлена на **рис. 1** [11].

При этом процесс управления плавкой и термовременной обработкой с использованием алгоритмов, описанных в работе [10], позволяет решать задачи интеграции в функционирующие промышленные системы управления, а сама печь рассматривается в комплексе с заливочным, формовочным и транспортным оборудованием плавильно-заливочно-формовочной системы цеха.

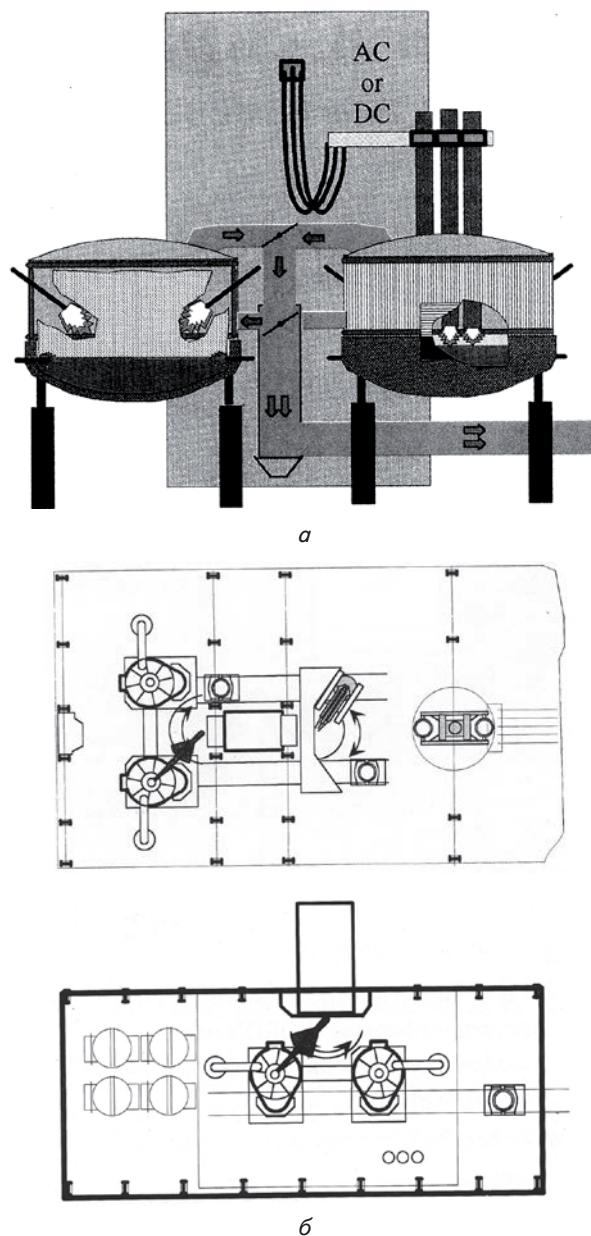


Рис. 1. Схема двухванной дуговой печи: а — схема процесса, б — компоновка

Если в цехе предусмотрена технология индукционной плавки, представляет интерес применение компоновочных решений на основе индукционных плавильных комплексов GWJ [12], предусматривающих два плавильных поста на один источник питания, работающие по системе «бабочка» (**рис. 2**). Такая система характеризуется высокой производительностью, экономичностью, надежностью, простотой в управлении, техническом обслуживании и рекомендованы к трехсменному режиму работы. Привод поворота плавильного узла электропечи для слива металла — электро-механический. Управление сливом осуществляется с пульта дистанционного управления, который устанавливается в удобном для плавильщика месте и позволяет управлять сливом любого из двух

плавильных постов. Электропитание комплекса осуществляется от тиристорного преобразователя частоты серии KGPS, который выполнен по схеме регулируемого выпрямителя с последующим инвертированием.

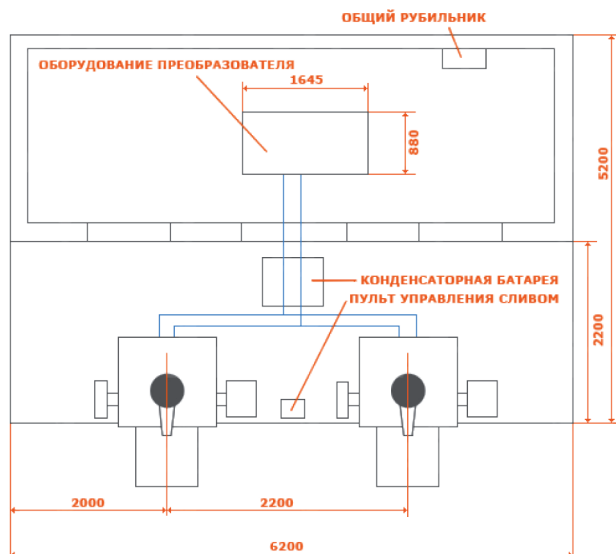


Рис. 2. Компоновочное решение на базе индукционного плавильного комплекса GWJ-0,25-250-1

Эффективным представляется также использование двухпозиционных заливочных автоматов, рассматриваемых как элементы системы массового обслуживания «печь – литейный конвейер» и работающих по принципу: один ковш заполняется расплавом из печи, из второго в это время заливается форма при поступлении заявки на расплав, генерируемый конвейером [13].

Представленные варианты обладают тем преимуществом, что совмещают рациональным образом ряд технологических операций, обеспечивая компромиссные решения по критериям эффективности управления: быстрдействие, энергосбережение и производительность.

5. Выбор материалов для литых деталей ДВС в зависимости от их функционального назначения и технологических особенностей их получения

Выбор материалов, безусловно, определяется функциональным назначением литой детали. Так, например, если для корпусных деталей ДВС используются чугуны, то для поршней применяются также и цветные сплавы. При этом технология выбранного конструкционного материала должна предполагать возможность эффективного управления формированием его микроструктуры и свойств. Учитывая, что наиболее значимым фактором в решении этого вопроса является использование модификаторов, поиск путей эффективного

решения данной задачи лежит в области оптимизации технологических режимов модифицирования. Известно, что при использовании типового модифицирования ферросилицием, повышение температуры модифицирования до 1450 °С способствует усилению модифицирующего эффекта, хотя продолжительность действия модификатора сокращается. Модифицирование чугуна при более низких температурах (1380–1420 °С) обеспечивает, как правило, наиболее стабильные результаты и высокие показатели качества чугунных отливок. Способ «позднего» модифицирования, часто применяемых в практике внепечной обработки чугуна, имеет целью устранение влияния фактора времени на эффективность обработки чугуна. Максимальный эффект достигается применением мелкозернистых фракций модификатора и использованием различных сортов ферросилиция ФС75, причем массовая доля фракций 0,3–0,5 мм в присадке должна составлять не менее 15–20 %. Наличие крупных фракций (более 2,0 мм) при «позднем» модифицировании не допускается, поскольку в отливках возможно образование нерастворенных частиц модификатора. Оптимальная массовая доля присадки ферросилиция ФС75 при введении его в форму или в литниковую чашу составляет 0,05–0,1 % металлоемкости формы, для других способов «позднего» модификации она равна 0,1–0,2 %. При «позднем» модифицировании целесообразно использовать ферросилиций ФС75, содержащий активные присадки стронция и РЗМ (редкоземельные металлы). Сравнение результатов, полученных при использовании «чистого» ФС75 и содержащего такие присадки, показывает, что близкая микроструктура чугуна получается при разной длительности модифицирующего эффекта (рис. 3).

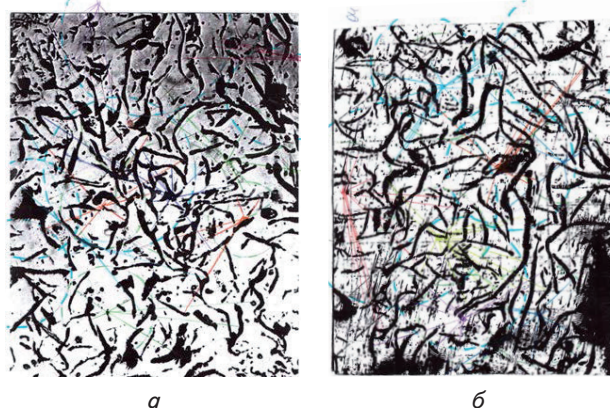


Рис. 3. Микроструктуры модифицированного чугуна: а — ферросилицием ФС75, × 100, через 5 мин. после модифицирования, б — ферросилицием с активными присадками, × 100, через 10 мин. после модифицирования

Это означает, что во втором случае длительность модифицирующего эффекта больше и, сле-

довательно, время на выполнение технологических операций на плавно-заливочном участке цеха может быть увеличено. Таким образом, выбор технологии модифицирования тоже оказывается в числе факторов, влияющих на выбор компоновочных решений по плавно-заливочным участкам литейного цеха. Следовательно, необходим комплексный подход к выбору модификатора и технологических режимов модифицирования, учитывая, в том числе, реальные компоновочные и технологические схемы плавно-заливочных участков. При этом предпочтение следует отдавать модификаторам, содержащим не только графитизирующие, но и легирующие элементы [14, 15], т. к. это обеспечивает не только повышение длительности модифицирующего эффекта, но и повышение механических свойств литых деталей. Номенклатура предлагаемых на рынке модификаторов широка [16–18] и выбор того или иного модификатора – задача не из простых. Главное, что следует учитывать обязательно, это тот факт, что на механические свойства влияют не только технологические факторы модифицирования, но и химический состав чугуна, причем их взаимное влияние может быть описано в аналитическом или графоаналитическом виде [19]. Таким образом, наряду с модифицированием перспективным представляется и изменение самого состава сплава. Так, например, с целью улучшения напряженно-деформированного состояния (НДС) и повышения механических свойств чугуна для литой детали блок-картера ДВС, предложена оптимизация химического состава алюминиевого чугуна [20].

В табл. 1 представлены результаты экспериментальных исследований химических составов и соответствующих механических свойств.

Графит имел пластинчатую форму и располагался в виде коротких разобщенных пластин, причем при одном и том же составе НАЧ с уменьшением толщины ступеньки литого образца графитные пластины становятся более мелкими. Это объясняется тем, что с уменьшением толщины ступеньки повышается скорость охлаждения расплава, которая сопровождается торможением диффузионного процесса. Замечено также появление междендритного графита, что объясняет повышенную чувствительность алюминиевых чугунов к скорости охлаждения. Металлическая основа НАЧ состоит из мелкодисперсного перлита, наличие феррита наблюдалось в определенных местах до 10 %, причем в структуре одного и того же чугуна с увеличением толщины ступеньки количество феррита увеличивается. Характерным является то, что при содержании в составе алюминия более 3 %

в структуре этих чугунов наблюдается повышенное количество феррита (до 20 %). Во всех плавках при введении алюминия как графитизирующего элемента в НАЧ отбел не наблюдался.

Таблица 1

Химический состав и механические свойства НАЧ
в литых деталях блок-картера

Химический состав НАЧ, среднее содержание элементов, %				Механические свойства		
С	Mn	Si	Al	σ_{II} , МПа	σ_B , МПа	НВ
3,4	0,95	0,55	0,97	532	283	241
3,16	0,95	0,43	1,56	526	336	255
3,15	0,83	0,42	2,06	603	348	255
3,2	0,85	0,47	1,77	520	304	241
3,2	0,86	1,21	1,7	512	312	255
3,28	0,78	0,38	2,06	572	326	229
3,23	0,77	0,85	1,9	523	310	229
3,2	0,77	1,45	2,05	495	353	217
3,16	0,76	2,05	1,91	454	270	207

Сравнение результатов металлографических исследований отливок из НАЧ и отливок из серого чугуна, применяемого для изготовления деталей блок-картера, показали, что металлическая основа чугунов из НАЧ состоит из более мелкодисперсного перлита, размеры включений графита – более мелкие, характеризуются большей разобшенностью и стремятся к компактной форме (рис. 4).

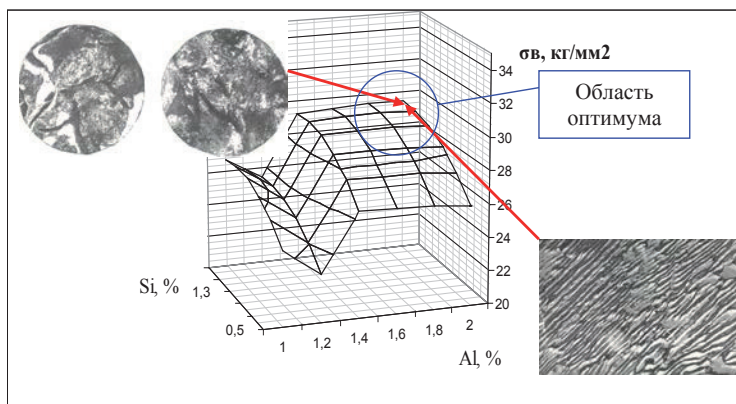


Рис. 4. Поверхность отклика, описывающая влияние содержания кремния и алюминия на предел прочности НАЧ в литых деталях блок-картера

Из рис. 4 видно, что максимум достигается в области повышенного содержания алюминия и, одновременно, кремния. Оптимальные концентрации этих элементов, обеспечивающих максимум предела прочности 295 МПа, составляют 1,8 % и 1,5 % соответственно.

Замена материала блок-картера с обычного конструкционного серого чугуна на алюминиевый чугун положительно влияет на удельную мощность двигателя, так как позволяет уменьшить массогабаритные характеристики двигателей. Более того, вариант с выбором такого чугуна для изготовления литых деталей ДВС позволяет унифицировать в некотором смысле и номенклатуру. Речь может идти, например, об использовании такого чугуна для изготовления не только корпусных деталей, но и для поршней. Применение новой системы типа Fe-C-Al (алюминиевые чугуны), подобно классической системе Fe-C-Si, может обеспечивать получение не только пластинчатой формы графита, но и вермикулярной или шаровидной. Вермикулярный графит в этих чугунах дает возможность получить прочность на разрыв не менее 500 МПа, следовательно, такой алюминиевый чугун (ЧВГ) уже можно отнести к группе высокопрочных чугунов. Отличительной особенностью таких чугунов является мелкозернистость макроструктуры. Алюминиевый ЧВГ по статической и длительной прочности не уступает чугуну с шаровидным графитом (ЧШГ). Кроме того, вследствие разветвленной формы графита, он имеет более высокую теплопроводность и способность гасить вибрационные нагрузки при эксплуатации на режимах динамического и термоциклического нагружений.

Сочетание высоких показателей механических свойств и повышенной теплопроводности делает алюминиевый ЧВГ перспективным материалом для деталей, работающих в условиях теплосмен и испытывающих большие термоциклические нагрузки. С технологической же точки зрения создается возможность изготовления отливок из алюминиевого ЧВГ без внутренних и внешних дефектов, а также отбела. Жидкотекучесть чугунов на основе Fe-C-Al не уступает жидкотекучести чугунов на основе Fe-C-Si при одинаковых условиях испытаний. Пожалуй, единственной трудностью в применении алюминиевых ЧВГ является некоторая пораженность структуры отливок оксидами алюминия. Однако соответствующими технологическими приемами эта проблема решается. Безусловно, ЧВГ системы Fe-C-Al является тем материалом, который можно использовать при решении проблемы изготовления поршней для высокофорсированных дизельных ДВС, хотя ряд вопросов, касающихся формирования механических, теплофизических, и специальных свойств (особенно термической

выносливости), требуют проведения дополнительных исследований.

6. Выводы

Показано, что обоснование проектно-технологических схемных решений, обеспечивающих возможность выполнения требований к качеству сплава на этапе «плавка — заливка в формы», должно учитывать ряд факторов технологического характера. К числу таких факторов могут относиться процессы плавки и термовременной обработки на плавно-заливочных участках цеха и процессы модифицирования. Последнее связано с наличием эффекта живучести модификатора. При этом предложено использование в компоновочных решениях двухпозиционного оборудования:

- ➔ двухванные дуговые печи,
- ➔ индукционного плавильного комплекса GWJ, имеющего два плавильных поста на один источник питания, работающие по системе «бабочка»,
- ➔ двухпозиционных заливочных автоматов, рассматриваемых как элементы системы массового обслуживания «печь — литейный конвейер».

Представленные варианты обладают тем преимуществом, что совмещают рациональным образом ряд технологических операций, обеспечивая компромиссные решения по критериям эффективности управления: быстрдействию, энергосбережению и производительности.

Предложено при выборе модификаторов и технологий модифицирования использовать комплексный подход, основанный на учете материала сплава для литой детали ДВС. Иными словами, наряду с модифицированием, перспективным представляется и изменение самого состава сплава. Показано, как применение системы типа Fe-C-Al (алюминиевые чугуны) при решении задачи оптимизации химического состава по критерию максимума прочностных характеристик, обеспечивает получение чугуна с пределом прочности около 300 МПа. Это означает, что обеспечивается переход на более высокую марку чугуна для изготовления корпусов ДВС и, тем самым, их массогабаритные характеристики могут быть уменьшены. Кроме того, применение системы Fe-C-Al может быть перспективным и для изготовления поршней, т. к. она обеспечивает получение не только чугуна пластинчатой формы, но и получение вермикулярной или шаровидной формы графита. Это, в свою очередь, обеспечивает возможность повышения прочности до 500 МПа, т. е. снижение массы поршней.

Литература

1. Краснокутский, Е. А. Компьютерное моделирование процессов кристаллизации литой детали в кокиле [Текст] / Е. А. Краснокутский // Технологический аудит и резервы производства. — 2012. — Т. 1, № 1(3). — С. 3–8. — Режим доступа: <http://journals.uran.ua/tarp/article/view/4867/4518>

2. Савченко, Ю. Э. Применение компьютерно-интегрированных систем и технологий в производстве поршней [Текст] / Ю. Э. Савченко // Технологический аудит и резервы производства. — 2012. — Т. 1, № 1(3). — С. 8–13. — Режим доступа: <http://journals.uran.ua/tarp/article/view/4868/4519>
3. Акимов, О. В. Научные основы и методы компьютерно-интегрированного ресурсного проектирования литых деталей блок-картера ДВС [Текст] / О. В. Акимов // Двигатели внутреннего сгорания. — 2008. — № 1. — С. 120–124.
4. Способ изготовления пустотелых пресс-форм методом лазерного порошкового спекания. Патент Украины МПК В22С 9/00, В22F 3/12, В22F 3/24, В22F 3/26 [Текст] / Чернышов С. И., Витязев Ю. Б., Таран Б. П., Акимов О. В. [и др.]. — № 77767; заявл. 04.10.200; опубл. 15.01.2007, Бюл. № 1.
5. Дёмина, Е. Б. Выбор оптимальной стратегии технического перевооружения предприятия с металлургическим производством [Текст] / Е. Б. Дёмина // Технологический аудит и резервы производства. — 2011. — Т. 2, № 2(2). — С. 40–52. — Режим доступа: <http://journals.uran.ua/tarp/article/view/4866/4517>
6. Дьоміна, О. Б. Використання методів операційного менеджменту в ливарному виробництві [Текст] / О. Б. Дьоміна // Технологический аудит и резервы производства. — 2012. — Т. 2, № 2(4). — С. 35–44. — Режим доступа: <http://journals.uran.ua/tarp/article/view/4886/4536>
7. Труфанов, И. Д. Математическое моделирование и опытно-экспериментальное исследование энергоэффективности электротехнологического комплекса мощной дуговой сталеплавильной печи [Текст] / И. Д. Труфанов, К. И. Чумаков, А. И. Лютый // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. — 2007. — Т. 4, № 1(28). — С. 64–69.
8. Demin, D. A. Synthesis of optimal temperature regulator of electroarc holding furnace bath [Text] / D. A. Demin // Scientific Bulletin of National Mining University. — 2012. — Vol. 6. — P. 52–58.
9. Hidehari, S. Long-term high-efficiency operation of Sakai No 2 blast furnace (third campaign) [Text] / S. Hidehari, S. Shin // Nippon Techn. Rept. — 1998. — Vol. 43. — P. 41–45.
10. Дёмин, Д. А. Компьютерно-интегрированная система управления процессом электродуговой плавки [Текст] / Д. А. Дёмин // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. — 2014. — Т. 2, № 9(68). — С. 18–23. doi: 10.15587/1729-4061.2014.23512
11. Повышение производительности в электросталеплавильном производстве [Текст] // Металлургическое производство и технологии металлургических процессов. — 1995. — № 3. — С. 30–37.
12. Азаитские промышленные технологии [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <http://aitcom.ru>
13. Ткаченко, С. М. Синтез оптимального керування процесом видачі розплаву на ливарний конвеєр [Текст] / С. М. Ткаченко // ScienceRise. — 2015. — Т. 6, № 2(11). — С. 7–14. doi: 10.15587/2313-8416.2015.44349
14. Demin, D. A. Change in cast iron's chemical composition in inoculation with a Si-V-Mn master alloy [Text] / D. A. Demin // Litejnoe Proizvodstvo. — 1998. — Vol. 6. — P. 35.
15. Demin, D. A., Pelikh, V. F., Ponomarenko, O. I. Complex alloying of grey cast iron [Text] / D. A. Demin, V. F. Pelikh, O. I. Ponomarenko // Litejnoe Proizvodstvo. — 1998. — Vol. 10. — P. 18–19.
16. Модификатор Superseed@Extra Inoculant [Текст] // Литьё Украины. — 2003. — № 12(40). — Режим доступа: <http://lityo.com.ua/%D1%81%D1%82%D0%B0%D1%82%D1%8C%D0%B8/633-modifikator-superseed-extra-inoculant>
17. Модификатор Reseed@Inoculant [Текст] // Литьё Украины. — 2004. — № 7(47). — Режим доступа: <http://lityo.com.ua/%D1%81%D1%82%D0%B0%D1%82%D1%8C%D0%B8/640-modifikator-reseed-inoculant>
18. Модификатор SMZ@Inoculant [Текст] // Литьё Украины. — 2004. — № 5(45). — Режим доступа: <http://lityo.com.ua/%D1%81%D1%82%D0%B0%D1%82%D1%8C%D0%B8/638-modifikator-smz-inoculant>
19. Demin, D. A. Optimization of the method of djustment of chemical composition of flake graphite iron [Text] / D. A. Demin, V. F. Pelikh, O. I. Ponomarenko // Litejnoe Proizvodstvo. — 1995. — Vol. 7–8. — P. 42–43.
20. Акимов, О. В. Экспериментальные исследования и компьютерное моделирование материалов для блок-картера ДВС [Текст] / О. В. Акимов, А. П. Марченко // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. — 2008. — Т. 5, № 1(35). — С. 52–57.

Abstract. The design-technological schematics, providing the possibility to meet the alloy quality requirements at the «melting — casting» stage, taking into account a number of technological factors, in particular, melting and thermo-temporal treatment processes and modification processes were proposed. The latter is associated with the presence of the modifier survivability effect. Using the on-off equipment: double-bath electric arc furnaces; induction melting complexes, operating on the «butterfly» system; on-off casting machines, considered as elements of the queuing system «furnace — foundry conveyor» in layouts was proposed. The presented options have the advantage of rational combining of a number of technological operations, providing compromise solutions by the management efficiency criteria: speed, energy efficiency and performance.

The application of aluminum compacted graphite iron for body parts and pistons of ICE was substantiated, and it was shown how the selection of the optimal chemical composition by Al and Si can provide a transition to a higher brand of cast iron. In particular, the optimum concentrations of these elements, ensuring maximum tensile strength — about 300MPa: Al = 1,8% and Si = 1,5% were given. The prospects of using aluminum iron to increase the tensile strength up to 500 MPa due to the modifying effect, providing vermicular or nodular graphite in the microstructure were shown.

Keywords: cast part, internal combustion engine, aluminum iron, vermicular graphite.