

В.Б. Бубликов, д.т.н., ст. науч. сотр. (Физико-технологический институт металлов и сплавов НАН Украины) г. Киев, Украина

Высокопрочный чугун с шаровидным графитом – уникальный конструкционный материал современного машиностроения

Показана эффективность применения высокопрочного чугуна с шаровидным графитом в разных отраслях промышленности. Сообщается о новых прогрессивных технологиях производства отливок из высокопрочного чугуна. Приведены технологические, экологические, ресурсосберегающие, технико-экономические показатели разработанных технологий.

Ключевые слова: литье, чугун, свойства, графит, модифицирование, структура.

Показана ефективність застосування високоміцного чавуну з кулястим графітом в різних галузях промисловості. Повідомляється про нові прогресивні технології виробництва виливків з високоміцного чавуну. Наведено технологічні, екологічні, ресурсозберігаючі, техніко-економічні показники розроблених технологій.

Ключові слова: литво, чавун, властивості, графіт, модифікування, структура.

The efficiency of ductile cast iron with nodular graphite application in different industries is shown. Report about new progressive technologies of ductile cast iron castings production. The technological, environmental, resource-saving, technical and economic indicators of the developed technologies are given.

Keywords: casting, cast-iron, properties, graphite, retrofitting, structure.

Методы литья позволяют получать сложные пространственные конструкции деталей машин с внутренними полостями и каналами при минимальном объеме механической обработки. Литые детали в продукции машиностроения составляют по массе около 60% и в значительной мере определяют эксплуатационные характеристики машин и экономичность их производства. Сегодня наиболее распространенным литым конструкционным материалом является чугун. В структуре мирового выпуска отливок чугуны составляют 75%, стальные – 9%. Такое положение обусловлено преимуществами чугуна. Это эвтектический сплав с высокой жидкотекучестью, температура заливки которого в литейные формы на 200-250°C меньше, чем стали, что уменьшает расход энергии и позволяет применять более дешевые формовочные материалы с меньшей огнеупорностью. Чугун характеризуется малой усадкой в результате компенсирующего действия образующейся при кристаллизации графитной фазы с большим в 3 раза, по сравнению с аустенитом, удельным объемом. Включения графита в структуре металлической основы способствуют разрушению стружки, поэтому

чугун хорошо обрабатывается резанием. При работе в узлах трения включения графита в определенной мере сами являются твердой смазкой. Кроме того, они впитывают и таким образом удерживают жидкую смазку, обеспечивая хорошие антифрикционные свойства. Благодаря графитной фазе чугун гасит вибрации в 3-4 раза больше, чем сталь, что способствует снижению шума от работы машин.

В материаловедческом аспекте чугун является сплавом с многовариантностью морфологии и формы включений графита, фазовых превращений и типов металлической основы. Модифицирование, варьирование химического состава, легирование, регламентирование условий затвердевания и охлаждения в твердом состоянии и термическая обработка позволяют в широких пределах изменять структуру, физико-механические и эксплуатационные свойства, повышать их уровень. В настоящее время насчитывается более 10 видов и более 100 стандартизованных марок чугуна. Половина из этих марок специальные чугуны – износостойкие, жаростойкие, коррозионно-стойкие, немагнитные и др.

В странах с развитым машиностроением происходят радикальные изменения в структуре

выпускаемого чугунного литья. Производство отливок из серого чугуна (СЧ) быстро снижается и непрерывно растет производство отливок из высокопрочного чугуна с шаровидным графитом (ВЧ). В США и других передовых промышленных странах отливки из высокопрочного чугуна в общем выпуске чугунного литья составляют 50-70%. Сферы применения высокопрочного чугуна постоянно расширяются. Он открывает большие по сравнению со сталью возможности для создания прогрессивных конструкций, уменьшения массы, снижения цены, повышения ресурса работы [1,2].

По показателям пластичности высокопрочный чугун несколько уступает сталям. Однако высокие значения предела прочности, предела усталости и циклической вязкости обеспечивают повышенную надежность деталей машин, в том числе размерную стабильность при работе в условиях вибрационных нагрузок. Работами американских ученых показано, что величина предела усталости высокопрочного чугуна не зависит от индивидуальных сфероидов графита (при их диаметре от 10 до 100 мкм) и пропорциональна модулю Юнга. Количество графитных сфероидов не влияет на величину усталост-

ной прочности. Это подтверждается многолетним опытом широкого применения высокопрочного чугуна в условиях, где усталостные свойства материала имеют решающее значение. Из высокопрочного чугуна изготавливают детали ходовой части тяжелых грузовиков, железнодорожных грузовых вагонов, анкеры, соединяющие рельсы со шпалами на скоростных железнодорожных магистралях.

В зависимости от структуры металлической основы высокопрочные чугуны классифицируются на ферритные, феррито-перлитные, перлитные и бейнитные (рис. 1). Механические свойства указанных видов высокопрочных чугунов представлены на рис. 2. Для получения бейнитной металлической основы применяется специальный вид термической обработки – изотермическая закалка из аустенитного состояния в солевой расплав с температурой 250-400 °С. Благодаря высокому пределу прочности, максимальная величина которого при бейнитной металлической основе может достигать 1600 МПа, высокопрочный чугун конкурирует не только с углеродистыми, но и с легированными высокопрочными сталями (рис. 3) [1]. Для сравнения на рис. 3 приведена также прочность серого чугуна (СЧ), как известно, хрупкого материала.

По показателям относительно веса и относительной стоимости единицы предела текучести высокопрочный чугун выгодно отличается от стали и алюминия (рис. 4). В настоящее время технологические возможности позволяют изготавливать из высокопрочного чугуна литые изделия с толщиной стенок 1,5...3,0 мм, способные заменить детали из дорогих алюминиевых сплавов, при этом обеспечивая более высокую конструкционную прочность на единицу массы изделия.

Наибольшее распространение высокопрочный чугун получил в автомобилях в качестве материала ступиц колес, поворотных кулаков, корпусов дифференциала, кронштейнов тормозов, подвесок рессор и др. Для двигателей внутреннего сгорания из высокопрочного чугуна изготавливают коленчатые и распределительные валы, шатуны и др.

Корпуса и др. детали из высокопрочного чугуна широко применяются в компрессоростроении, в гидромоторах и гидронасосах, в многочисленных машинах и механизмах, оснащенных гидро-

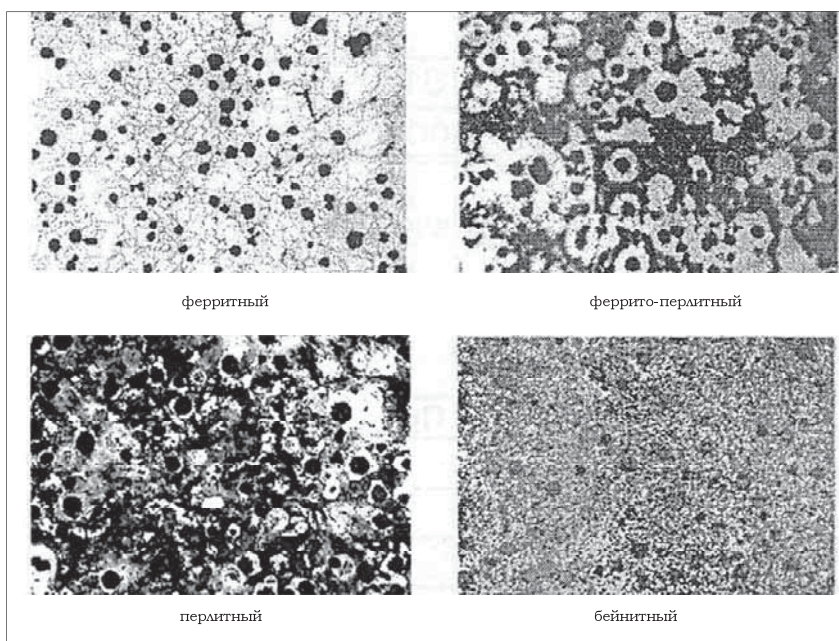


Рис. 1. Микроструктура (x200) основных видов высокопрочных чугунов

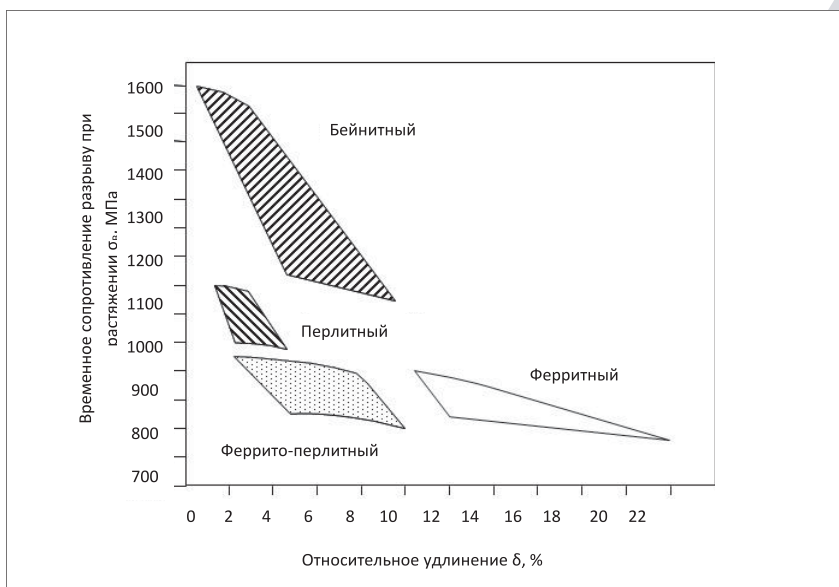


Рис. 2. Механические свойства высокопрочных чугунов

приводом. В электротехнической промышленности из высокопрочного чугуна изготавливают корпуса и ряд деталей взрывозащищенных ударостойких электродвигателей, магнитопроводящие активные части электромашин (ротор, статор) взамен шихтованных из электротехнической стали.

Одним из примеров эффективного применения высокопрочного чугуна являются коленчатые валы компрессоров, которые тради-

онно изготавливают из горячештампованных стальных заготовок в сборе с чугунными противовесами. При переходе на монолитную конструкцию коленчатых валов (рис. 5) отпадает надобность в изготовлении противовесов, крепежа и сборки валов с противовесами, ликвидируется необходимость в дорогостоящих штампах для горячей штамповки. В результате меньшей плотности высокопрочного чугуна и выполнения

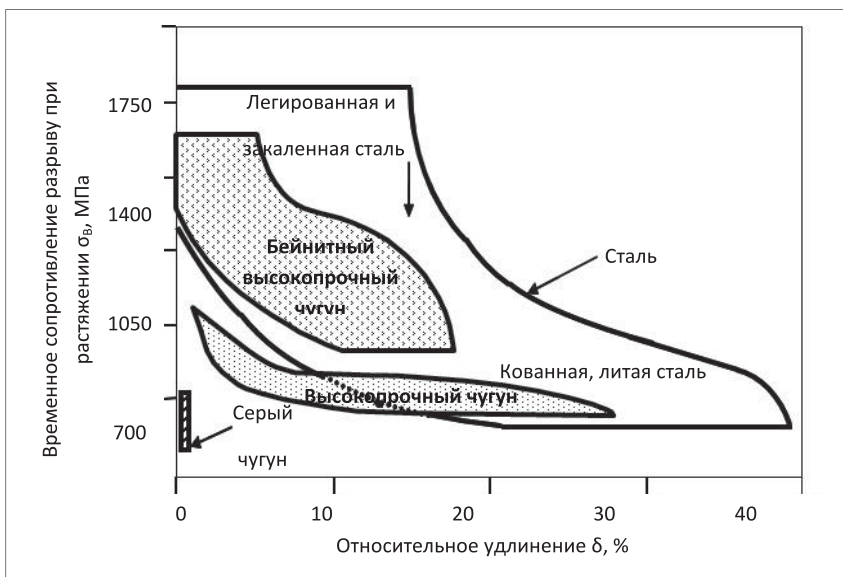


Рис. 3. Соотношение механических свойств высокопрочного чугуна, бейнитного высокопрочного чугуна и стали

в коленчатых валах внутренних полостей масса готовых коленчатых валов уменьшается на 22-24 %, повышаются коэффициент использования металла, производительность, на 55-60 % снижается себестоимость, повышается ресурс работы (табл. 1; 2).

В результате замены в конструкции свободного поршневого дизель-компрессора лито-сварных корпусных деталей из легированной стали 08ГДНФЛ на монолитные из высокопрочного чугуна ВЧ 45 (рис. 6) стоимость деталей уменьшилась на 72%. Высокопрочный чугун широко применяется для изготовления корпусов, цилиндров, втулок, поршней, поршневых колец, шатунов, коленчатых валов, роторов и др. деталей, обеспечивая снижение себестоимости производства и повышение технико-экономических показателей компрессорных машин.

Современные технологии надежно обеспечивают стабильность структуры и высокий уровень механических и эксплуатационных свойств изделий из высокопрочного чугуна. Впечатляюще высокие объемы производства и непрерывно расширяющееся многообразие применения высокопрочного чугуна базируется на научных и технологических достижениях в области модификаторов и процессов модифицирующей обработки железоуглеродистых расплавов. В результате модифицирования целенаправленно изменяются химический состав, строение, физи-

ко-химические свойства расплава и создаются условия, при которых в процессе кристаллизации формируются сферокристаллы графита, предотвращается образование эвтектического цементита, формируется заданная металлическая основа, обеспечивающая оптимальные механические свойства изделий из высокопрочного чугуна.

Отделом высокопрочных и специальных чугунов Физико-технологического института металлов и сплавов (ФТИМС) Национальной академии наук Украины разработаны высокоэффективные экономные технологии получения высокопрочного чугуна.

Преимущества разработанных технологий:

- модифицирование расплава магниевой лигатурой осуществляется в литейных формах без пироэффекта и дымовыделения;

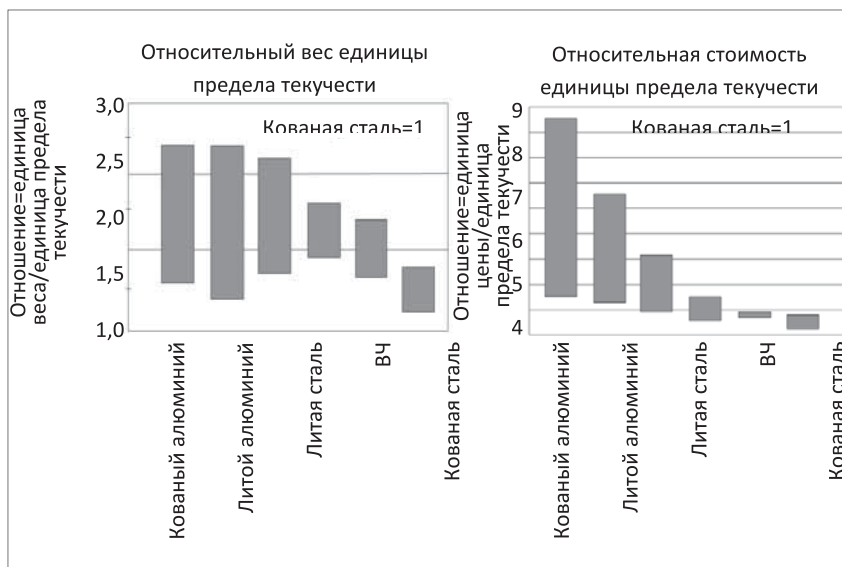


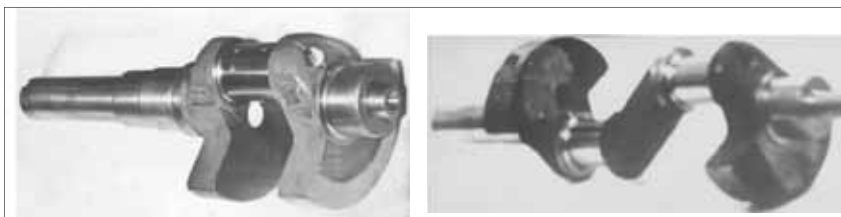
Рис. 4. Относительный вес и стоимость единицы предела текучести различных материалов

Таблица 1. Показатели коленчатых валов: штампованных из стали 45 и литых из высокопрочного чугуна ВЧ 60

Показатели	Компрессор ВП 10/8			Компрессор К-5М		
	Штампованный вал	Литой вал	Изменение, %	Штампованный вал	Литой вал	Изменение, %
Масса коленчатого вала, кг	107	81	-24	46	36	-22
Масса заготовок для механической обработки, кг	169	96	-43	65	45	-31
Расход металла в стружку, кг	62	15	-76	19	9	-53

Таблица 2. Эффективность применения монолитных коленчатых валов из высокопрочного чугуна взамен сборных (из штампованного стального вала и чугунных противовесов)

Изделие	Показатели эффективности				
	Уменьшение массы готового изделия	Повышение коэффициента использования металла	Повышение производительности	Снижение стоимости	Повышение срока службы
Коленчатый вал компрессора ВП 10/8	24%	51%	48%	55%	60%
Коленчатый вал компрессора К-5М	22%	43%	39%	60%	50%



Коленчатый вал компрессора ВП 10/8 (масса 81 кг)

Коленчатый вал компрессора К-5 М (масса 36 кг)

Рис. 5. Монолитные конструкции коленчатых валов

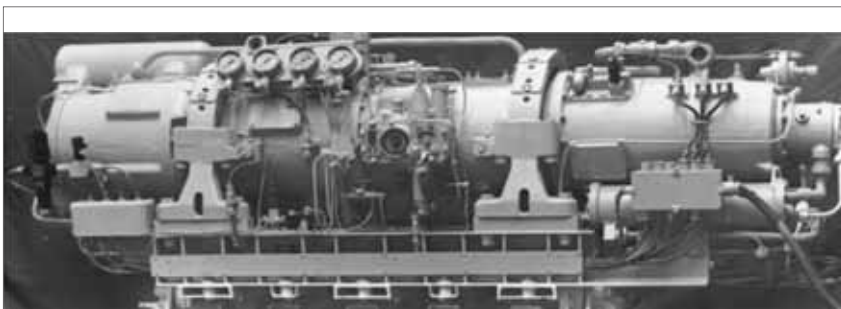


Рис. 6. Свободнопоршневой дизель-компрессор 18ДКСМ с корпусными деталями из высокопрочного чугуна

– расход магниевой лигатуры снижается в 2...3 раза по сравнению с модифицированием в ковше;

– внутрiformенное модифицирование интенсифицирует графитизацию, предотвращает образование отбела в тонкостенных отливках с минимальной толщиной стенки 3...4 мм, позволяет получать отливки с толщиной стенок до 10...15 мм без применения питающих бобышек;

– нет характерной для ковшовых технологий проблемы потери эффекта модифицирования;

– предусмотрена эффективная фильтрация расплава от продуктов реакции модифицирования и шлака;

– производимые отливки характеризуются высокой стабильностью структуры и механических свойств, выдерживают испытание на герметичность давлением 45...55 МПа, хорошо (на уровне серого чугуна СЧ20) обрабатываются резанием на станках-автоматах;

– обеспечивают получение марок высокопрочного чугуна ферритного класса без применения термической обработки;

– экономия от внедрения разработанных технологий достигается за счет снижения расхода лигатуры, повышения выхода годного, улучшения качества и снижения брака отливок, ликвидации операции энергоемкого графитизирующего отжига, повышения служебных свойств изделий.

Выводы

Высокая эффективность разработанных технологий подтверждена в условиях массового, серийного и мелкосерийного производства отливок из высокопрочного чугуна для автомобилей, двигателей внутреннего сгорания компрессоров, тракторов, гидромашин, печатных машин, ткацких станков, военной техники, железнодорожного транспорта и др.

Список литературы:

1. Бубликов В.Б. Высокопрочному чугуну – 60 // Литейное производство, 2008. - №11.

2. Александров Н.Н. Возможности высокопрочного чугуна с шаровидным графитом неисчерпаемы. Часть 1 / Н.Н.Александров, Н.И.Бех, М.В.Радченко // Литейное производство, 2013. - №11. - С. 7-11. Часть 2 // Литейное производство, 2013. - №12. - С. 2-7.

3. Сайт Общества высокопрочного чугуна (США) <http://www.ductile.org>.