



The essence of new method of casting is stated, nomenclature and characteristics of the articles, produced by this method, are given. The organization of industrial production is described. The advantages and efficiency of new technology of slugs production are shown.

Е. И. МАРУКОВИЧ, В. Ф. БЕВЗА, ГНУ «Институт технологии металлов НАН Беларуси»,
А. М. БОДЯКО, УЧНПП «Технолит»

УДК 621.74.047

СОЗДАНИЕ И ПРОМЫШЛЕННАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ ПРИНЦИПИАЛЬНО НОВОГО МЕТОДА НЕПРЕРЫВНО-ЦИКЛИЧЕСКОГО ЛИТЬЯ НАМОРАЖИВАНИЕМ ВЫСОКОИЗНОСОСТОЙКИХ ДЕТАЛЕЙ ТЕХНИКИ

*Выдвинута на соискание государственной премии Республики Беларусь 2010 г.
в области науки и техники*

Проблема изнашивания технических средств является глобальной в машиностроении. По статистике большинство машин (85–90%) выходят из строя в результате износа поверхностей отдельных деталей. На устранение последствий (включая аварии) процесса изнашивания тратятся колоссальные средства – до 30% валового внутреннего продукта. Поэтому борьба с износом машин – главное направление в развитии всего машиностроения.

Наиболее широкое применение в машиностроении получили детали в форме тел вращения. Ни одну машину, ни один механизм невозможно представить без широкой гаммы втулок и гильз, колец и дисков. Их назначение – самое различное. Но, главным образом, подобные детали применяют в качестве противостоящих износу сменных элементов.

В условиях глобализации и вызванных ею нынешних кризисных явлений в мировой экономике, при всеобщем падении спроса перед промышленными предприятиями, учеными и инженерами во всем мире как никогда остро стоит задача повышения конкурентоспособности выпускаемой продукции, снижения ее себестоимости, не теряя, а наоборот, повышая качество. Не случайно 2010 год объявлен в Беларуси «Годом качества».

Принципиальное, прорывное решение выше означенных проблем может высвободить значительные средства и ресурсы и вызвать серьезные изменения в экономике любой страны, особенно там, где нет собственной сырьевой базы черных

и цветных металлов. В число таких стран входит и Республика Беларусь.

Обычно повышение ресурса работы изнашиваемых деталей достигается путем разработки и внедрения новых антифрикционных материалов и покрытий. Но подход может быть и другим, не столь затратным, и более эффективным. Это – радикальное повышение физико-механических свойств и придание новых качественных характеристик известным недорогим материалам путем создания принципиально новых методов получения деталей. В этом и заключается основная научная идея представленной работы. При этом применительно к литейному производству, как одному из самых трудо-, и материалоемких, энергозатратных и образующих большое количество вредных выбросов в окружающую среду, такие методы должны быть энерго- и ресурсосберегающими, экологически безопасными и, конечно же, высокопроизводительными.

Широко известным в технике недорогим материалом с высокими антифрикционными свойствами является чугун, но в силу низких прочностных характеристик в условиях высоких динамических и контактных нагрузок он весьма ограничен в применении. Полые цилиндрические заготовки из чугуна для гильз цилиндров, поршневых и уплотнительных колец, различные втулки для пар трения традиционно отливают в песчано-глинистые или стержневые формы, облицованный кокиль или центробежным способом. Однако качество деталей и ресурс их работы не удовлетворяют возрас-

тающим современным требованиям. Всем этим методам литья присущи несколько существенных недостатков. Первый и главный – в форме затвердевает весь объем залитого расплава. При этом образуется как минимум два встречных фронта затвердевания, движущихся к тепловому центру отливки. В месте стыка фронтов нарушается направленность структурных составляющих и образуется усадочная пористость в силу недостатка расплава. Это – главная проблема всего литейного производства. Наличие усадочной пористости в детали существенно ослабляет ее прочность и часто принципиально недопустимо. Второй, присущий, опять-таки, всему литейному производству недостаток – образование термических усадочных напряжений, приводящих к горячим трещинам в отливке. Наличие формовочных смесей существенно препятствует многовековой мечте инженеров – утилизации тепла, аккумулированного отливками при кристаллизации. Пригар формовочных смесей усложняет также процесс механической обработки отливок и переработку образующихся при этом отходов. Эти особенности и недостатки обременительно сказываются на производительности существующих способов литья.

Сущность нового метода

Лишенным всех перечисленных недостатков является разработанный авторами принципиально новый, не имеющий аналогов в мире, метод литья полых цилиндрических заготовок, основанный на однонаправленном теплоотводе при свободном питании фронта кристаллизации перегретым расплавом, позволяющий в непрерывном процессе литья циклически извлекать из металлической водоохлаждаемой формы затвердевшую часть расплава, представляющую собой отливку мерной

длины с температурой выше точки начала фазовых превращений и обеспечивающий возможность использования этой температуры для управления структурообразованием и формированием заданных свойств в отливках.

Процесс осуществляется следующим образом (рис. 1). Жидкий металл через сифонную литниковую систему 1 и соединительный стакан 2 подают в стальной водоохлаждаемый кристаллизатор, состоящий из стационарной 3 и подвижной 4 частей, до его заполнения на высоту, равную высоте получаемой отливки 5. Затем подачу металла прекращают и делают выдержку для намораживания стенки заготовки необходимой толщины. Затвердевшую корку 5, составляющую тело отливки, извлекают захватами 4 вверх из расплава и стационарного кристаллизатора 3 на величину, превышающую его высоту. Одновременно с началом извлечения заготовки расплав, находящийся в ее осевой части, автоматически попадает на освобождающиеся участки рабочей втулки кристаллизатора 3 и начинается намораживание следующей отливки.

В это время в кристаллизатор через сифонную литниковую систему, обеспечивающую плавное заполнение, подают новую порцию расплава, объемом, равным объему извлеченной отливки, возвращают подвижную часть кристаллизатора в исходное положение и вновь заполняют его до заданного уровня. Цикл повторяется.

Таким образом, затвердевание металла в кристаллизаторе происходит непрерывно в течение всего времени разливки, а извлечение заготовок осуществляют циклически с заданным периодом. В связи с этим метод получил название «непрерывно-циклическое литье намораживанием» (НЦЛН).

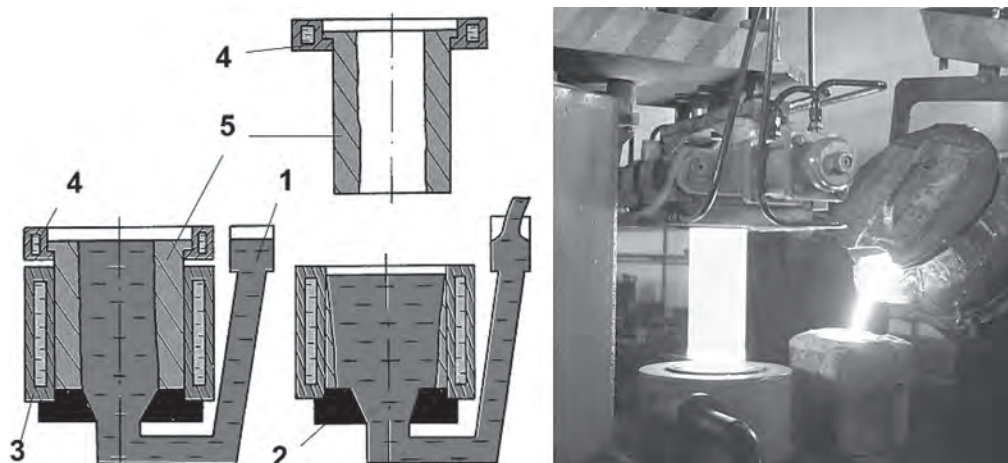


Рис. 1. Принципиальная схема и процесс непрерывно-циклического литья полых заготовок без стержня: 1 – металлопровод; 2 – соединительный стакан; 3 – стационарная часть кристаллизатора; 4 – подвижная часть кристаллизатора (захваты); 5 – отливка

Толщина стенки отливки определяется временем выдержки, температурой, химическим составом заливаемого расплава и интенсивностью отвода тепла. Применительно к гильзе форсированного двигателя трактора «Беларус» время формирования отливки составляет всего лишь 25 с! Это обуславливает рекордно высокую производительность процесса литья.

В момент извлечения из кристаллизатора и расплава отливка имеет высокую, близкую к солидусу, температуру. Для чугуна это составляет 1020–1100 °С! Никакой другой метод не позволяет извлечь отливку из формы с такой температурой, не повредив ее целостность!

Интенсивный односторонний теплоотвод, высокая скорость кристаллизации, один фронт и его свободное питание исключают образование в отливках усадочной и газовой пористости, раковин, попадание неметаллических включений в тело отливки, обеспечивают получение высокодисперсной структуры с предельно достижимыми плотностью и твердостью, определяют оптимальное расположение и морфологию фаз для противостояния износу.

Таким образом, впервые в мировой литейной практике в одном методе литья собраны воедино все важнейшие научные подходы и технологические приемы, каждый из которых в любом известном методе литья оказывает решающее влияние на качество отливок. Комплекс же мер оказывает радикальное воздействие. Применительно к деталям типа тел вращения (рис. 2) это радикально повышает все их свойства и эксплуатационные характеристики, в первую очередь, прочность и износостойкость, что существенно повышает надежность и ресурс работы машин и механизмов.

Одной из самых распространенных и востребованных в технике полых деталей ответственного назначения является гильза цилиндров. По комплексу требуемых свойств и сложности их дости-

жения заготовку гильз в мировой литейной практике по праву называют «королевой» отливок. Все лучшее в литейной науке воплощено в их производство, достигнуты максимально возможные свойства. Тем не менее, по данным Минского моторного завода, гильзы цилиндров для форсированных дизелей, полученные НЦЛН, в 1,16 раза по прочности и 1,47 раза по износостойкости превосходят показатели серийных гильз одного из лучших европейских производителей – чешской фирмы «Ичин». При этом химический состав НЦЛН чугуна на несколько ступеней ниже в сравнении с серийным: СЧ24 против СЧ32!

Еще более распространены поршневые кольца (ПК). Сравнительные испытания проведены ЦНИДИ (г. Санкт-Петербург). ПК диаметром 150 мм из серого чугуна для танкового дизеля, полученные в стержневые формы и методом намораживания, показали, что кольца, полученные намораживанием, имеют более высокий уровень свойств по всем основным параметрам: на 16% – по упругости, 31% – по остаточной деформации, 21% – по пределу выносливости.

По данным ВНИИЖТ (г. Москва), сравнительные испытания ПК, изготовленных из отливок, полученных различными способами литья, показали, что наибольшей стойкостью к износу и задирам, а также высокими упругими свойствами обладают ПК, изготовленные НЦЛН. При эксплуатационных испытаниях, проведенных ВНИИЖТ на тепловозных дизелях Д100, установлено, что износостойкость ПК, изготовленных из отливок НЦЛН, на 15–20% выше колец серийного производства.

Для изделий массового производства это очень высокие результаты.

По данным ГСКБ Минского тракторного завода, применение уплотнительных колец из чугуна, полученного НЦЛН, вместо импортируемых ранее, для комплектации гидромеханических передач (ГМП) энергонасыщенных пропашных тракторов «Беларус» позволило снизить утечку масла через фрикцион с 2,0–2,5 до 0,4–0,7 л/мин и полностью исключить рекламации по ГМП. На указанные кольца получены технические условия, зарегистрированные в Госстандарте Республики Беларусь (ТУ РБ 100316761.456–2000).

Убедительным примером придания новым методом высокоизносостойких и прочностных свойств чугунам в условиях высоких ударно-динамических нагрузок, больших контактных давлений и ограниченной смазки является успешная замена втулок из знаменитой износостойкой, упрочняющейся при ударных нагрузках стали Гад-



Рис. 2. Примеры заготовок и деталей НЦЛН

фильда (110Г13Л) на ВЧШГ в механизме люлечного подвешивания и рессорах электровоза Вл80с.

Но самым ярким примером радикального повышения свойств являются результаты, полученные при производстве белых чугунов, традиционно считающихся хрупким, с низкой ударной вязкостью материалом. Так, втулки пуансонов из БВХЧ, применяемые при производстве пустотного силикатного кирпича в условиях ударно-абразивного изнашивания и усилия прессования 160 т, имеют ресурс работы в 6–8 раз выше, чем используемые до этого аналогичные чугуны, полученные литьем в кокиль, и в 15–18 раз выше по сравнению с их стальными аналогами. Фильеры из чугуна подобного класса для правильно-отрезных станков при правке арматурной проволоки на заводах сборного железобетона показывают износостойкость в условиях сухого трения, высоких скоростях скольжения и ударных нагрузках, более чем в 30 раз выше в сравнении с легированными конструкционными сталями.

В результате такие новые возможности чугуна ставят его в разряд недорогих и высокоэффективных конструкционных материалов.

Организация производства и реализации продукции

Освоение нового метода началось авторами в 80-е годы. Поскольку метод литья аналогов не имеет, для его реализации разработан оригинальный комплекс литейного оборудования и технологической оснастки.

В 90-е годы жизнедеятельность уникальной прорывной технологии поддерживали на производственных площадях Института технологии металлов НАН Беларуси.

В 2005 г. на УЧНПП «Технолит», основу творческого коллектива которого составляют специалисты, выросшие в ИТМ НАН Беларуси, было принято решение о строительстве литейного цеха. Учитывая современное состояние рынка, неизбежный рост цен на энерго-, теплоресурсы и сырье, проектирование и строительство вели, основываясь на следующих основных подходах: высокой производительности, гибкости производства, применении экологически чистых технологий литья, возможности утилизации тепловой энергии, выделяющейся при кристаллизации отливок, и работе плавильного и литейного оборудования, организации безотходного замкнутого цикла производства.

Такой постановке задачи отвечает только технология непрерывно-циклического литья направленным затвердеванием. Под ее особенности построен специализированный литейный цех, соот-

ветствующий мировым стандартам и не имеющий аналогов как в Беларуси, так и за рубежом (рис. 3).

Цех со всеми его атрибутами мощностью 3 т литья в смену имеет площадь всего лишь 1000 м². Изготовленные литейные машины и устройства для отжига отливок с использованием их тепла позволили на такой площади освоить методом намораживания производство широкой номенклатуры отливок диаметром от 30 до 370 мм, длиной от 100 до 400 мм из специальных серых, высокопрочных и белых высокохромистых чугунов. Такой производительности на 1 м² не имеет ни одно литейное производство. К тому же, на этих площадях находится еще и участок черновой механической обработки с целью оперативной переработки стружки и технологической обрезки отливок в качестве собственных возвратных отходов при литье. Новое производство принято государственной комиссией и введено в эксплуатацию в декабре 2006 г. (рис. 4). Система менеджмента качества проектирования и производства отливок, колец поршневых и уплотнительных, гильз цилиндров и деталей для машин и механизмов сертифицирована по СТБ ИСО 9001-2001.

Оборотное водоснабжение плавильных печей и литейных машин осуществлено без устройства градирни, с использованием отводимой тепловой энергии для отопления производственных и бытовых помещений, что в совокупности с использованием тепла кристаллизации для термообработки отливок (рис. 5) позволило выйти на удельный вес энергозатрат (электричество, тепло и вода) в себестоимости продукции в размере всего лишь 6%! Это – уникальный, не имеющий равных, результат для чугунолитейного производства с механической обработкой.

Кроме того, организован переплав всех отходов, образующихся на всех стадиях производства, что позволило более чем вдвое снизить потребность в первичных шихтовых материалах и в 3–5 раз сократить расход дефицитных легирующих элементов – меди, никеля, хрома.



Рис. 3. Цех непрерывно-циклического литья намораживанием

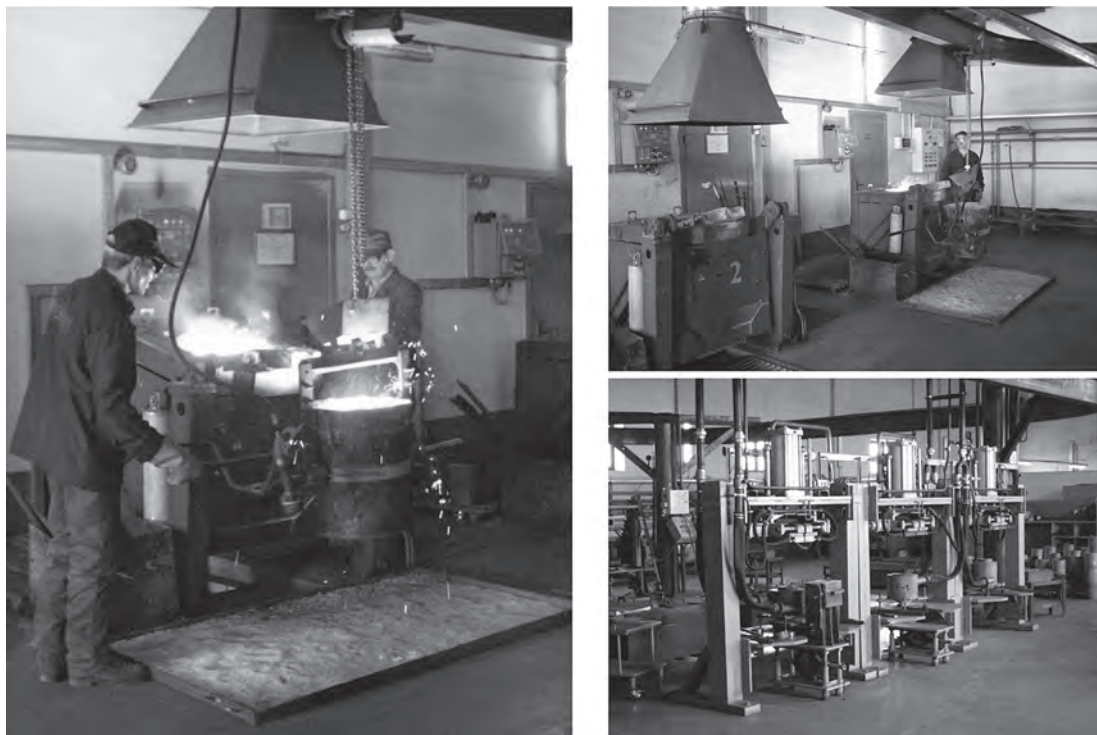


Рис. 4. Плавильные индукционные печи и машины литья намерзанием

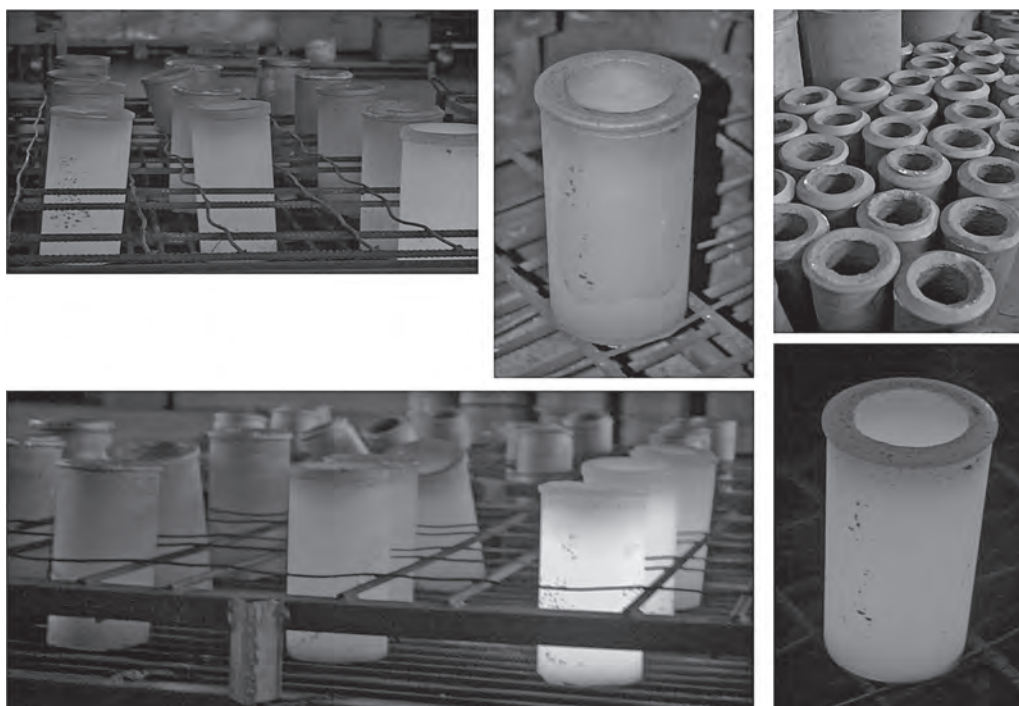


Рис. 5. Отливки, полученные литьем намерзанием

Таким образом, впервые осуществлена идея полностью безотходного энерго- и ресурсосберегающего, экологически безопасного производства.

В результате впервые в мировой литейной практике освоена прорывная технология непрерывно-циклического литья полых заготовок направленным затвердеванием и на ее основе создано промышленное производство широкой гаммы (более 700 наименований) поршневых колец, гильз

цилиндров, других высокоизносостойких изделий типа полых тел вращения ответственного назначения из серого, высокопрочного и белого высокохромистого чугунов для автотракторостроения, станкостроения, промышленности строительных материалов, подвижного железнодорожного состава, агропромышленного комплекса, металлургии и др. Значительная часть продукции из чугуна применяется взамен легированных сталей и анти-

фрикционных бронз. Вся производимая продукция – импортозамещающая для Беларуси. Более 1 млн. колец и различных втулок поставляется на экспорт.

Примеры серийных поставок на сборочные конвейеры:

- Минский тракторный завод – кольца уплотнительные с лабиринтными замками и втулки (11 наименований) из СЧ и ВЧ диаметром 32–175 мм для гидромеханических передач (ГМП) энергонасыщенных тракторов «Беларус» – 30% взамен сталей.

- Белорусский автомобильный завод – втулки, кольца, полукольца, поршни из СЧ и ВЧШГ диаметром 40–350 мм для телескопических гидроцилиндров, гидроаккумуляторов, ГМП – 40% взамен сталей, бронз, фторопласта. Всего 52 наименования, в том числе 31 – для гидроцилиндров самосвалов МАЗ.

- Петербургский тракторный завод – кольца уплотнительные с лабиринтными замками, втулки, диски из СЧ и ВЧШГ диаметром 34–365 мм для ГМП и шасси тракторов «Кировец» – 90% взамен сталей и бронз. Всего 96 наименований.

- Борисовский завод агрегатов – кольца уплотнительные диаметром 13, 16, 18, 23 и 29,6 мм, втулки, маслоотражатели, шайбы из ВЧШГ диаметром 12–29 мм, для турбокомпрессоров, все взамен сталей. Кольца поршневые и гильзы для компрессоров из СЧ диаметром 60–85 мм (17 наименований). Собираемые (100 %) с указанной продукцией компрессоры и турбокомпрессоры поставляются на конвейеры для комплектации двигателей МТЗ, МАЗ, БелАЗ, КрАЗ, ЗиЛ, КамАЗ и др.

- Гомельский завод пусковых двигателей – кольца поршневые диаметром 72 мм из СЧ.

- Гродненский завод карданных валов «Белкард» – втулки промежуточных подвесных опор и обоймы подшипников из СЧ и ВЧШГ диаметром 70, 140 и 158 мм взамен сталей.

- Завод «Турботехника» (г. Протвино, РФ) – кольца уплотнительные для турбокомпрессоров из ВЧШГ диаметром 19,3 и 22,48 мм. Диаметр 19,3 мм взамен сталей.

- «Бобруйсксельмаш» – втулки из ВЧШГ диаметром 30–120 мм, оси балансира, привода ножа косилки, сошника высевающего агрегата и диска-тора почвообрабатывающего агрегата. Всего 8 наименований и все взамен сталей.

- «Лидаагропроммаш» – втулки защитные шарниров высевающего и почвообрабатывающего агрегатов из ВЧШГ диаметром 14–65 мм (17 наименований) взамен сталей, в том числе, импортируемых со специальным износостойким покрытием.

Широкая номенклатура производимой продукции поставляется ремонтным организациям в самых различных отраслях промышленности, в том числе в Россию, Украину, Казахстан, Литву и др. С каждым годом продукция, полученная на основе метода литья намораживанием, становится все более известной и востребованной на рынке. УЧНПП «Технолит» благодаря высокой гибкости производства в состоянии оперативно реагировать на любые потребности рынка деталей, типа тел вращения. Так, в условиях кризисного 2009 г. только для потребностей Белорусской железной дороги освоено свыше 160 наименований поршневых и уплотнительных колец, различных втулок для локомотивных дизелей, компрессоров, турбокомпрессоров, гидроамортизаторов, тормозной рычажной передачи и для других ответственных агрегатов и механизмов. Причем ранее значительная часть таких изделий изготавливалась исключительно из легированных конструкционных сталей и бронз.

По данным службы локомотивного хозяйства, при использовании этих колец отмечено увеличение мощности дизелей на 10–15 % и снижение расхода масла на 7%. В масштабах БЖД – это существенная экономия ГСМ. Но все же наибольший резонанс отзывов на подвижном составе вызвала успешная замена хромированных стальных колец на нехромированные из ВЧШГ в дизелях флагмана российского оборонного двигателестроения – завода «Звезда», упомянутая выше замена стали Гадфильда на электровозе Вл80с и тяжело нагруженных стальных сферических шарниров на чугунные в механизме подвешивания чешского тепловоза ЧМЭ-3.

Более двух лет успешно идут испытания нехромированных поршневых колец диаметром 360 мм на дизелях тепловозов дальнего плавания Муромского пароходства.

Наряду с более высоким ресурсом работы стоимость продукции, производимой из чугунов, получаемых новым методом непрерывно-циклического литья, значительно ниже ее импортных аналогов. Так, Минский тракторный завод и Борисовский завод агрегатов при закупке годовой потребности колец и втулок только на разнице в ценах экономят соответственно около 500 и 200 тыс. долл. США ежегодно, а замена поршневых колец дизеля «Звезда» дает экономии почти 1000 долл. только на одном двигателе!

Достигнутые успешные результаты ставят чугуны в разряд недорогих, полноценных и высокоэффективных конструкционных материалов и вызывают повышенный интерес со стороны действующих производств. Так, в последнее время кон-

структуры МТЗ, ММЗ, МАЗ, БелАЗ, МЗКТ, Борисовского завода агрегатов, «Белкард», «Автогидроусилитель», «Амкодор», «Бобруйсксельмаш», «Лидаагропроммаш», «Гомсельмаш», «КамАЗ», «Звезда», Петербургского, Челябинского, Харьковского тракторных заводов, железной дороги, морского судоходства, ряда других промышленных предприятий в Беларуси и за ее пределами все охотнее и решительнее идут на применение комплектов из специальных НЦЛН чугунов при разработке новых и совершенствовании действующих конструкций, в том числе и в тех узлах, где ранее применялись исключительно стали, бронзы и другие антифрикционные материалы.

Интерес к продукции УЧНПП «Технолит» проявляют и за рубежом. Так, кольца из ВЧШГ с уникально высокими упругопластическими свойствами, впервые изготовленные вместо традиционных из СЧ для двухтактных ДВС, успешно прошли испытания и получили высокую оценку в Швеции на фирме «Husqvarna» – одном из мировых лидеров в производстве бензомоторной техники.

В 2008 г. специалистами «Volkswagen» проведен технический аудит производства УЧНПП «Технолит», по результатам которого он включен в реестр потенциальных поставщиков этой всемирно известной компании.

Значимость работы заключается:

- в разработке принципиально нового, не имеющего аналогов в мире, метода непрерывного литья полых заготовок без применения стержня, создании теории и установлении закономерностей комплексного влияния тепловых, гидродинамических и металлургических параметров на формирование свойств заготовок;
- в создании инновационной технологии и производства, оказывающих прорывное влияние на развитие техники;
- в радикальном повышении надежности и ресурса работы белорусских тракторов, автомобилей, компрессоров, турбокомпрессоров, станков, трансмиссий машин, сельхозагрегатов, дорожно-строительных машин, оборудования по производ-

ству кирпича, подвижного железнодорожного состава и др.;

- в исключении импорта важнейших деталей для этих машин;
- в повышении престижа и экспортного потенциала продукции белорусского производства на внешних рынках;
- в повышении экономической эффективности действующих производств, улучшении экологической среды и создании здоровых условий труда и высокооплачиваемых рабочих мест в социальной сфере.

Экономический эффект от сокращения материальных и энергетических затрат, производственных площадей, количества производственных операций, замены дорогостоящих легированных сталей и бронз на чугуны, отказа от импорта, снижения себестоимости продукции, повышения производительности, ресурса работы машин и механизмов, увеличения экспорта составляет около одного рубля на рубль произведенной продукции или более 6 млрд. руб. в год.

Новизна технических решений защищена 42 авторскими свидетельствами и патентами. Высокий научно-технический уровень этих решений подтверждается тем, что основные из них запатентованы в ряде зарубежных стран: ФРГ, США, Великобритании, Франции.

Основные научные результаты опубликованы в монографии, справочнике по специальным видам литья, 58 научных статьях, докладывались на десятках международных научно-технических конференциях, симпозиумах и конгрессах в России, Польше, Венгрии, Республике Корея, Китае, Японии, Индии, ФРГ, Франции, США, Иране, Турции. Работа удостоена премии НАН Беларуси, золотой медали на VIII Московском международном салоне инноваций и инвестиций 2008 г., Диплома в номинации «Лучшая инновация в области передовых технологий машиностроения и металлургии» на XIII Международной выставке-конгрессе 2008 г. (г. С.-Петербург). Получено более 20 Дипломов и Грамот за высокое качество изделий.