



*Discussion of article of V.I. Timoshpolskogo « Development of a metallurgical complex on the basis of industrial development of iron ores for use in Republic of Belarus».*

Д. Н. ХУДОКОРМОВ, С. П. КОРОЛЕВ, БНТУ, О. А. БЕЛЫЙ, НАН Беларуси,  
Г. В. ДОВНАР, БНТУ, Б. А. ЧЕПЫЖОВ, РУП «МАЗ»

УДК 621.74

## ПЕРВЫЙ БЕЛОРУССКИЙ ЧУГУН

В журнале «Литье и металлургия», 2007. № 2 (42) была опубликована статья В. И. Тимошпольского «Развитие металлургического комплекса на базе промышленного освоения железных руд для использования в Республике Беларусь». Полностью поддерживая основные идеи, изложенные в указанной статье, должны отметить, что эта тема уже более 30 лет тому назад активно обсуждалась в научных кругах БССР [1–28].

В начале 70-х годов прошлого столетия после открытия Околовского месторождения в Белорусском политехническом институте на кафедре «Литейное производство черных и цветных металлов» (ныне «Металлургия литейных сплавов») под руководством д-р техн. наук, проф. Д. Н. Худокормова начались работы по изучению возможности создания собственной горно-металлургической отрасли в республике. В 1971 г. по заданию Главного технического управления Министерства черной металлургии СССР коллектив специалистов Белорусского политехнического института (д-р техн. наук Д. Н. Худокормов, доцент О. Ф. Корякова, доцент, канд. техн. наук В. М. Королев, инженер И. Ю. Сапонько) провел научно-исследовательскую работу «Исследование возможности получения металлизированных окатышей для нужд литейного производства» совместно с Криворожским научно-исследовательским институтом МЕХАНОБРЧЕРМЕТ Главного технического управления Министерства черной металлургии СССР. Результатом проведенной работы была разработка принципиальной технологической схемы осуществления способов металлизации окатышей из концен-

тратов как твердым, так и газообразным восстановлением во вращающихся и шахтных печах и получения из них чугунных отливок (см. рис. 4). Далее с 1973 по 1975 г. по заданию Министерства высшего и среднего специального образования БССР была проделана основополагающая работа: «Разработка металлургической схемы переработки железных руд белорусского месторождения», которую под руководством д-р техн. наук, проф. Д. Н. Худокормова осуществил коллектив кафедры «Литейное производство черных и цветных металлов» БПИ: канд. техн. наук, доцент В. М. Королев, канд. техн. наук, доцент О. Ф. Корякова, ст. инженер И. Ю. Сапонько совместно с научными работниками института МЕХАНОБРЧЕРМЕТ канд. техн. наук И. Н. Докучаевой, канд. техн. наук А. А. Пинчук, зав. лаб. В. Ф. Бернадо.

Получение магнетитового концентрата для производства металлизированных окатышей осуществлялось по схеме с измельчением исходной руды по крупности 90% класса 0,074–0 мм с последующей электромагнитной сепарацией. Химический анализ и минералогический состав полученного концентрата приведены в табл. 1, 2.

Согласно данным табл. 1, в концентрате содержится 66,3% железа, 0,75% двуоксида титана, 2,7% кремнезема и 0,9% серы. Концентрат представлен в основном магнетитом (89%). Значительный процент (0,7%) составляют сульфиды; 8,8% силикатов в большинстве своем нерудные минералы. Полученный концентрат подвергался дальнейшим подготовительным операциям перед плавкой.

Таблица 1. Химический состав магнетитового концентрата и бентонита

Шихтовой материал	Содержание компонентов, %														
	Fe <sub>общ</sub>	FeO	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	MnO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	S	TiO <sub>2</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	CO <sub>2</sub>	Прочие
Белорусский концентрат	66,3	30,4	61,0	2,70	2,10	0,081	0,38	0,12	0,39	0,75	0,019	0,17	0,019	0,17	0,74
Даш-Салахлинский бентонит	3,0	—	7,6	60,55	15,3	3,04	3,27	0,086	2,73	0,38	—	—	—	—	7,04

Таблица 2. Минералогический состав магнетитового концентрата, %

Исходная руда	Магнетит	Ильменит	Сульфиды	Силикаты
Общее количество	89,0	1,5	0,7	8,8
Fe	64,5	0,6	0,3	0,9

Для получения нефлюсованных окатышей в состав шихты, кроме магнетитового концентрата, полученного из белорусской ильменит-магнетитовой руды, вводился бентонит (0,5 мас.%) Даш-Салахлинского месторождения. Гранулометрический состав шихтовых материалов приведен в табл. 3.

Таблица 3. Гранулометрический состав магнетитового концентрата и бентонита

Шихтовой материал	Содержание компонентов, %			
	+ 0,1 мм	+ 0,07 мм	+ 0,05 мм	-0,05 мм
Концентрат	7,5	18,9	24,1	50,5
Бентонит	17,4		82,6	

После тщательного смешивания шихта в количестве 10 кг загружалась в чашевый гранулятор диаметром 1000 мм, где доувлажнялась в процессе окатывания. Продолжительность окомкования при угле наклона чаши гранулятора 47,5° и скорости вращения 16–17 об/мин составляла 10 мин. Пробы сырых окатышей отбирались для определения влажности и прочности на удар и сжатие. Прочность на удар характеризовалась количеством падений окатышей с высоты 300 мм на стальную плиту до их разрушения. Из табл.4 видно, что влажность и прочность сырых окатышей находятся в обычных пределах.

Для снижения содержания серы перед процессом восстановления полученные окатыши подвергались упрочняющему обжигу в окислительной атмосфере на лабораторной установке с режимом обжига (время, температура), соответствовавшим

режиму обжига окатышей на промышленной конвейерной машине. Обоженные при температуре 1300 °С окатыши характеризовались крупнозернистой структурой, прочностью на раздавливание 1200–500 Н/окатыш и содержанием серы 0,029%. Таким образом, степень удаления серы составила 92,3%.

Восстановление полученных малосернистых окатышей производилось в лабораторной трубчатой вращающейся печи. В качестве восстановителя применялся изготовленный в Институте торфа АН БССР торфококк и антрацит Шахтенской обогатительной фабрики. Торфококк после дробления до крупности 6,0–0 мм имел следующую физико-химическую характеристику: насыпная масса – 0,5 т/м<sup>3</sup>, содержание золы – 23,63%, серы – 0,106, СО<sub>2</sub> – 0,53%. Применялся антрацит с содержанием серы 1,7% и крупностью 1–3 мм в количестве 6–13%. При восстановлении окатышей антрацитом использовался в качестве десульфуратора известняк крупностью 1–3 мм. Навеска шихты, в состав которой входили обоженные окатыши, антрацит (торфококк) и десульфуратор, в количестве 4–5 кг через люк загружалась в трубчатую печь. Процесс восстановления проходил при температуре 1050 °С, которая поддерживалась силитовыми нагревателями, установленными в центральной части печи. Для предохранения восстановленных окатышей от окисления при разгрузке печи производилась засыпка их тонкоизмельченным антрацитом. После охлаждения отбиралась проба для определения содержания общего железа, металлического железа и серы. Степень металлизации определялась из выражения

$$\frac{Fe_{мет}}{Fe_{общ}} \cdot 100\%.$$

Результаты опытов по восстановлению окатышей приведены в табл. 5.

Таблица 4. Характеристика сырых окатышей

Прочность		Влажность, %	Гранулометрический состав, %			
на удар, (количество падений до разрушения)	на сжатие, Н/окатыш		+20 мм	20–10 мм	10–5 мм	-5 мм
3–4	9–10	9,6	33,0	60,0	5,0	2,0

Таблица 5. Основные технологические показатели получения и восстановительного обжига окатышей

Восстановитель	Связующие добавки	Температура восстановления, °С	Время металлизации, ч	Содержание, %				Степень металлизации, %
				Fe <sub>общ</sub>	Fe <sub>мет</sub>	FeO	S	
Торфококк	0,5% бентонита	1050	2	83,6	63,8	25,9	0,010	75,7
Антрацит	То же	1050	3	83,9	71,1	15,0	0,022	89,5

Полученные окатыши подвергались минералогическому исследованию. В разрезе окатыша, восстановленного торфококсом, обнаружены две радиальные трещинки от периферии к центру, глубина которых составляет 1/3 окатыша. При исследовании в проходящем свете было установлено, что окатыш имеет довольно развитую пористость. При этом наружная зона (0,5–0,8 мм) содержит сравнительно редкие поры размером до 0,04 мм. На остальной площади среза окатыша поры распределены относительно равномерно. Размер их колеблется в пределах 0,003–0,48 мм, преобладают поры величиной 0,020–0,025 мм. Они имеют извилистые, заливообразные очертания. В порах изредка встречаются небольшие объемы железистого стекла бурого цвета.

При исследовании в отраженном свете выявлен следующий состав окатыша: металлическое железо – 70–75%, шлаковая составляющая – 7–10%, вюстит – 15–20%. Установлено, что наружная оболочка, имеющая толщину 0,8 мм, представляет собой бинарную систему металлическое железо – шлаковая составляющая (в небольшом объеме). Наиболее распространены каплевидные и неправильной формы включения железа размером от 0,005 до 0,03–0,04 мм, сросшиеся между собой и образовавшие равномерно развитую кружевную структуру. Иногда не четко устанавливаются контуры бывших зерен магнетита (размер 0,04–0,16 мм) по более густым скоплениям выделений металлического железа. Далее следует зона тончайшего прорастания (типа эвтектики) металлического железа с вюститом и каемчатыми сложноизвилистыми выделениями шлаков. Обычно в центральной части образований присутствует вюстит с тончайшими включениями металлического железа: вокруг вюстита – каемка шлаков шириной 0,002–0,005 мм, включает образование кружевной каймы металлического железа шириной 0,003–0,008 мм. В ядре окатыша четко различаются угловатые контуры бывших магнетитовых зерен размером 0,04–0,20 мм (рис. 1). В центральной их части наблюдаются выделения вюстита овальной формы, занимающие по площади 1/3 бывшего зерна магнетита. Эти выделения иногда содержат тончайшие (микронные) включения металлического железа. Снаружи выделения вюстита постоянно содержат кайму из металлургического железа и шлаков, аналогичную строению описанной выше каймы; наружная зона каймы состоит из металлического железа шириной 0,002 мм. Состав шлаковой составляющей не изучался детально из-за незначительности его количества.

В разрезе окатыша (на 1/3), восстановленного антрацитом, обнаружена одна трещина от перифе-

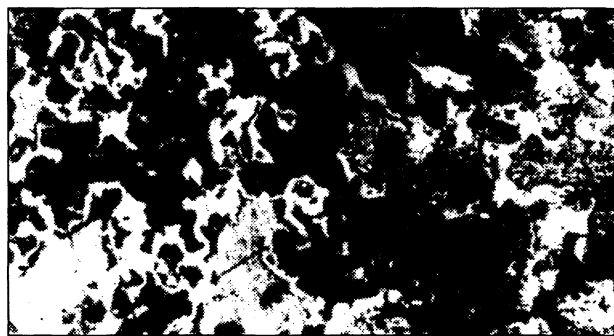


Рис. 1. Микроструктура металлизированного окатыша, восстановленного торфококсом: светлые включения – металлическое железо; серые – шлаковая составляющая; темно-серые – вюстит; черные – поры.  $\times 250$

рии к центру. При изучении в проходящем свете установлена развитая пористость (размер пор от 3–5 до 0,30 мм). Наиболее распространены поры размером 0,015–0,040 мм. Количество пор значительно увеличивается от периферии, где наблюдается наружная зона (толщина 0,6–0,7 мм) с пониженной пористостью, к центру. Иногда отмечались минералы шихты, сохранившие свою первоначальную форму; размер их 0,10–0,12 мм. Встречаются они в различных частях среза окатыша.

В отраженном свете наружная зона окатыша (до 1 мм) состоит из небольшого количества шлаков, образующих структуру эвтектики. Выделения металлического железа (0,008–0,03 мм) образуют сплошную кружевную структуру. Ближе к центру окатыша выделения металлического железа располагаются скученно – в пределах исходных магнетитовых зерен 0,015–0,20 мм. Эти выделения имеют губчатое строение; часть пор заполнена шлаками. Нередко вокруг выделений железа по периферии холодного магнетитового зерна наблюдаются каемки сплошного металлического железа.

Одной из основных технологических операций выплавки синтетического чугуна из металлизированных окатышей является процесс науглероживания, который зависит от вида карбюризатора, дисперсности его частиц, порядка загрузки в тигель, температуры и времени выдержки металла в печи.

При одновременной загрузке окатышей и науглероживателя в холодный тигель науглероживание идет преимущественно в твердом состоянии через газовую фазу, а также за счет контакта твердых частиц карбюризатора с металлизированными окатышами. Поэтому чем больше поверхность и продолжительность этого контакта при высоких температурах (не превышающих однако температуру шлакообразования), тем полнее протекает науглероживание. После образования жидкоподвижного шлака нерастворившиеся частицы карбюризатора выносятся на поверхность и процесс науглероживания прекращается.

Эксперименты проводились в лабораторной силитовой печи. В качестве науглероживателя использовался порошок электродного боя (96% С) с размером частиц 0,4–0,6 мм. Компоненты шихты, состоящей из 95% металлized окатышей и 5% электродного боя, равномерно перемешивались и загружались в шамото-графитовый тигель емкостью 10 кг. Последний помещался в силитовую печь, нагретую до температуры 1480 °С. После 30-минутной выдержки при данной температуре, необходимой для полного расплавления шихты, тигель извлекался из печи, скачивался шлак и вводились ферросилиций (75% Si) и ферромарганец (75% Mn) из расчета 2,5% Si и 0,6% Mn. Затем расплав вновь выдерживался при 1480 °С в течение 5 мин и разливался в сухие песчаные формы. Выход годного металла от общего количества шихты составлял 73–78%.

Полученный чугун имел следующий химический состав: 3,64% С; 2,3% Si; 0,5% Mn; 0,03% S; 0,1% P; 0,1% V; 0,05% Ti. Таким образом, при проплавке окатышей из белорусской ильменит-магнезитовой руды в металл почти полностью переходят ванадий и значительная часть титана, обеспечивая получение природно-легированного чугуна.

Микроструктура отливки толщиной стенки 10 мм состоит из равномерно распределенных включений пластинчатого графита и перлитной металлической основы, что соответствует структуре высококачественного серого чугуна (рис. 2).



Рис. 2. Микроструктура отливки белорусского чугуна. Шлиф не травлен.  $\times 300$

В результате проведенных исследований было установлено.

1. Ильменит-магнетитовая руда белорусского месторождения относится к комплексным рудам, содержащим, кроме железа, легирующие элементы – титан и ванадий.

2. Белорусская природно-легированная руда относится к разряду легкообогащаемых.

3. В результате обогащения из ильменит-магнетитовой руды выделены сверхбогатые магнетитовые концентраты с содержанием железа 67–69%, используемые для выплавки чугуна. Попутно выделен ильменитовый концентрат – исходный продукт для получения титана.

4. Из магнетитовых концентратов в обжиговых печах получены металлized окатыши, содержащие 84% железа (степень металлизации их составила 76–90%).

5. Снижение содержания серы в металлized окатышах можно достичь за счет использования низкосернистого восстановителя. Таким восстановителем является торфокоск, полученный в Институте торфа АН БССР.

6. В результате проплавки металлized окатышей выявлена принципиальная возможность замены в металлзавалке плавильных агрегатов литейных цехов дефицитных и дорогих литейных чушковых чугунов более дешевым сырьем – продуктом прямого восстановления железных руд.

Развитие данная тема получила в осуществленной в 1977 г. работе «Разработка технологии плавки в индукционных печах и исследование свойств чугуна с шаровидным графитом, полученного на основе восстановленного железорудного сырья», проведенной д-р техн. наук, проф. Д. Н. Худокормовым, зав. лаб. НИЛОГАЗ, канд. техн. наук Н. Е. Кулагой, доцентом, канд. техн. наук В. М. Королевым, ст. инженером НИЛОГАЗ И. Ю. Сапонько, канд. техн. наук С. Н. Лекахом, инженером В. А. Федосовым, лаборантом Т. К. Горбач, в которой были исследованы и оптимизированы технологические параметры конструкционного литейного сплава – чугуна с шаровидным графитом на основе использования металлized окатышей, полученных из белорусских железных руд. В 1978 г. была завершена работа по теме: «Исследование технологии плавки высококачественных чугунов в дуговой печи с использованием в шихте металлized окатышей и разработка рекомендаций по применению металлized железорудного сырья в литейном производстве», которая была внедрена на объединении БелавтоМАЗ (1977 г.) с экономическим эффектом 11,4 руб. на 1 т годного литья в ценах 1977 г. Аналогичные результаты

были получены теми же авторами в 1978 г. в литейном цехе № 30 завода «Ижтяжбуммаш».

Было установлено, что:

- применение металлизированных железорудных окатышей в составе шихты позволяет повысить качество чугуна, выплавляемого как в вагранках, так и в дуговых электрических печах;

- использование 20% окатышей в шихте не затрудняет процесс плавки в вагранке, однако расход ферросилиция и кокса при этом возрастает на 10–15 и 5–10%;

- введение окатышей в шихту способствует снижению содержания вредной примеси – хрома на 30–50% и повышению пластических свойств чугуна;

- ввод в шихту до 45% окатышей при производстве чугуна в дуговых электрических печах не затрудняет процесс плавки;

- продолжительность плавления и расход электроэнергии, угар элементов химического состава чугуна в случае использования в шихте окатышей не отличаются от соответствующих показателей при работе на традиционных шихтовых материалах;

- низкое содержание в окатышах вредных примесей и карбидообразующих элементов делает целесообразным применение их при производстве чугуна с шаровидным графитом, обладающего высокими пластическими свойствами;

- экономический эффект от внедрения металлизированных окатышей при производстве высокопрочного чугуна составил 21,79 руб. на 1 т (в ценах 1978 г.).

Однако было отмечено и увеличение образования шлака при плавке с использованием металлизированных окатышей. Так, при ваграночном процессе количество шлака увеличивается от 6,1 до 7,1% от массы жидкого металла, хотя отмечается, что при этом шлак обладает повышенной жидкотекучестью. При электродуговом процессе шлакообразование по сравнению с плавкой на традиционных шихтовых материалах увеличивается в 2–3 раза.

Научно-практические исследования в данной области явились результатами двух диссертаций на соискание ученой степени кандидата технических наук: в 1979 г. – И. Ю. Сапонько по теме «Исследование и разработка технологического процесса производства высококачественных чугуновых отливок с применением металлизированного железорудного сырья» и в 1981 г. – О. А. Белым по теме «Исследование и разработка технологии плавки чугуна в вагранке с использованием металлизированного железорудного сырья».

По разработанному технологическому режиму были проведены также опытные плавки чугуна в индукционной печи по шихте, состоящей из 33% окатышей и 67% возврата собственного производства, т. е. Fe–C-сплава с содержанием углерода 3,0–3,2%. Электродный графит фракции 0,05–0,65 мм добавляется в шихту в количестве 7% от массы окатышей. Последовательность операций при плавке была следующей: загрузка в печь ~ 60% расчетного количества окатышей и электродного графита, нагрев до температуры 1320 °С, выдержка при данной температуре в течение 20 мин. После расплавления окатышей скачивался шлак и в жидкий металл загружалась оставшаяся часть окатышей и карбюризатора, которые плавилась так же как и предыдущие части металлозавалки. После этого в печь вводился и расплавлялся возврат. В ходе плавки определяли ее продолжительность, расход электроэнергии, выход металла из окатышей, содержание углерода в выплавленном металле (табл. 6).

Таблица 6. Параметры плавки чугуна в индукционной печи с использованием в шихте окатышей

Продолжительность плавки, мин	Выход металла, %	Расход электроэнергии, кВт/ч	Содержание углерода в металле, %
90,0	82,0	97,0	3,4–3,6

Применение железорудного сырья особенно целесообразно при выплавке высокопрочного чугуна с шаровидным графитом. Отсутствие в составе окатышей марганца и других перлитостабилизирующих элементов позволяет получить структуру чугуна с ферритной металлической основой в литом состоянии. Кроме того, отпадает необходимость проведения трудоемкого процесса их десульфурации перед модифицированием, что значительно удешевляет и упрощает технологию его производства.

В результате модифицирования исходного расплава, приготовленного на основе окатышей, магнием (в виде железомagneзиевых брикетов), церием (в виде ферроцерия) был получен чугун с шаровидным графитом (рис.3). Количество присадки магния составляло до 0,4%, церия – до 0,9%.

Предложенный вариант комплексного использования минеральных ресурсов Беларуси, включающий в себя переработку магнетитового концентрата, выделенного в процессе обогащения титаномагнетитовых руд с применением малозольного фрезерного торфа и последующее получение высококачественного губчатого железа без затрат дефицитного восстановителя – кокса, заслуживает особого внимания при рассмотрении проблемы

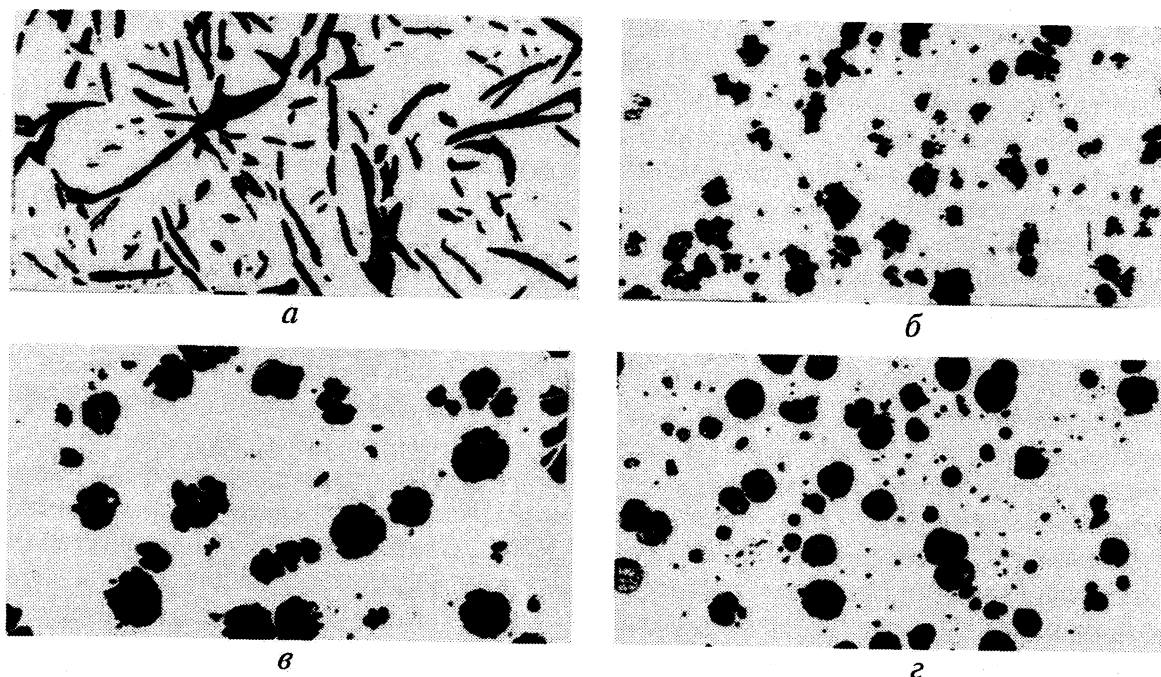


Рис. 3. Влияние микролегирования на структуру чугуна на основе восстановленного железорудного сырья: а – исходный; б – 0,4% Се; в – 0,3% ФЦМ-5; г – 0,3% Mg; не травлено.  $\times 100$



Рис. 4. Чугунная отливка из белорусской железной руды, полученная на кафедре «Литейное производство черных и цветных металлов» в 1972 г. и схема процесса плавки окатышей в индукционной печи



создания горно-металлургической отрасли с точки зрения реалий сегодняшнего дня. Принимая во внимание перспективу строительства атомной электростанции в Беларуси, а, следовательно, создание более дешевого источника энергии, развитие бескоксовых, т. е. внедоменных способов реализации металлургических процессов, открывает новые перспективы промышленной разработки белорусских месторождений железных руд.

Поскольку стоимость металлургического железорудного сырья ниже стального лома и чушковых чугунов, эта задача затрагивает напрямую экономическую стабильность литейного комплекса автомобильных и машиностроительных заводов республики.

Использование металлургических окатышей позволяет реализовать ряд технологических аспектов для стабильного производства высокопрочного чугуна с шаровидным графитом, а именно, получить более рафинированный по сере и кислороду исходный расплав. Поэтому создание в Беларуси собственной горно-металлургической отрасли, вероятно, надо рассматривать не только с позиций привязки к Белорусскому металлургическому заводу, но и рассмотреть аспект удешевления производства на предприятиях машиностроительного профиля (Минский автомобильный завод, Минский тракторный завод, Белорусский автомобильный завод, Завод литья и нормалей ПО «Гомсельмаш», Могилевлифтмаш и др.) высокопрочного чугуна (ВЧ) с шаровидным графитом как конструкционного литейного материала для деталей машин и механизмов.

Доля производства отливок из ВЧ в передовых странах мира составляет примерно 10–20% от общего выпуска чугуновых отливок, при этом объемы производства высокопрочного чугуна увеличиваются ежегодно. Это связано с устойчивой тенденцией замены стали для узлов и агрегатов автомобилей на ВЧ. Обусловлена данная целесообразность, в первую очередь, экономическими, экологическими, технологическими и эксплуатационными факторами, которые определяют уровень конкурентоспособности отечественного машиностроения.

К большому сожалению, почти 30 лет назад вопросы развития горно-металлургической отрасли в Беларуси не нашли поддержки в руководстве республики. Но изменившаяся геополитическая ситуация, а, следовательно, экономические, технические и ресурсосберегающие аспекты заставляют по-иному взглянуть на проблему использования железорудных месторождений.

В решении проблемы, поднятой нынешним руководством Республики Беларусь, о развитии металлургии с промышленным использованием железных руд Беларуси необходимо использовать опыт и результаты исследования ученых кафедр «Литейное производство черных и цветных металлов» Белорусского политехнического института и признать, что разработка залежей белорусских руд представляется экономически целесообразной и технически осуществимой как для нужд литейного производства, так и для удовлетворения потребностей в железорудном сырье Белорусского металлургического завода.

## Литература

1. Исследование возможности получения металлургических окатышей для нужд литейного производства: Отчет о НИР / Ин-т МЕХАНОБРЧЕРМЕТ. Кривой Рог; Мн., 1971.
2. Разработка металлургической схемы переработки железных руд белорусского месторождения: Отчет о НИР / БПИ. Мн., 1975.
3. Разработка технологии плавки в индукционных печах и исследование свойств чугуна с шаровидным графитом, полученного на основе восстановленного железорудного сырья: Отчет о НИР / БПИ. Мн., 1977.
4. Исследование технологии плавки высококачественных чугунов в дуговой печи с использованием в шихте металлургических окатышей и разработка рекомендаций по применению металлургического железорудного сырья в литейном производстве: Отчет о НИР / БПИ. Мн., 1978.
5. Получение концентрата для производства металлургических окатышей из ильметит-магнетитовых руд / И. Н. Докучаева, Т. В. Губин, А. А. Пинчук и др. // Бюл. ЦНИИЧМ. М., 1974. С. 22–23.
6. Разработка технологии подготовки белорусских ильметит-магнетитовых руд к проплавке в металлургических агрегатах машиностроительных заводов / Д. Н. Худокормов, Г. В. Губин, О. Ф. Коряков и др. // Мн.: Выш. шк., 1975.
7. Свойства синтетического чугуна, выплавленного из металлургических окатышей / Д. Н. Худокормов, Г. В. Губин, В. М. Королев и др. // Металлургия. Вып. 7. Мн.: БПИ, 1975. С. 79–82.
8. Перспективы применения металлургических железорудных окатышей для плавки чугуна / Д. Н. Худокормов, Г. В. Губин, В. М. Королев и др. // Литейное производство. 1977. № 5. С. 3–5.
9. Применение металлургических окатышей для выплавки высококачественных чугунов / Д. Н. Худокормов, В. М. Королев, С. Н. Леках и др. // Тез. докл. 1-го Всесоюз. науч.-техн. съезда литейщиков. Мн., 1978. С. 22–23.
10. Особенности технологии производства высокопрочного чугуна на основе металлургического железорудного сырья / Д. Н. Худокормов, В. М. Королев, С. Н. Леках и др. // Литейное производство. 1978. № 6. С. 7–8.
11. А. с. СССР № 611938: Способ плавки сплавов на основе железа / Д. Н. Худокормов, Г. В. Губин, В. М. Королев и др.
12. А. с. СССР № 998564: Чугун / Д. Н. Худокормов, В. М. Королев, С. Н. Леках, И. Ю. Сапонько.

13. Сапо́нко И. Ю. Исследование и разработка технологического процесса производства высококачественных чугуновых отливок с применением металлизированного железорудного сырья: Автореф. дисс. ... канд. техн. наук. Мн., 1979.
14. Перспективы применения металлизированных окатышей в литейном производстве / Д. Н. Худокормов, Г. В. Губин, В. М. Королев и др. // Литейное производство. 1979. № 5. С. 3–5.
15. Процесс плавки серого чугуна в вагранке с использованием в шихте металлизированных окатышей / Д. Н. Худокормов, В. М. Королев, С. Н. Леках и др. // Metallurgia. Вып. 9. Мн.: БПИ, 1977. С. 3–7.
16. Кула́га Н. Е., Берна́до В. Ф., Бельи́й О. А., Дворни́ченко И. Ф. Применение науглероженных металлизированных окатышей при выплавке серого чугуна в вагранке // Metallurgia. Вып. 11. Мн.: БПИ, 1977. С. 25–29.
17. Процесс плавки металлизированных окатышей в вагранке / В. М. Королев, С. Н. Леках, О. А. Белый и др. // Изв. вузов. Черная металлургия. 1978. № 1. С. 173–176.
18. Получение ковкого чугуна с использованием в шихте металлизированных окатышей / Г. В. Гордейчик, С. Н. Леках, О. А. Белый и др. // Metallurgia. Вып. 12. Мн.: БПИ. 1978. С. 5–6.
19. Применение металлизированных окатышей для выплавки высококачественных чугунов / Д. Н. Худокормов, В. М. Королев, С. Н. Леках и др. // Повышение эффективности литейного производства и качества литых заготовок. Мн.: БПИ, 1978. С. 22–24.
20. Влияние металлизированных окатышей на содержание микропримесей в чугуне / В. М. Королев, С. Н. Леках, О. А. Белый и др. // Metallurgia. Вып. 13. Мн.: Выш. шк., 1979. С. 71–74.
21. Металлургические особенности плавки чугуна в вагранке при использовании в шихте металлизированных окатышей / О. А. Белый, В. М. Королев, С. Н. Леках и др. // Повышение качества отливок металлургического оборудования и эффективности процессов их производства. Днепропетровск: ДПП, 1978. С. 53–59.
22. Муравский А. В., Белый О. А., Жоглик Л. К. Использование металлизированных окатышей вместо стального лома при выплавке чугуна // Эффективное использование научных разработок – важнейший резерв повышения производительности и качества. Мн.: Выш. шк., 1977. С. 68–70.
23. Слуцкий А. Г., Леках С. Н., Воробьева Э. М., Белый О. А. Исследование процессов ваграночной плавки природнолегированных металлизированных окатышей // Metallurgia. Вып. 14. Мн.: Выш. шк., 1980. С. 76–79.
24. Королев В. М., Белый О. А., Леках С. Н., Трибушевский В. Л. Исследование процесса плавки чугуна в вагранке с использованием брикетированных металлизированных окатышей // Metallurgia. Вып. 15. Мн.: Выш. шк., 1977. С. 3–6.
25. А. с. СССР № 611938: Способ плавки сплава на основе железа / Д. Н. Худокормов, В. М. Королев, С. Н. Леках и др.
26. А. с. СССР № 775552: Брикет для плавки чугуна в вагранке / Д. Н. Худокормов, А. М. Милов, А. М. Дмитриевич и др.
27. А. с. СССР № 981379: Способ выплавки низколегированной стали / В. И. Довгопол, Д. Н. Худокормов, С. Н. Леках и др.
28. Белый О. А. Исследование и разработка технологии плавки чугуна в вагранке с использованием металлизированного железорудного сырья: Автореф. дисс. ... канд. техн. наук. Мн., 1981.