

НОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ПОЛУЧЕНИЯ И СВОЙСТВА ПОРОШКОВЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ

ПОРОШКОВАЯ МЕТАЛЛУРГИЯ В МИРЕ И В БЕЛАРУСИ: 1990-2010. СОСТОЯНИЕ, ПРОБЛЕМЫ, ПЕРСПЕКТИВЫ

ВИТЯЗЬ П.А.¹, ИЛЬЮЩЕНКО А.Ф.², САВИЧ В.В.³

¹Президиум НАН Беларуси, г. Минск, Беларусь

²Государственное научно-производственное объединение
порошковой металлургии, г. Минск, Беларусь

³Институт порошковой металлургии, г. Минск, Беларусь

В работах [1-9], на основании обзора зарубежной литературы, собственных наблюдений, сделан анализ состояния порошковой металлургии как отрасли современного наукоемкого высокотехнологичного производства, оценены основные тенденции, особенности и перспективы ее развития, уровень исследований, разработок и производств порошковой металлургии. Некоторые наши новые выводы и рекомендации приведены ниже.

Эволюция производств порошковой металлургии в 1991-2009 годах. На рисунке 1 представлено по данным работы [10], а также по данным Европейской ассоциации порошковой металлургии (далее – ЕРМА) изменение мировых объемов продаж железных порошков за последнее время.

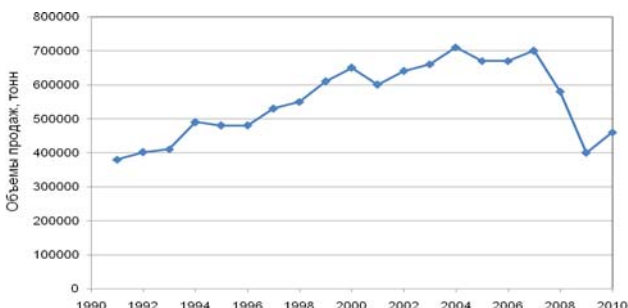


Рис.1. Динамика мирового объема продаж порошков железа и низколегированных сталей в 1991-2010 г.г. по данным европейской и японской ассоциаций порошковой металлургии, федерации промышленности порошковой металлургии Северной Америки

Динамика продаж порошков железа и сталей, представленная на рис. 1, имеет одну особенность: мировой экономический кризис 1998 года, о котором уже мало кто помнит, практически не отразился на объеме продаж наиболее массовых порошков, главным потребителем которых в развитых странах Европы, Америки, а теперь и Азии является автомобильная промышленность. По нашему мнению это связано с бурным ростом в период 1996-2000 годов производства легкового автотранспорта в Азии – Корее, Китае, Тайване, Индии, а также в Южной Америке. Кроме того, в это же время и производство порошковых конструкционных изделий начинает перемещаться в эти регионы. Тем не менее, уже с 2007 года наблюдается падение объема продаж железных порошков, продолжавшееся по 2009 год включительно, что может быть связано с опережающим ростом производства дешевой конструкционной стали в упомянутых регионах.

Представляет интерес рассмотреть более подробно изменение за последние 8 лет объемов продаж порошков, который однозначно коррелирует с объемом выпуска изделий из них, в традиционных регионах – Европе, Японии и Северной Америке. На рисунках 2-4 приведены региональные данные, представленные на Генеральной ассамблее EPMA в ноябре 2010 года в Брюсселе. На рисунке 5 – сводные данные, причем в столбец «остальные» включены СНГ, Китай, Индия, Юго-восточная Азия, Южная Америка.

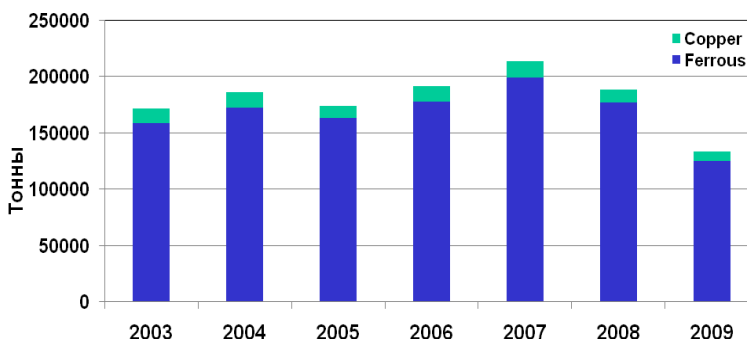


Рис.2. Динамика объема продаж порошков железа и меди в 2003-2009 г.г. в Европе (без учета СНГ)

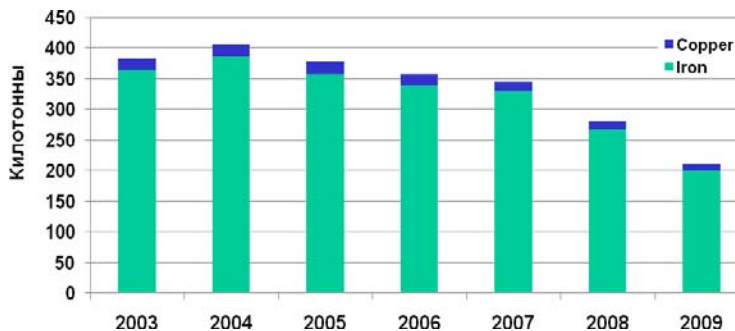


Рис.3. Динамика объема продаж порошков железа и меди в 2003-2009 г.г. в Северной Америке

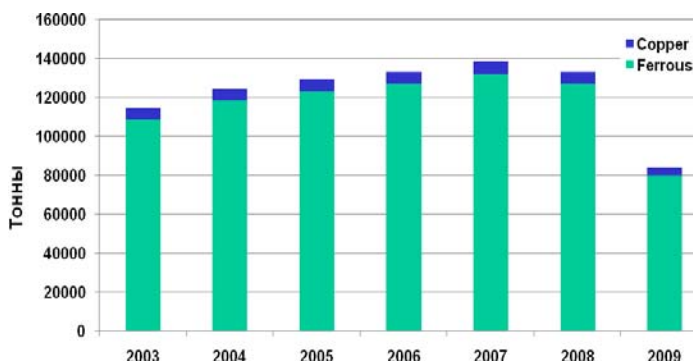


Рис.4. Динамика объема продаж порошков железа и меди в 2003-2009 г.г. в Японии

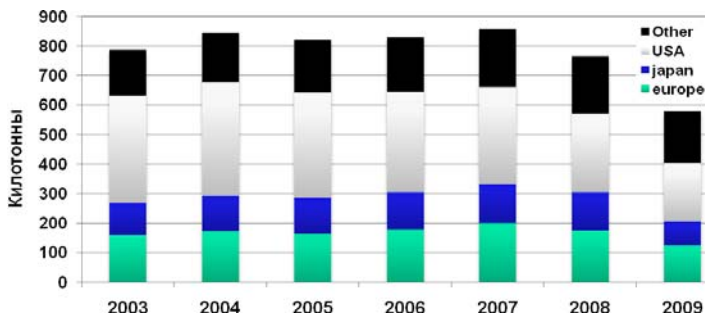


Рис.5. Динамика объема продаж порошков железа в 2003-2009 г.г. в мире с учетом СНГ, Китая, Индии, Юго-восточной Азии, Южной Америки

Анализ, данных, приведенных на рисунках 2-5, позволяет сделать следующие выводы: и в Европе, и в Японии – 2007 год – год максимума продаж порошков. В то же время в Северной Америке с 2004 года наблюдается устойчивое падение объемов продаж порошков, к 2009 году уменьшившееся практически в 2 раза по сравнению с 2004 годом. Наиболее резкое падение в 2008-2009 г.г. наблюдалось в Японии – со 135 до 85 тысяч тонн. В то же время т.н. «остальные» страны в этот период в совокупности сохраняли устойчивый объем продаж порошков железа – на уровне 180-200 тысяч тонн. Этот вывод дополнительно иллюстрирует рисунок 6 [PM2010, Florence, Italy].

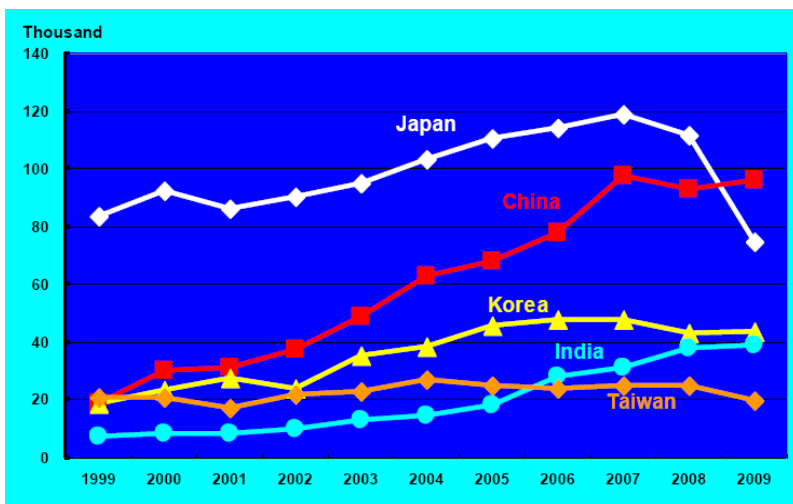


Рис.6. Производство изделий порошковой металлургии (в тыс. т) в Азии за период 1999-2009 годов [Yoshiyasu Iino, PM2010, Florence, Italy]

Как видно из рисунка 6, уже с 2007 года началось резкое падение объемов производства изделий порошковой металлургии в Японии, обострившееся в 2008 году и не восстановившееся даже в 2010. При этом и Китай (с 2001 года), и Индия (с 2005 года) демонстрировали устойчивый рост объемов производства порошковых изделий, а Корея в 2005-2009 году, несмотря на экономические потрясения, сохранила стабильным годовой объем производства на уровне 43-50 тыс. тонн.

Во многом объясняет эту динамику ее соотношение с производством автомобилей в Азии (таблица 1).

Таблица 1

Производство автомобилей в Азии

(Thousand Cars)				
AREA	2007	2008	2009	09/08 (%)
China	8,882	9,299	13,791	148.3
Japan	11,596	11,576	7,935	68.5
Korea	4,086	3,827	3,513	91.8
India	2,254	2,332	2,633	112.9
Thailand	1,287	1,394	968	69.4
Malaysia	442	531	485	91.3
Taiwan	283	183	226	123.5
Total	28,830	29,142	29,551	101.4

Почти 50%-ный рост производства автомобилей в Китае и почти 13%-ный рост производства в Индии в 2009 году по сравнению с 2008, в котором, не смотря на начавшийся кризис, объем производства также вырос по сравнению с предыдущим, 2007 годом, хотя и не такими темпами. При этом в Японии производство автомобилей упало за год почти на треть – на 31,5%. Сохранение и даже незначительный рост (1,7%) производства порошковой металлургии в Корее при заметном (8,2%) падении производства автомобилей мы объясняем диверсификацией и освоением в этот период производства изделий для других потребителей – телекоммуникационного оборудования, бытовой техники, изделий информатики и электроники. В 2010 году падение производства порошковой металлургии в Японии продолжилось, хотя и не так резко, как в 2009 году. При этом и в Китае, и в Индии и в Корее объемы производства порошковой металлургии устойчиво растут.

На всемирном конгрессе порошковой металлургии [PM2010, Florence, Italy] было отмечено, что за первые 8 месяцев 2010 года в Северной Америке зафиксирован рост продаж железных порошков до 218 тысяч тонн, что на 62% больше, чем за аналогичный период 2009 года. Рост продаж порошков меди за 6 месяцев 2010 года вырос до 7182 тонны, что на 38% больше, чем в 2009 году. Безусловно такой оздоравливающий эффект связан с ростом продаж легковых автомобилей в Северной Америке, который обусловлен мощной прямой и косвенной поддержкой ав-

томобильной промышленности правительством США. Аналогичные меры, предпринятые в ЕС, также привели к росту объемов производства порошковой металлургии в Европе. Так минимум был достигнут за этот период в 1 квартале 2009 года, а со второго по настоящее время наблюдается устойчивый рост.

Экономические и ресурсные факторы, влияющие на производства порошковой металлургии в мире. Продукция порошковой металлургии – как правило, комплектующие (отдельные узлы, детали), заготовки и полуфабрикаты, поставляемые несколькими производителями на сборочные производства. Поэтому все проблемы, связанные с мировым экономическим кризисом, колебаниями объемов производств у потребителей – машино- и приборостроителей, неизбежно отражаются на их поставщиках.

Использование железа человеком началось около 3000 лет до н.э. с изобретением метода прямого восстановления железной руды углеродом [11]. Таким же методом современные производители производят по всему миру 250-300 тыс. т порошков железа ежегодно. При этом в качестве сырья используется не только железная руда, но и прокатная окалина, шлам и другие отходы производства. Другой метод массового получения порошков железа – распыление расплава чугуна (стали) водой или сжатым воздухом позволяет использовать в значительных объемах лом, литейный брак, некондиционный чугун основного металлургического производства.

Основные операции технологии порошковой металлургии – формование из порошка заготовки с приложением давления (или без него) в специальной форме, размеры которой максимально приближены к размерам готовой детали, термическая обработка (спекание), а при необходимости – дополнительная обработка (калибровка, термическая или химико-термическая обработка, механическая обработка посадочных либо дополнительных поверхностей). При этом спекание ведется при температурах ниже температуры плавления основного компонента исходной шихты. Таким образом, порошковая металлургия - наиболее экономичный метод изготовления изделий: отходы материалов здесь самые низкие по сравнению с традиционными технологиями (литьем, механической обработкой, холодной и горячей обработкой давлением) за счет получения изделий с размерами, близкими к окончательным; минимальным количеством операций.

Другая особенность порошковой металлургии – возможность производства материалов и изделия, которые невозможно получить традиционными металлургическими методами. Это тугоплавкие материалы и твердые сплавы, композиционные многокомпонентные материалы триботехнического (подшипники скольжения, фрикционные диски и накладки), электротехнического (щетки электрических машин, эрозионно-стойкие контакты, магнитомягкие и магнитотвердые изделия) назначения, пористые материалы и изделия из них (фильтры, катализаторы, диспергаторы, глушители шума и т.п.).

По нашему мнению, вторая особенность порошковой металлургии в странах Европы и Америки используется недостаточно, хотя именно за этим направлением - будущее и стратегические перспективы: композиционные многокомпонентные функциональные материалы, в том числе содержащие наноразмерные и наноструктурные компоненты, производимые в промышленных объемах, можно создавать только традиционными и новыми методами порошковой металлургии и родственных технологий.

На рисунке 7 представлена структура рынка порошковых деталей в Европе в 2009 году по данным EPMA [PM2010, Florence, Italy].

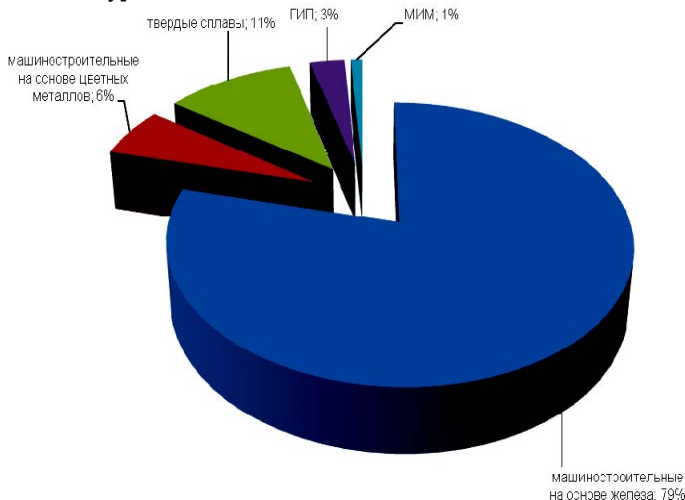


Рис.7. Структура рынка порошковых деталей в Европе в 2009 году [Ingo Cremer, Florence, Italy, 2010]

Как видно из рис.7, машиностроительные детали (шестерни, кольца, подшипники скольжения, тормозные колодки и диски сцеплений и муфт, композиционные контакты и т.п.) составляют 85% европейского рынка. Такая довольно специфическая структура рынка порошковых деталей характерна не только для Европы, но и для регионов Японии, Северной Америки. Доля машиностроительных деталей за последние годы в общем объеме мирового производства порошковой металлургии всегда составляла наиболее значимую ее часть и превышала 50%.

В период 2005-2010 года соотношение евро/доллар колебалось в диапазоне от 1,2 до 1,6, что вызывало комплекс финансово-технических проблем.

Во-первых, рост курса евро экономически снижает конкурентоспособность европейских производителей продукции порошковой металлургии не только и не столько перед североамериканскими, но и в первую очередь, перед азиатскими. Это подтверждают приведенные выше данные (рис. 2, 5, 6): высокий курс евро в 2008 году привел к резкому падению объемов европейских продаж порошков железа и меди, в Китае и в Индии в это время отмечается устойчивый рост производства изделий порошковой металлургии, а в Корее и на Тайване – более-менее стабильный объем производства. При этом в Северной Америке в 2004 году был достигнут максимум, а уже с 2005 года производство порошковых изделий неуклонно падает (рис. 3). В то же время в Европе – объемы производства порошковых изделий с 2005 по 2007 год растут, что, не в последнюю очередь связано с невысоким курсом евро в этот период.

Во-вторых, высокий курс евро понижает конкурентоспособность всех европейских производителей машиностроительной и электротехнической продукции, ориентированной, главным образом (автомобилестроение, приборостроение, производство бытовой техники, стрелкового и охотничьего оружия и др.) или значимой частью (производство подвижного железнодорожного состава, авиа- и судостроение и др.) на экспорт. Аналогичное негативное влияние высокий курс евро оказывает на европейских производителей оборудования и оснастки порошковой металлургии – прессового, печного, формующего инструмента, а также на производителей и поставщиков порошков и порошковых смесей, большая часть которых потребляется за пределами Европы.

Единственный положительный момент, который мог бы быть от роста курса евро, - повышение доступности сырьевых

ресурсов для производства порошков в Европе, стоимость которых определяется, как правило, в долларах США, не только железной руды и стального лома, но и основных легирующих компонентов порошковых сталей – меди, никеля, молибдена, что могло бы снизить стоимость готовых порошков и себестоимость изделий из них. Однако такой эффект – кажущийся.

Анализ динамики изменения цены на вышеуказанные сырьевые ресурсы по данным источника www.infomine.com показал, что она росла все последние годы. Так только с ноября 2009 по октябрь 2010 года стоимость стального лома выросла с 240 до 330 долларов за тонну, возросла за этот период, более чем в 2 раза, стоимость железной руды. За прошедшие 6-7 лет стоимость меди выросла с 1 до 4 долларов за фунт (около 9 долларов за кг) – в 4 раза! Стоимость же медного порошка достигла в Роттердаме 15 долларов за кг и даже в России на 01.02.2011 стоимость порошка меди превысила 10,0 доллара за кг, хотя еще в январе 2010 года находилась на уровне 7-8 долларов за кг.

Стоимость молибдена за 10 лет хоть и выросла в 5 раз – с 3 до 15 долларов за фунт, но это все-таки в 3 раза ниже максимума в 45 долларов в 2005 году. Аналогично и цена на никель, пройдя максимум в 24 доллара за фунт в 2007 году вернулась на уровень 8-10 долларов в 2010 году. Цена на хром, пройдя в 1-м полугодии 2008 года максимум в 6,3 доллара за фунт, уже к ноябрю упала до 2 долларов и с этого времени остается стабильной на уровне 2-3 доллара за фунт. Таким образом, эти металлы весьма привлекательны для использования при легировании порошковых сталей.

Значимую долю, помимо интегральной стоимости компонентов шихты, в себестоимости продукции порошковой металлургии составляет электроэнергия. Она расходуется не только при работе печей спекания (нагрев и перемещение прессовок, вывод на рабочий режим и охлаждение печей без прессовок), но и газоприготовительного оборудования, прессов, смесителей и т.п. Поэтому роль тарифов на промышленную электроэнергию, ее рациональное эффективное использование – важный фактор конкурентоспособности производителей порошковой металлургии в разных странах не только друг с другом, но и с традиционными металлообрабатывающими производствами.

В таблице 2 по данным интернет-источников [12, 13] представлены средние по странам тариф на электроэнергию для промышленных предприятий. Как видно из табл.2, среди стран СНГ

наиболее высокие тарифы в Беларуси – в 3 раза выше, чем в России, на Украине и в Казахстане, выше, даже чем в США, Корее, Франции, Швейцарии и Польше, что не может создавать равные условия производителям порошковых изделий в них. В последние годы наблюдался рост тарифов на электроэнергию практически во всех странах мира, что во многом связано с ростом цен на энергоносители, используемые в производстве электроэнергии (за исключением гидроэлектростанций и, отчасти, АЭС).

Таблица 2

Тарифы на промышленную электроэнергию в промышленно развитых странах (в долл. США за 1 кВт·ч) [12, 13]

Страна	2009	2010
Украина	0,030	0,031
Россия	0,036	0,037
Казахстан	0,024	0,033
Беларусь	0,094	0,094
Польша	0,073	0,082
Австрия	0,109	0,134
Испания	0,091	0,091
Франция	0,051	0,056
Швейцария	0,080	0,084
Великобритания	0,117	0,117
Корея	0,065	0,069
Япония	0,117	0,117
США	0,062	0,064
Германия	0,122	0,134
Италия	0,137	0,158

Главной проблемой производства стальных деталей методами порошковой металлургии, помимо роста тарифов на электроэнергию, является рост цен на лом и руду, на легирующие компоненты, неминуемо ведущие к подорожанию порошкового сырья, при одновременном замораживании цен на продукцию традиционной металлургии за счет переноса ее основного производства в страны Юго-Восточной Азии, Индию, Китай. Тем самым, резко снижается экономическая эффективность и ресурсосберегающий эффект перевода технологии изготовления продукции на методы порошковой металлургии по сравнению с традиционными машиностроительными формообразующими технологиями – заготовительными (литьем, обработкой давлением) и финишными (всеми видами механической обработки). В первую очередь эта проблема касается конструкционных деталей, для которых чрезвычайно важно получить за минимум технологических переходов точную форму с требуемым уровнем механиче-

ских свойств – как в объеме, так и в зонах наибольшего нагружения, возможного износа.

Вторая, не менее значимая проблема – связана с рынком, с потребителем. Основной рынок порошковой металлургии железа и стали – Северная Америка. На этом рынке не менее 75 % порошковых деталей востребованы в автомобильной промышленности. В 2005 году в легковом американском автомобиле в среднем было 17,4 кг порошковых деталей, в том числе в двигателе – 9,8 кг, в трансмиссии – 5,1 кг, в тормозных системах – 1,1 кг (Hans Soderhjelm, Högånäs AB). Проведенный специалистами фирмы Högånäs AB анализ показал, что потенциал использования данной продукции в автомобиле может составить 38,5 кг, в том числе в двигателе – 16,0 кг, в трансмиссии – 16,4 кг, в тормозных системах – 3,0 кг. Таким образом, суммарный прирост потребления порошковых изделий в автомобиле может быть выражен цифрой в 21,1 кг. При этом основной резерв – детали трансмиссии, в первую очередь, зубчатые передачи. Однако в них необходимо обеспечивать соответствующий уровень механических и иных свойств изделий, сопоставимый с уровнем свойств изделий, полученных мехобработкой проката и поковок, приемлемые технико-экономические производственные показатели.

По нашему мнению, далеко не в полной мере используется потенциал возможностей получения методами порошковой металлургии композиционных материалов – триботехнических, электротехнических, биоактивных и иных. Он является важным резервом роста объемов мирового производства порошковой металлургии в целом.

Экономические и ресурсные проблемы порошковой металлургии в Беларуси. Республика Беларусь, являясь импортером сырьевых ресурсов и экспортером значимой доли готовой продукции, неизбежно испытывает на всех своих производствах, включая производство изделий порошковой металлургии, все вышеуказанные ценовые и тарифные колебания. На рисунке 8 представлены изменения за 2008-2010 цен в Беларуси на основные порошки. Цены приведены в тысячах белорусских рублей за тонну с НДС, таможенными и транспортными расходами.

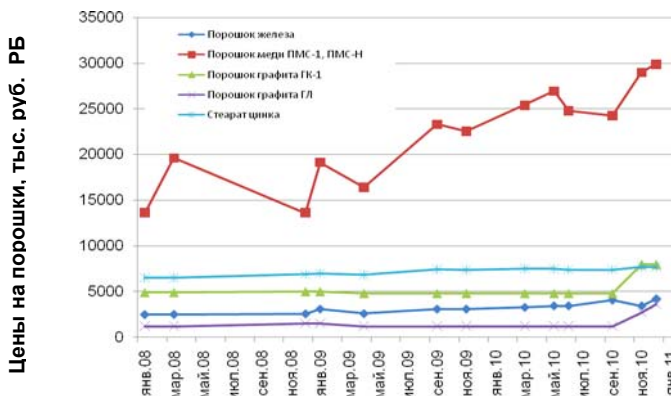


Рис.8. Изменение цен (в тыс. руб. РБ за 1 т) в Беларуси на основные порошки, используемые в производстве порошковых изделий

Для перевода данных цен в другие валюты можно воспользоваться данными сайта www.finance.tut.by/arithv/. Как видно из рис.8, только на медный порошок с апреля 2009 по декабрь 2010 года цена выросла в 2 раза. Более чем на треть выросла за 2010 год цена на распыленный водой порошок железа марки ПЖР3.228, приобретаемый, в основном, на КЗПМ (Бровары, Украина) и практически приблизилась к основным зарубежным аналогам – порошкам марки АНС100.29 фирмы Hoeganaes (Швеция). С сентября по декабрь 2010 года практически в 2 раза выросла цена графита марки ГК-1.

Увеличились в Беларуси за 3 года более чем в 2 раза тарифы на электроэнергию (рис.9).

Таким образом, рост себестоимости порошковой продукции в Беларуси за счет роста тарифов на электроэнергию, роста цены основных и вспомогательных компонентов порошковой шихты неминуемо ведет к падению конкурентоспособности без принятия производителями радикальных мер по энергосбережению, снижению расхода дорогостоящих компонентов шихты без снижения эксплуатационных характеристик конечной продукции, что является важной научной и практической задачей.

В этих сложных условиях в Беларуси в 2007 году был достигнут максимум производства продукции порошковой металлургии всеми производителями как в натуральном, так и в стоимостном выражении, а в 2009 году - минимум (рис.10).

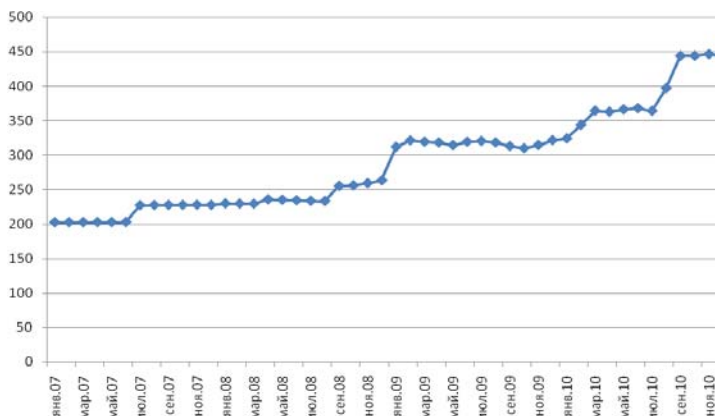


Рис.9. Изменение тарифов на промышленную электроэнергию (в руб. РБ за 1 кВт/ч) по данным ГНУ ИПМ ГНПО ПМ НАНБ

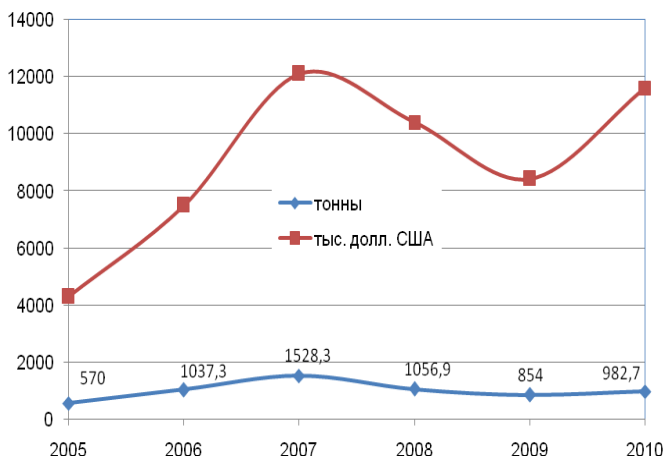


Рис.10. Изменение объемов выпуска продукции порошковой металлургии в Беларуси

В 2010 году в Беларуси возобновился рост объемов выпуска порошковой продукции в натуральном и, особенно, в стоимостном выражении, что связано не столько с подъемом цен на данную продукцию, сколько с изменением структуры выпуска в сторону более сложной продукции с повышенным комплексом физико-механических свойств.

Повышение свойств и эксплуатационных характеристик порошковых материалов на основе железа. На рисунке 11 [10] приведен график, иллюстрирующий, как изменялась прочность порошковых деталей на основе железа по мере развития прикладных исследований в области порошковой металлургии. Как хорошо видно из рис.11, к началу XXI века механические свойства порошковых сталей достигли уровня свойств стального проката, что открывает перспективы к замене в массовом производстве деталей, полученных механической обработкой сортового проката, отливок, поковок на детали (или, по меньшей мере, заготовки высокой степени готовности), полученные современными методами порошковой металлургии из новых материалов.

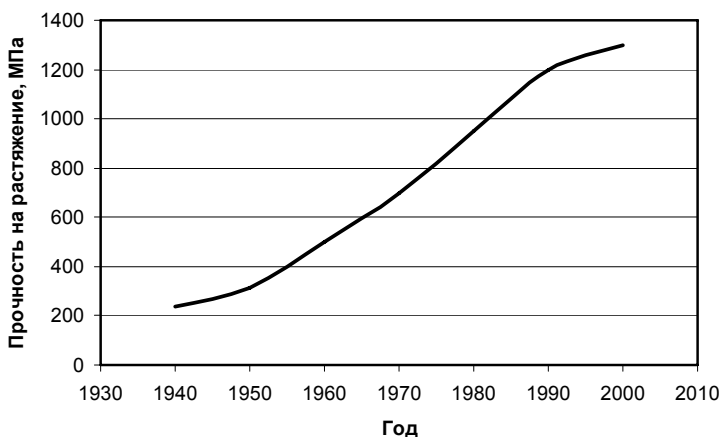


Рис. 11. Изменение прочности деталей на основе порошка железа, получаемых однократным прессованием и спеканием [10]

Среди традиционных технологий, позволяющих повысить физико-механические свойства порошковых деталей, следует выделить [10, 11, 14-19]: доуплотнение спеченных заготовок; холодная и горячая штамповка спеченных заготовок; инфильтрация пористых прессовок расплавами легкоплавких металлов. В последнее время появились новые технологии, обеспечивающие одновременно как повышение сложности формы порошковой детали, так и ее физико-механических свойств – теплоструйное прессование пластифицированных порошков, инжекционное формование, которое, как правило, используется при формовании небольших тонкостенных деталей [10, 18, 19].

Важным технологическим приемом повышения плотности и прочности порошковых деталей на основе железа является рациональное легирование шихты [1, 2, 8-10], совершенствование смазок и пластификаторов в ее составе. Только за счет изменения состава и количества легирующих компонентов, способа их введения (механическая смесь или диффузионное связывание), применения эффективных смазок при их уменьшенном содержании в смеси и т.п. фирме Högabäs AB (Швеция) удалось за 25 лет существенно повысить плотность, а, следовательно, и прочность деталей из таких смесей (легированных порошков), не изменяя радикально технологию их изготовления.

Разработки в области порошковых материалов на основе железа в последние годы велись в двух направлениях: улучшение прессуемости материалов и совершенствование технологий легирования [1, 2, 8-10]. На первом этапе использование при прессовании порошков губчатого железа в неотожженном состоянии позволяло получить плотность спеченных деталей не выше $6,0 \text{ г/см}^3$. Улучшение прессуемости этих порошков методами сепарации и отжига позволило получить плотность $6,9 \text{ г/см}^3$. Первые распыленные порошки железа имели прессуемость на уровне губчатых. Дальнейшие разработки в области технологий получения распыленных порошков, повышение их чистоты и прессуемости, привели к увеличению их доли в общем потреблении порошков железа до 70%, на долю восстановленных - осталось 30%. Применение эффективных смазок типа Kenolube и теплого прессования позволяет получить плотность спеченных изделий на уровне $7,2-7,4 \text{ г/см}^3$. Дальнейшее повышение плотности в процессе однократного прессования-спекания из-за большого количества вводимой в металл смазки возможно путем применения технологии смазки формообразующего инструмента. Работы в этом направлении проводятся ведущими мировыми производителями.

На первом этапе материалы для получения порошковых сталей представляли собой обычные смеси на основе порошка железа. При температурах спекания около 1150°C и введения добавок меди до 2% повышалась размерная точность. Введение в смеси никеля и повышение температуры спекания до 1300°C позволяет повысить прочность спеченных материалов. Дальнейшие разработки в области легирования привели к созданию в середине 70-х годов диффузионно-легированных (или частично легированных) порошков [9, 10, 19]. Технология их получения

использует невысокие температуры диффузионного процесса для закрепления легирующих добавок (в основном никеля, молибдена и меди) на частицах железа. В сочетании с точной воспроизводимостью химического состава в больших объемах шихты технология обеспечивает и высокую уплотняемость этих порошков. Однако такие добавки как графит и пластификатор не могут быть присоединены к частицам железа диффузионным методом, в технологическом процессе при заполнении матрицы порошком или при транспортировке они могут сегрегировать и пылить. Проблема устранения этого недостатка была решена созданием связанных смесей, готовых для прессования (bonded pre-mix), в которых эти добавки закрепляются на частицах железа специально вводимым в шихту связующим компонентом. Однако это повышает общее содержание вводимой смазки (отдельно смазка для прессования и связующее для закрепления легких компонентов), что мешает достигать теоретическую плотность при прессовании. Следующее поколение готовых для прессования смесей, в которых органические добавки выполняют обе функции одновременно без заметного увеличения их содержания в смеси, не имеет данного недостатка. Расширяющийся объем производства готовых для прессования связанных смесей на основе железа стал серьезным конкурентом для диффузионно-легированных порошков на всех мировых рынках. Методом распыления можно получать полностью легированные порошки на основе железа, но их прессуемость несколько хуже. Поэтому они используются, в основном, для последующей горячей штамповки порошковых заготовок (исключение составляют порошковые седла клапанов, получаемые методом однократного прессования-спекания).

Новые марки порошков легированных сталей и пластификаторов. Производители сырья и готовой продукции порошковой металлургии на протяжении последних 40-50 лет работали как над созданием новых марок порошков, составов готовых смесей, так и над разработкой эффективных методов их консолидации для достижения высоких технико-экономических показателей изделий и технологий их получения, что позволило им уже к рубежу XX – XXI веков достигнуть для изделий общемашиностроительного назначения уровня свойств конструкционных сталей – предел прочности при растяжении – 1200-1400 МПа [8]. Однако до середины 90-х годов XX века достигалось это, все-таки, в основном за счет серьезного усложнения и удорожания

технологии - значительного количества переходов (двукратного прессования и спекания, горячей штамповки, многостадийной ХТО обработки спеченных прессовок и т.п.). В то же время фирма Högabäs AB совершенствовала составы готовых смесей, содержащих все необходимые компоненты, включая смазки, что позволило достигать за счет однократного прессования и спекания все более высоких технико-экономических показателей производства порошковых изделий.

Важным этапом порошковой металлургии в середине 90-х годов XX века стала совместная разработка фирмами Högabäs AB и DORST (Германия) пластифицированной смеси и специального прессового оборудования с подогреваемыми бункером, питателем, матрицей и пуансонами для теплого (140-160 °С) прессования, внедрение, пусть и не такое широкое, как ожидалось, этого процесса в производство в разных странах мира, в том числе и в Беларуси [1, 2, 4-9, 18].

Сущность процесса теплого прессования состоит в использовании в готовой смеси запатентованных пластификаторов, легко удаляемых либо растворяемых в металле в процессе спекания, которые одновременно служат жидкой смазкой, уменьшающей трение между частицами порошка друг с другом и со стенками пресс-формы. Данный процесс позволяет выровнять плотность образцов сложной формы по объему, повысить прочность сырой прессовки и спеченной детали по сравнению с традиционной технологией. Использование процесса теплого прессования позволяет достичь на стадии формования изделий из легированных порошков значений плотности спеченных образцов 7,4-7,6 г/см³ и сырой прочности прессовок в 2 раза превышающую прочность прессовок, полученных по традиционной технологии (однократное прессование порошка при комнатных температурах и спекание обеспечивает плотность максимум 7,0-7,2 г/см³). По такой технологии изготавливаются рядом производителей конструкционные детали высокой сложности и прочности для легковых и грузовых автомобилей, в т.ч. кольца синхронизатора коробки передач, шестерни, шатуны, корпуса коренных подшипников коленвалов, шкивы ременных передач двигателей внутреннего сгорания, детали масляных и водяных насосов и т.д.

Видя, что, не смотря на ощутимый прирост свойств прессовок и спеченных изделий, полученных по технологии теплого прессования, она не заняла ожидаемого места на рынке, фирма Högabäs AB разработала вариант технологии, которую условно можно назвать «квазитеплым прессованием». В этом случае в

составе смеси используются другие пластификаторы, например Kenolub, температура прессования составляет уже в 2 раза ниже – около 60 °С, причем в этом случае подогревается лишь матрица. Бункер с шихтой и питатель остаются при температуре производственного помещения, а пуансоны – разогреваются от матрицы и порошковой шихты в процессе прессования. Фирмой Högabäs AB разработана новая марка не содержащего цинк пластификатора X-Lube E, который, при нагреве только матрицы до температуры 60 °С обеспечивает плотность деталей после однократного прессования и спекания не ниже 7,3 г/см³. Отсутствие цинка обеспечивает повышение ресурса работы печей и качества спекания. Новый пластификатор, особенно в случае подогрева матрицы, способен не только обеспечить сырую плотность прессовки при давлении прессования 700 МПа на уровне 7,2 г/см³ но и снизить давление выпрессовки на 20-25%. Таким образом, новые смеси Premix с пластификатором X-Lube E имеют такие же технологические свойства, как и с другими пластификаторами, при этом не содержат цинк, обеспечивают повышенную плотность и прочность прессовок, готовых деталей, меньшее давление выпрессовки.

Экономно-легированные порошки хромистых сталей. Выше было показано, что в настоящее время наиболее низкие цены – на хромсодержащее сырье, используемое для легирования сталей, что обуславливает перспективы легирования порошков сталей хромом взамен традиционных марок порошков сталей, легированных медью, никелем, молибденом типа Distaloy SA, AB, SE, AE, DC, DH, HP, Astaloy Mo [20]. Так фирмой Högabäs AB разработаны две новых марки таких порошков - Astaloy CrL (1,5% Cr; 0,2% Mo) и Astaloy CrM (3,0% Cr; 0,5% Mo). Главной технической проблемой и особенностью технологии изготовления изделий из этих порошков является состав атмосферы спекания – азото-водородная смесь (предпочтительно с соотношением 90/10) и низкая точка росы (не выше -26 °С при температуре спекания 1120 °С и не выше -15 °С при температуре спекания 1250 °С). Если печь имеет зону закалки, то оптимальное сочетание прочности и пластичности для прессовок из порошков Astaloy CrL и Astaloy CrM достигается при скорости охлаждения 0,5-2,0 °С/с. Использование процесса закалки, совмещенное в большинстве современных печей с процессом спекания, позволяет избежать необходимости повторного нагрева деталей под закалку, сократив не только энергозатраты, но и про-

должительность цикла изготовления в целом. Порошки Astaloy CrL и Astaloy CrM - относительно дешевые материалы для получения высокопрочных конструкционных деталей.

Новые экономно-легированные порошки сталей марок Distaloy/Astaloy LH. Не смотря на достоинства экономно-легированных порошков Astaloy CrL и Astaloy CrM, высокий уровень механических свойств получаемых из них деталей, данные материалы требуют высокой технологической дисциплины, обеспечения довольно низкой точки росы в процессе спекания и совмещения последнего с закалкой. Не все потребители могут удовлетворить указанные требования, что сдерживает применение этих двух материалов.

По указанным причинам фирмой Höganäs AB разработаны другие марки экономно-легированных порошков - Distaloy/Astaloy LH, для спекания прессовок из которых не требуется низкая точка росы, а сама атмосфера может быть любой – азото-водородная смесь, эндогаз, диссоциированный аммиак. Еще одним достоинством этих двух марок порошков является их хорошая прессуемость и высокая прочность сырой прессовки из них - выше, чем у прессовок из других низколегированных порошков. В табл.3 представлен химический состав порошков.

Таблица 3

Химический состав порошков экономно-легированных сталей Distaloy/Astaloy LH

	Ni*	Mo*	Cu	Mn*
Distaloy LH	0.9	0.9	2.0**	0.2
Astaloy LH	0.9	0.9	***	0.2

* Pre-alloyed ** Diffusion alloyed ***Copper powder is added to mix

На свойства спеченных образцов существенное влияние оказывает содержание дополнительных компонентов, вводимых в шихту – меди и углерода. Не меньшее влияние оказывает и скорость охлаждения (в случае использования совмещенной технологии спекания-закалки). Таким образом, порошки сталей Distaloy/Astaloy LH являются хорошим дополнением и, в ряде случаев, альтернативой порошкам Astaloy CrL и Astaloy CrM.

Порошковая сталь марки Hiraloy для производства высокопрочных деталей. Фирмой Höganäs AB разработан гомогенно легированный распыленный порошок марки Hiraloy соста-

ва Fe_{1,5}Cr_{0,2}Mo, на который затем наносят по всей поверхности частиц (плакируют) органический пластификатор, содержание которого – ниже, чем в традиционных смесях для прессования. Это позволяет уменьшить пористость после спекания. Порошок поставляется в виде готовой смеси с графитом и, при необходимости, с легирующими компонентами. Особенностью смесей на основе порошка марки Hiralou является довольно высокое давление прессования (850-1000 МПа) и повышенная температура спекания – выше 1250 °С. К достоинствам данных смесей можно отнести хорошую прессуемость, высокую прочность сырой прессовки. Благодаря плакированию отдельных частиц пластификатором по всей их поверхности обеспечена хорошая коррозионная стойкость, связанность графита, беспыльность процесса прессования.

После термообработки свойства спеченных образцов из смесей на основе порошка марки Hiralou приближаются к свойствам лучших марок легированных конструкционных сталей.

Новые технологии получения изделий и заготовок из порошков железа и сталей. Перспективным технологическим направлением в производстве массовых изделий машиностроения методами порошковой металлургии продолжает оставаться усложнение геометрии получаемых изделий. При традиционном прессовании существуют ограничения в формовании всего двух-трех размеров в сечении матрицы. Имеются технические ограничения и в третьем измерении вдоль оси прессования. Исследования и разработки в области усложнения конструкции прессового оборудования, использования ЧПУ для управления 6-8 независимыми движениями формирующих элементов пресс-инструмента, позволили сделать возможным получение многоуровневых порошковых изделий, однако формы и геометрия изделий все еще существенно ограничены.

Одно из перспективных направлений - процессы прессования относительно несложных по геометрии порошковых заготовок с последующей их сборкой в сложное многоуровневое изделие в сыром состоянии с изменением общих геометрических размеров и соединении элементов такой сборки друг с другом диффузионной сваркой, совмещенной со спеканием. Суть этого процесса в том, что при нагреве до температуры спекания двух порошковых деталей из порошка железа с различием в содержании углерода в них в пределах 0,1-0,3% происходят интенсивные диффузионные процессы, приводящие к соединению двух отдельных деталей в блок, напри-

мер, блок шестерен, корпус планетарного редуктора и т.п. [21]. Данный процесс иллюстрирует рис.12.

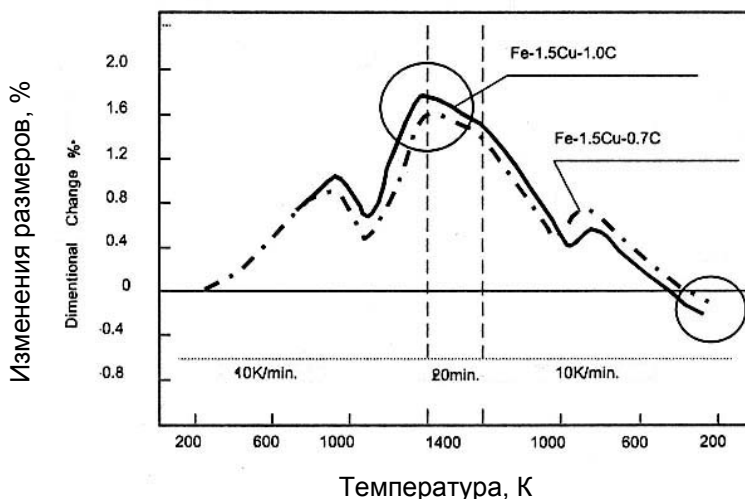


Рис.12. Изменение размеров порошковых деталей с разным содержанием углерода в процессе их диффузионного соединения в цикле «нагрев – спекание – охлаждение» [21]

Следует отметить вклад ученых Института порошковой металлургии в разработку технологий получения заготовок сборочных единиц аксиально-поршневых насосов [22-24], состоящих из стальных корпусов с отверстиями, в которых спрессованные из порошка железа с добавками пористые заготовки – втулки при спекании в проходной печи инфильтрируются расплавом медного сплава. При этом одновременно осуществляется пайка композиционных порошковых антифрикционных втулок со стальным корпусом. Таким же методом наносят порошковый антифрикционный слой на торцовую распределительную поверхность стальных корпусов насосов (рис.13). Цилиндры затем растачиваются в чистовой размер, а торцовая поверхность обрабатывается по сфере, обеспечивая длительное герметичное прилегание сопрягаемой детали - распределителя.



Рис.13. Порошковый композиционный антифрикционный материал и технология его нанесения на рабочие поверхности (торцовая распределительная и поверхности цилиндров) блока аксиально-поршневых насосов и гидромоторов серии «А»

Данную технологию использует и фирма «Новомет» (Пермь, Россия), получая из 3-х прессованных пористых порошковых стальных компонентов инфильтрацией-спеканием заготовки ступеней погружных нефтяных насосов [25, 26]. Эти заготовки затем подвергают механической обработке на станках с ЧПУ и обеспечивают размерную точность.

В последнее время проявляется интерес к технологии пайки непористых порошковых компонентов порошковыми припоями [27]. Эта технология имеет особенность: для обеспечения качественной пайки необходим зазор между соединяемыми деталями для растекания припоя и применение флюсов для смачивания (рис.14).

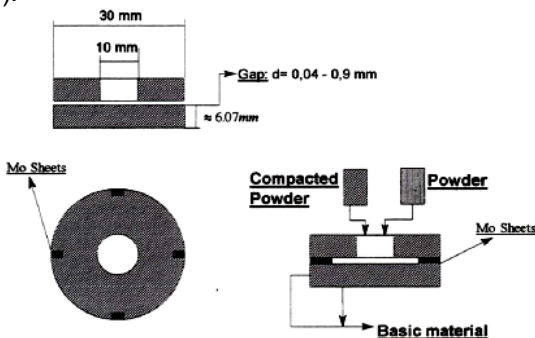


Рис.14. Схема эксперимента по изучению капиллярной пайки-спекания порошковых деталей из углеродистых сталей [27]

В работе [27] было экспериментально установлено, что оптимальный зазор между соединяемыми деталями должен быть около 0,12 мм, в качестве припоя следует применять прессованную смесь порошков железа с углеродом при содержании последнего не менее 10 масс.%. При этом наилучшее качество пайки (спекания) достигается в вакууме.

Следует также напомнить, что ученым Беларуси (В.М.Горохов с сотр.) еще на рубеже XX и XXI веков была разработана эффективная технология печной пайки порошковым припоем рабочих колес гидротрансформаторов АКП дорожных машин из штампованных листовых стальных заготовок [28] – рис.15. Этот метод включает [28]: сборку рабочих колес гидротрансформаторов из штампованных заготовок; обезжиривание и очистку мест пайки; приготовление пасты из смеси порошков железа с размером частиц 80-160 мкм и глицерина; помещение пасты в зазор паяемого стыка между тором и лопастями; приготовление шихты из пропитывающего материала (матрицы) путем смешивания порошков Cu, Fe, Sn, Ni, Al, C и стеарата цинка; прессование из этой шихты прессовок припоя и их размещение в 3-х точках лопасти. Пайку рабочих колес ведут в проходной конвейерной ленточной печи марки СКЗ с защитной восстановительной атмосферой из эндотермического газа.



Рис. 15. Рабочее колесо гидротрансформаторов дорожных машин, полученное методом печной пайки с применением порошковых композиционных припоев

Ученые Института порошковой металлургии в последние годы вели разработки новых технологических режимов пластификации порошковых заготовок с целью получения холодной калибровкой стальных конструкционных изделий с плотностью $7,5 - 7,65 \text{ г/см}^3$ за счет использования специальных режимов предварительной термовременной обработки (ПТВО) - отжига в температурной области аномальной диффузионной подвижности атомов железа ограниченной точкой $A_{c1} \alpha \rightarrow \gamma$ превращения [29]. В результате такой обработки в очагах взаимодействия формируется решетка совпадения, пластическая деформация в которой осуществляется движением особого рода супердислокаций, что приводит к проскальзыванию по межчастичным контактам при механическом воздействии на заготовку. Микроскопически это проявляется в виде смещения рисок на боковых полированных поверхностях деформированных образцов, а макроскопически - через резкое увеличение пластичности и уменьшение сопротивления деформации. Этот способ обеспечивает плотность $7,42-7,57 \text{ г/см}^3$.

В таблице 4 приведены экспериментальные данные, убедительно доказывающие влияние ПТВО на повышение плотности образцов из различных марок порошковых сталей.

Таблица 4

Сравнение плотности и твердости образцов порошковых сталей, изготовленных прессованием и спеканием и с использованием ПТВО [29]

Материал	Плотность после прессования, ρ , г/см ³	Твердость после ПТВО, НВ	Плотность после спекания и деформирования, ρ , г/см ³	Твердость после спекания, НВ
Distaloy AE	7,06	—	7,23	185 – 200
Distaloy AE		72 – 76	7,5	218 – 237
Astaloy 85 Mo	7,05	—	7,2	112 – 116
Astaloy 85 Mo		74 – 78	7,52	160 – 168
Astaloy 85 Mo + ПКН2М	6,9	—	7,18	176 – 180
Astaloy 85 Mo + ПКН2М		74 – 80	7,48	185 – 206
Distaloy DC – 1	7,01	—	7,2	200 – 218
Distaloy DC – 1		74 – 78	7,56	237 – 248

Переживает второе рождение **технология горячего изостатического прессования (ГИП)**, разработанная фирмой ASEA (Швеция) еще в 70-е годы XX века. Технология ГИП изначально использовалась для получения высокоплотных и высокопрочных за-

готовок и готовых изделий крупных размеров и сложной формы типа рабочих колес газотурбинных двигателей из сферических порошков титановых и жаропрочных сплавов, обтекателей головных частей летательных аппаратов из керамики и т.п. Это аэрокосмическое направление применения технологии ГИП сохранило свое значение и в России (ОАО «ВИПС», ОАО «Композит» и др.) и в развитых странах Западной Европы, США (Bodycote plc, Avure Technologies Inc., Dieffenbacher GmbH + Co. KG и др.).

Но в настоящее время, по данным профессора Olle Grander (PM Technology AB/Royal Institute of Technology, Stockholm, Sweden), главными продуктами технологии ГИП стали два: быстрорежущие и инструментальные порошковые стали, а также порошковые коррозионно-стойкие стали в том числе - безникелевые, с повышенным содержанием азота. В таблице 5 представлены данные и прогноз по мировому производству методом ГИП этих двух продуктов.

Таблица 5

**Объемы мирового производства методами ГИП
порошковых сталей (т)**

Вид материала	1990	2008	2013
Быстрорежущие и инструментальные стали	4000	18000	25000
Коррозионно-стойкие стали	1000	5000	10000

Фирме Uddeholm Tooling AB (Sweden) удалось освоить промышленное производство методом ГИП азотистой инструментальной стали марки VANCRON 40 (C1,1%; N1,8%; Cr4,5%; Mo3,2%; W3,7%; V8,5%) в которой за счет введения азота достигнуто суммарное содержание карбонитридной фазы до 20%, а микротвердость – 2800 Hv по сравнению с содержанием карбидной фазы в традиционной безазотистой стали всего 4% и микротвердости 1500 Hv.

Фирма Sandvik Powdermet AB (Sweden) технологиями ГИП производит в промышленных масштабах из порошков нержавеющей стали секции химических реакторов массой до 10 т и длиной до 12 м (рис.16, а), а фирма Outokumpu Tornio (Finland) - прокатные валки массой 351 кг и длиной 2,85 м из инструментальной стали с твердостью 63 HRC (рис.16, б).



Рис.16. Промышленные продукты технологии ГИП: а - секции химических реакторов из порошков коррозионно-стойкой стали; б – прокатные валки из порошков инструментальной стали

Растущий во всем мире интерес к сталям с повышенным содержанием азота, в ряде случаев замещающим или дополняющим при меньшем содержании традиционные легирующие элементы – в первую очередь – углерод и никель, привел к разработке оригинальных технологий их получения методами порошковой металлургии. Одна из них - промышленное производство методом ГИП азотистой инструментальной стали марки VANCRON 40, представлена выше в данном разделе.

В работе [30] использован оригинальный подход для получения азотистых безникелевых коррозионно-стойких сталей – распыление расплава для исходных порошков азотом под давлением 4 МПа, спекание в атмосфере, содержащей до 90% азота и доуплотнение методом ГИП. Достигнуты довольно высокие механические свойства при содержании азота 0,35-0,60 масс.% – предел прочности при растяжении не менее 500 МПа и удлинение 40-50%, а, самое главное – повышенная по сравнению со сталью 316L коррозионная стойкость. При этом, не смотря на сложность и многостадийность процесса, себестоимость продукта ниже, чем традиционных азотистых сталей, получаемых длительным переплавом в атмосфере азота [31].

В работе [32] для насыщения спеченного продукта азотом использовали подшихтовку нитридами хрома, марганца и кремния. В результате исследований установлено, что азотом в порошковых сталях можно успешно замещать углерод не только без снижения механических характеристик, но и в ряде случаев их повышать, используя дополнительно процессы ХТО. Микроструктура порошковых сталей системы Fe-C представляет собой смесь мартенсита и бейнита, а системы Fe-N – мартенсита и феррита. По сравнению с порошковыми сталями системы Fe-C,

стали системы Fe-N имеют повышенную ударную прочность, но меньшую твердость.

Представляет интерес диаграмма Olle Grinder, сопоставляющая экономически целесообразные и технологически достижимые массу и количество производимых в год различными методами порошковой металлургии деталей (рис.17) в 1990 и в 2009 годах.

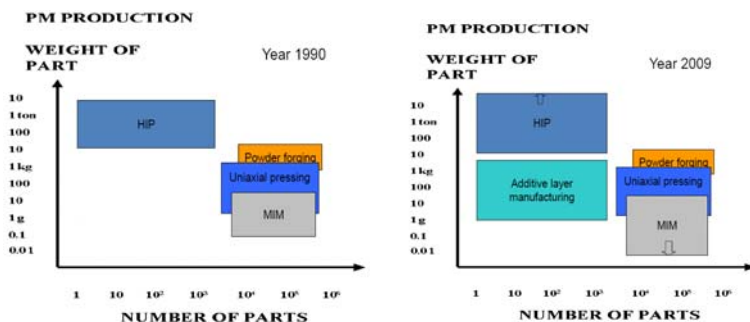


Рис.17. Экономически целесообразные и технологически достижимые масса и количество производимых в год различными методами порошковой металлургии деталей по Olle Grinder

Из рис.17 видно, что если для таких технологий, как осевое прессование и горячая штамповка (ковка) порошковых заготовок за 20 лет практически ничего не изменилось, то для технологии ГИП масса готовых изделий уже превышает 10 т, а для технологии МИМ (Metal injection molding) – уменьшилась до 10 г и менее. Кроме того, за последние 20 лет появилась новая группа порошковых технологий – послойного производства, к которым следует отнести в первую очередь селективное лазерное спекание, лазерной или электронно-лучевой плавки, струйное формование и др.

Следует отметить, что единственным сектором рынка порошковой металлургии, имевшем устойчивый рост в последние годы, не смотря на кризис, был инжекционное формование металлических порошков – МИМ. За последние 6 лет объем продаж изделий, получаемых методами МИМ, вырос более чем в 2 раза. На рис.18, по данным фирмы Sandvik Osprey, представлена структура европейского рынка МИМ, из которой видно, что детали из коррозионно-стойкой стали составляют половину объемов продаж, еще 25% - детали из низколегированных сталей.

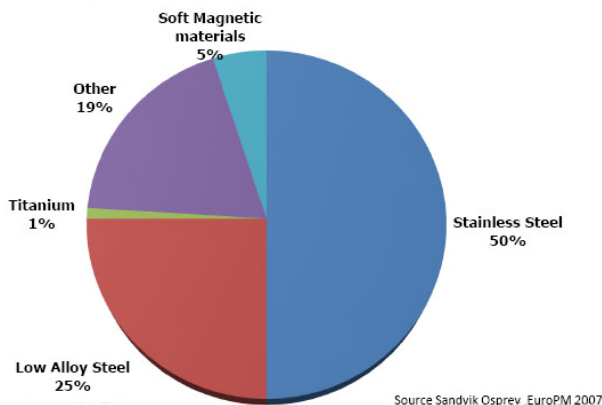


Рис.18. Структура рынка порошковой металлургии в секторе MIM в Европе

На рис.19 приведены примеры деталей различного назначения, полученных российскими и европейскими фирмами методами MIM. Среди них (слева направо) – радиатор системы охлаждения микроэлектроники, рабочее колесо турбоагнетателя ДВС, детали стрелкового оружия, шестерни механических исполнительных приводов.



Рис.19. Примеры деталей различного назначения, полученных российскими и европейскими фирмами методами MIM

Фирмой ООО «Синтез - Порошковые детали» (www.sintez-pt.com) - промышленным производителем деталей методом MIM из порошковых смесей собственного производства, проведено сравнение технологий MIM и традиционных технологий, включая традиционную порошковую металлургию – прессование в форме и спекание. Показано, что при объемах производства деталей средней и высокой сложности формы от 6-7 тыс. в год до 100 тыс. и более, технология MIM наиболее оптимальна. Представляют интерес приведенные в таблице 6 сравнительные характеристики деталей, полученных по четырем технологиям.

Таблица 6

**Сравнительные характеристики деталей, полученных
разными методами**

Характеристика	Механическая обработка	Порошковая металлургия	Литье	MIM
Вес (г)	1 - 10000	5 – 2500	1 – 1000	0,01 - 200
Мин. допуск размеров (%)	< 0,1	0,1	0,5 – 1,0	0,3 – 0,5
Плотность (%)	100	92-96	99	96 - 100
Прочность (%)	100	70	> 95	> 96
Толщина стенки (мм)	1 - 100	2 – 20	2 – 20	0,5 - 10
Шероховатость поверхности R_a (мкм)	0,2 - 4	2 – 5	5	1 - 2

Как видно из таблицы 6, важным преимуществом технологии MIM, недоступной иным процессам, является возможность получения изделий сложной формы с толщиной стенки от 0,5 мм. Еще одно преимущество MIM – хорошая шероховатость поверхности, не требующая дополнительной чистовой обработки в большинстве случаев применения. Однако достоинств не бывает без недостатков. Есть он и у технологии MIM: из-за высокого содержания полимера в премиксе усадка в процессе спекания доходит до 26% на сторону, что ведет к некоторому снижению точности размеров в готовом изделии. Большую усадку необходимо также учитывать при проектировании оснастки. Тем не менее, согласно таблице 6, размерная точность MIM-деталей, хотя и ниже, чем полученных мехобработкой, литьем или порошковой металлургией, но в ряде случаев достаточна для последующей сборки с другими деталями.

Следует отметить, что технология инжекционного формования осваивается и в Беларуси – в ГНУ ИПМ приобретена и введена в эксплуатацию универсальная машина ALLROUNDER 170 U 150 - 70 инжекционного формования пластифицированных смесей порошков керамики, металлов и сплавов (рис.20), на которой изготовлена из смеси на основе Al_2O_3 опытная партия деталей золотниковой пары системы пневмопривода тормозов автомобилей (рис.21). После ввода в эксплуатацию в 2011 году специализированной установки для каталитического выжигания полимерной связи планируется освоение опытно-промышленного производства этих и иных изделий методами СИМ и МИМ.



Рис.20. Универсальная машина ALLROUNDER 170 U 150 - 70 инъекционного формования пластифицированных смесей порошков керамики, металлов и сплавов



Рис.21. Детали золотниковой пары системы пневмопривода тормозов автомобилей, полученные методом СИМ из смеси на основе Al_2O_3

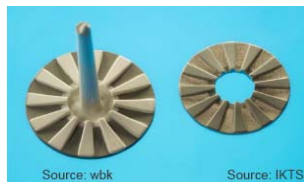
Исследования и разработки в области технологий МИМ за последние два года демонстрируют ряд новых интересных результатов. Среди них – микрозажимы сосудов из коррозионно-стойкой стали 316L (рис.22, а) и составные детали компонентов микроэлектроники из стали 316L и меди (рис.22, б), составные сэндвич-детали из комбинации стали с керамикой на основе ZrO_2 (рис.22, в).



а



б



в

Рис. 22. Новые разработки в области МИМ: а - микрозажимы сосудов из коррозионно-стойкой стали 316L; б - составные детали компонентов микроэлектроники из стали 316L и меди; сэндвич-детали из комбинации стали с керамикой на основе ZrO_2

В завершении данного раздела следует упомянуть о том, что для получения готовых изделий высокой точности размеров и повышенной сложности формы все более широко используют финишную механическую обработки спеченных порошковых заготовок. По данным фирмы Höganäs AB ~60% порошковых деталей подвергают механической обработке, причем она составляет ~20% общей стоимости готовой детали. Это привело к созданию порошковых смесей с улучшенной обрабатываемостью [33]. В качестве добавок, повышающих не только качество обработанной поверхно-

сти, но и (в 5-10 раз!) стойкость режущего инструмента рекомендуется вводить в шихту до 0,3 масс.% сульфида марганца MnS или до 0,15 масс.% разработанного фирмой Höganäs нового аддитива держащегося в секрете состава типа MnM.

Выводы:

Прогресс в порошковой металлургии, конкурентоспособность ее продукции в XXI веке связаны со следующими условиями:

1. Использование экономно-легированной шихты Distaloy/Astaloy LH, Astaloy CrL, Astaloy CrM и новых смесей на основе порошка марки Hipaloy, современных пластификаторов, не содержащих цинк и обеспечивающих при подогреве только матрицы всего до 60 °С плотность и прочность прессовки и готового изделия не хуже, чем при теплом прессовании, а также большую стойкость печного оборудования.

2. Применение для компактирования современных прессов с ЧПУ, высококачественного формующего инструмента, подогрева матрицы либо технологии теплого прессования.

3. Спекание прессовок предпочтительно проводить в азото-водородной защитной атмосфере с низкой точкой росы и ее жестким контролем, само спекание совмещать с закалкой охлаждением потока газа.

4. Для повышения стойкости оснастки, упрощения ее конструкции, снижения стоимости детали и процесса ее получения рационально использование механической доработки сырых или спеченных прессовок на автоматизированных станках (обрабатывающих центрах, линиях) с ЧПУ и с манипуляторами.

5. Для уплотнения и упрочнения поверхности спеченных изделий предпочтительно использовать струйно-абразивную обработку стальной или чугунной дробью. Остается конкурентоспособной также технология пароксидирования спеченных порошковых стальных деталей, обеспечивающая одновременно повышение коррозионной стойкости и износостойкости поверхности.

Литература:

1. Состояние и перспективы развития порошковой металлургии/ Е.А.Дорошкевич, А.Ф.Ильющенко, В.М.Горохов, В.В.Савич// Порошковая металлургия. - 1998. - Вып.21. - С.5-9.
2. Состояние и перспективы развития порошковой металлургии, технологий нанесения защитных покрытий в Республике Беларусь и за рубежом/ А.Ф.Ильющенко, Е.В.Звонарев, В.В.Савич// Материалы конференции «Актуальные проблемы производства и применения изделий порошковой металлургии и сверхтвердых материалов». – 20 сентября 2001. – Ростов-на-Дону, с. 14-30.

3. 8-я международная выставка «Порошковая металлургия». Некоторые итоги/ Дорошкевич Е.А., Ильющенко А.Ф., Савич В.В. // Порошковая металлургия. - 2001. - Вып.24. - С.5-8.
4. Состояние и перспективы развития порошковой металлургии в Республике Беларусь/ А.Ф.Ильющенко, Е.В.Звонарев, Г.П.Клецко, В.В.Савич// Порошковые и композиционные материалы, структура, свойства, технологии получения: Материалы Междунар. научн. - техн. конф., Новочеркасск, 16-20 сент. 2002 г. Юж. - Рос. гос. техн. ун-т. – Новочеркасск: ЮРГТУ, 2002, с.14-26.
5. Состояние и перспективы производства изделий с использованием технологий порошковой металлургии и нанесения защитных покрытий в Республике Беларусь/ А.Ф.Ильющенко, Г.С.Сыроежко, Е.В.Звонарев, В.В.Савич// Порошковая металлургия и защитные покрытия в машино- и приборостроении. Сборник докладов международного научно-технического семинара. Минск, 25.03.2003. С.5-21
6. Состояние и перспективы производства изделий с использованием технологий порошковой металлургии и нанесения защитных покрытий в республике Беларусь на пороге 75-летия Национальной академии наук Беларуси/ П.А. Витязь, В.К. Шелег, А.Ф.Ильющенко// Порошковая металлургия. - 2003. - Вып.26. - С.5-29.
7. Состояние исследований и производства изделий методами порошковой металлургии в Республике Беларусь/ А.Ф.Ильющенко, Г.С.Сыроежко, Е.В.Звонарев, В.В.Савич// Новые материалы и технологии: порошковая металлургия, композиционные материалы и защитные покрытия, сварка: 6-я междунар. науч.-техн. конф., Минск, 6-7 апреля 2004 г.: Материалы докладов. – Мн.: Тонпик, 2004. С.16-19.
8. Порошковая металлургия: современное состояние и перспективы/ Витязь П.А., Шелег В.К., Ильющенко А.Ф., Савич В.В.// Порошковая металлургия. 2004. - №27. – С.5-29.
9. Порошковая металлургия XXI века: Quo vadis? (по материалам семинара фирмы Höganäs AB, Санкт-Петербург, 14-16 мая 2008 г.)/ Савич В.В.// Порошковая металлургия. 2008. - №31. – С.304-313.
10. Wittaker D. Production of Structural PM Parts// International Powder Metallurgy Directory & Yearbook. 11th Edition - 2004/2005. – P.31-47.
11. Порошковая металлургия в СССР: История. Современное состояние. Перспективы/ Под ред. И.Н.Францевича, В.И.Трефилова и др. – М.: Наука, 1986. – 294 с.
12. Global electricity prices: On the up and set to rise/ Richard Soultanian// <http://www.powergenworldwide.com/index/display/articledisplay/3575785812/articles/power-engineering-international/volume-18/issue-8/power-report/global-electricity-prices-on-the-up-and-set-to-rise.html>
13. Electricity: why are the growing prices vary around the world?// www.profi-forex.us/news/entry4000000539.html
14. Порошковая металлургия. Спеченные и композиционные материалы/ под ред. В.Шаттта. – М.: Металлургия, 1983. – 520 с.
15. Андриевский Р.А. Порошковое материаловедение. – М.: Металлургия, 1991. – 205 с.
16. Либенсон Г.А. Основы порошковой металлургии. – М.: Металлургия, 1987. – 208 с.
17. Кипарисов С.С., Либенсон Г.А. Порошковая металлургия. – М.: Металлургия, 1972. – 528 с.
18. Hoeganaes Handbook for Warm Compaction, 1998. – 112 P.
19. Schatt W., Wieters K.-P. and all. Powder Metallurgy: Processing and Materials. – EPMA, 1997. – 492 p.
20. Höganäs Iron and Steel Powders for Sintered Components. Höganäs Handbook for sintered components. – 1998. – 245 p.

21. Endo H. Technology Trends in Sintered Structural Parts// Hitachi Powdered metals Technical Report. - 2002. - V1. - P.3-8.
22. Дьячкова Л.Н., Воронцовская Л.Я. Влияние методов получения композиционных инфильтрированных материалов на основе железа на их свойства// Порошковая металлургия. - 1999. - Вып.22. - С.97-100.
23. К вопросу об использовании порошковых композиционных материалов для изготовления деталей роторной группы аксиально-поршневых насосов/ Л.Н.Дьячкова, Н.П.Гребнев, А.Я.Волчек, Л.Я.Воронцовская// Новые материалы и технологии: порошковая металлургия, композиционные материалы и защитные покрытия: 5-я междунар. науч.-техн. конф., Минск, 18-19 сентября 2002 г.: Материалы докладов. – Мн.: Тонлик, 2002. С.69-70.
24. Дьячкова Л.Н., Керженцева Л.Ф. К вопросу о повышении физико-механических свойств порошковых инфильтрированных материалов на основе железа// Новые материалы и технологии: порошковая металлургия, композиционные материалы и защитные покрытия, сварка: 6-я междунар. науч.-техн. конф., Минск, 6-7 апреля 2004 г.: Материалы докладов. – Мн.: Тонлик, 2004. С.85-86.
25. Способ изготовления спеченных изделий / Анциферов В.Н., Рабинович А.И, Перельман О.М. и др. // Патент РФ № 2037382. – Оpubл. 19.06.1995.
26. Способ изготовления составных изделий/ Рабинович А.И, Перельман О.М., Дорожков Г.Л. и др. // Патент РФ № 2056973. – Оpubл. 27.03.1996.
27. Sinter Brazing of Ferrous Parts with Disappearing Joint/ H.Danninger, J.M.Garmendia Gutierrez, R.Ratzi, J.Seyrkammer// Proceedings of PM2010 Powder Metallurgy World Congress & Exhibition. Florence, 10-14 October 2010, Vol.2, p.385-392.
28. Технология пайки лопастной системы рабочих колес гидротрансформаторов дорожных машин с применением порошковых композиционных припоев/ Горохов В.М., Денскевич Т.М., Звонарев Е.В., Лабусов А.Ф., Тарусов И.Н.// Мат. докладов 5-ой Международной научно-технической конференции «Новые материалы и технологии: порошковая металлургия, композиционные материалы, защитные покрытия», Минск, 2002г., с.86-88.
29. Высокоплотные порошковые стали и технологии изготовления из них конструктивных деталей сложной формы/ А.Ф.Ильющенко, Е.С.Севастьянов, П.Н.Киреев // 50 лет порошковой металлургии Беларуси. История, достижения, перспективы: / ред. кол.: А.Ф.Ильющенко [и др.]. – Минск, ГНПО ПМ, 2010. – Глава 11. - С.218-229.
30. Development of Powder Metallurgy Nickel Free High Nitrogen Stainless Steels/ C.Kuang, X.Wang, C.Jia, H.Zhong, X.Kuang, Z.Xu // Proceedings of PM2010 Powder Metallurgy World Congress & Exhibition. Florence, 10-14 October 2010, V.3, p. 335-342.
31. M.Liljas, J.-O. Nilsson. Development of commercial nitrogen-rich stainless steels// Materials Science Forum Vols. 318-320, 1999, pp.189-200.
32. Nitrogen Alloying of PM Steels: Processing and Properties/ Chris Schade, Tom Murphy, Alan Lawley, Roger Doherty // Proceedings of PM2010 Powder Metallurgy World Congress & Exhibition. Florence, 10-14 October 2010, Vol.3, p.129-136.
33. Improved Machinability by Selection of PM Materials, Additives and Tool Materials/ Olof Andersson, Mats Larsson, Bo Hu // Proceedings of PM2010 Powder Metallurgy World Congress & Exhibition. Florence, 10-14 October 2010, Vol.2, p.379-384.