

---

---

## IV. Результати впровадження наукових досліджень

---

---

УДК 621.762

Л. А. Рябичева\*

### СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ПОРОШКОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ДЛЯ ПРАКТИЧЕСКОЙ РЕАЛИЗАЦИИ

*Удосконалення порошкових технологій для практичної реалізації. Представлені удосконалені технології виготовлення порошкових виробів на основі теоретичних і експериментальних даних, що забезпечують отримання виробів із заданими властивостями. Розроблена технологія виготовлення фільтрів з високопористих волокнових матеріалів. Запропонована технологія переробки шлаків виробництва вторинного алюмінію для використання в металургійній промисловості як розкислювача. Представлена технологія отримання мідного порошку з відходів провідників струму. Розроблені роторні технології виробництва високоцілних порошкових виробів, виконані за міжнародним науково-дослідним проектом в рамках європейської програми "Eureka".*

*Ключові слова: порошкові матеріали, властивості, фільтр, шлак, алюміній, мідний порошок, роторні технології, високоцілні вироби.*

Разработка новых материалов и технологий их получения является объективной необходимостью технического и социального развития общества. Материаловедение развивается в двух взаимосвязанных направлениях, которые позволяют объединить фундаментальные исследования с технологиями получения материалов, необходимых промышленности. В Донбасском регионе, где сосредоточены предприятия металлургической, машиностроительной, химической, горнодобывающей промышленности, создание новых материалов непосредственно связано с проблемами региона. Это обуславливает направление теоретических и прикладных работ по материаловедению, которые выполняются на кафедре "Прикладное материаловедение" Восточноукраинского национального университета имени Владимира Даля.

Важной составляющей теоретического материаловедения является компьютерное моделирование структуры и свойств материалов, в результате которого прогнозируются новые материалы с улучшенными свойствами, разрабатываются технологические режимы изготовления материалов и изделий из них, направленные на улучшение качества продукции без больших затрат.

В создании новых материалов различного назначения важное место занимает порошковая технология, позволяющая целенаправленно конструировать структуру и свойства материалов и производить изделия с минимальными отходами, а также решать многие проблемы охраны окружающей среды.

К числу наиболее перспективных материалов относятся функциональные порошковые материалы с заданными физико-механическими свойствами, ко-

---

\*©Людмила Олександрівна Рябичева працює в Східноукраїнському національному університеті ім. Володимира Даля з 1968 р. в області створення й дослідження порошкових матеріалів на основі деформаційно-термічних режимів зміцнення й технологій одержання виробів з них. Опубліковано близько 180 наукових праць, серед них монографії та навчальні посібники.

торые определяются условиями работы изделия. Требуемый комплекс физико-механических свойств достигается путем оптимизации содержания различных компонентов материала при заданной величине пористости, которая может быть получена в результате различных видов обработки. Создание новых многокомпонентных порошковых материалов с заданными свойствами, которые обеспечивают высокую размерную точность и качество поверхностей готовых изделий, невозможно без детального анализа явлений, происходящих в процессе уплотнения порошков. Необходим сравнительный анализ физико-механических свойств целого ряда однотипных материалов с различным содержанием компонентов и различной пористостью. Для решения таких задач широкое применение получили метод крупных частиц, метод граничных элементов и метод конечных элементов (МКЭ). При прогнозировании свойств порошковых материалов аналитическими методами на основе механики сплошных сред при увеличении числа компонентов в материале снижается точность вычислений, а также имеются трудности по учету взаимного влияния компонентов материала на его свойства. Экспериментальная оптимизация состава и свойств материалов очень трудоемка. Необходимость прогнозирования физико-механических свойств многокомпонентных порошковых материалов с учетом взаимного влияния всех компонентов и пористости потребовала поиска более адекватных и надежных методов.

Наиболее доступным и универсальным инструментом многофакторного математического моделирования, исследования и прогнозирования свойств порошковых материалов и изделий из них является МКЭ. Разработана усовершенствованная методика моделирования физико-механических свойств многокомпонентных порошковых материалов методом конечных элементов с использованием программы-решателя LS-DYNA [1, 2]. Математическая модель представляет собой систему определяющих уравнений, которые характеризуют физико-механические свойства компонентов, и позволяет учитывать их взаимодействие. При этом конечные элементы, представляющие различные компоненты, помещены в общую сетку. Для всех компонентов применяется упруго-пластическая модель, позволяющая воспроизводить упругую и пластическую составляющие напряжений и деформаций, а также учитывать эффекты скоростного и деформационного упрочнения при моделировании механических испытаний.

Модель опробована для прогнозирования физико-механических свойств медно-никелевого порошкового материала пористостью 10–30% и содержанием никеля 10–30% при испытании на сжатие. Исходными данными являются объемные доли компонентов, их физические и механические свойства, а также заданная величина плотности (табл. 1).

В ходе математического эксперимента определяли плотность, модуль Юнга, предел текучести, предел прочности и коэффициент Пуассона. По результатам моделирования и экспериментов построены кривые течения при сжатии, которые хорошо согласуются между собой. Относительная погрешность вычисления не превышает 10%.

Механические свойства исследуемых материалов, полученные в результате конечно-элементного моделирования и лабораторных испытаний, приведены в табл. 2.

Важным научным направлением в материаловедении является изучение поведения материалов в экстремальных условиях: при высоких давлениях и температурах. Одной из проблем обработки металлов является исследование процессов деформации и разрушения.

Таблиця 1

Компоненты материала и их исходные свойства

№ п/п	Компонент	Объемная доля, %	Плотность, кг/м <sup>3</sup>	Модуль Юнга, МПа	Коеф. Пуассона	$\sigma_T$ , МПа	$\sigma_B$ , МПа
1	Медь	70—90	8940	$1,20 \cdot 10^5$	0,33	120	220
2	Никель	10—30	8897	$2,03 \cdot 10^5$	0,31	210	450
3	Кобальт	5	8900	$2,09 \cdot 10^5$	0,31	200	350
4	Железо	2	7850	$2,10 \cdot 10^5$	0,28	200	280
5	Марганец	1	7470	$1,98 \cdot 10^5$	0,22	210	430
6	Титан	3	4505	$1,10 \cdot 10^5$	0,34	160	530
7	Графит	1	1800	$0,85 \cdot 10^5$	0,43	100	120
8	Пористость	10—30	0	0,00	1,00	0	0

Таблиця 2

Расчетные и экспериментальные свойства материалов

Название материала	Объемная доля, %		Вид данных	Пористость, %	Плотность, кг/м <sup>3</sup>	Модуль Юнга, Па	Коеф-фициент Пуассона	$\epsilon$ , %	$\sigma_T$ , МПа	$\sigma_B$ , МПа
	Медь	Никель								
Материал 1	90	10	Р	10	8046	$1,53 \cdot 10^5$	0.42	36	320	430
			Э	8	8110	$1,65 \cdot 10^5$	0.40	40	340	460
Материал 2	80	20	Р	20	7152	$8,75 \cdot 10^4$	0.38	30	280	370
			Э	17	7350	$9,15 \cdot 10^4$	0.35	33	300	390
Материал 3	70	30	Р	30	6560	$6,86 \cdot 10^4$	0.35	30	250	300
			Э	32	6245	$6,56 \cdot 10^4$	0.31	28	230	270

Р — расчетные данные; Э — экспериментальные данные

Моделирование позволяет решать практически любые технологические задачи. Таким путем решена задача оценки ресурса пластичности металла при нагружении и высоких температурах с использованием МКЭ и программы-решателя LS-DYNA [3, 4]. При этом для исследования устойчивости пластического равновесия точек образца при деформировании применена функция Ляпунова. В случае вязкого разрушения функцией Ляпунова является скорость изменения интенсивности напряжений в области разрыхления металла, а аргументом — интенсивность деформаций. По мере исчерпания ресурса пластичности в опасных зонах рост интенсивности напряжений все более опережает рост степени деформации. Следовательно, растет и скорость увеличения интенсивности напряжений по отношению к степени деформации. В зонах вероятного разрушения тела происходит резкое увеличение на 1–2 порядка скорости изменения интенсивности напряжений после достижения предельной степени деформации для данных температурно-скоростных условий деформирования. Например, в процессе сжатия образца из стали 45X при температуре 1150 °С и коэффициенте трения 0,2 со скоростью 10 м/с на кромке верхней торцовой поверхности образца интенсивность

напряжений возрастает со 100 до 120 МПа при изменении степени деформации с 36 до 50%, а затем со 120 до 150 МПа, при увеличении степени деформации с 50 до 52%. Это соответствует началу вязкого разрушения, так как интенсивность напряжений достигла предела прочности для данных условий.

Порошковые материалы имеют достаточно сложную структуру. Их свойства формируются как за счет состава компонентов, так и за счет технологических параметров процесса получения материала. Использование высокоэнергетических методов их изготовления позволяет достичь необходимого уровня механических и эксплуатационных свойств. Получила дальнейшее развитие теория пластичности пористых тел с учетом скоростной чувствительности. На основе известных положений, разработанных в ИПМ НАН Украины [5, 6], предложены микромеханическая и феноменологическая модели пластического течения пористого тела, которые дают возможность оценить скоростную чувствительность материальных параметров и реологические свойства твердой фазы [7].

Для учета влияния скорости деформации используются модифицированный вид функций пористости с учетом коэффициентов скоростной чувствительности, один из которых характеризует чувствительность эволюции порового пространства деформируемого пористого тела к скорости деформации, другой — чувствительность упрочнения к скорости деформации. Разработанные модели применены к решению технологических задач изготовления компактного материала из порошковой заготовки при сжатии в закрытой матрице и радиальном обжатии в матрице с гладкими стенками [8].

Научные исследования в области материаловедения всегда являются ценными, если они находят применение в промышленности. Развитие энергомашиностроения, химической промышленности и других отраслей невозможно без создания новых материалов, к которым относятся пористые волокновые материалы, применяемые для фильтров. Сочетание необходимых физико-механических свойств обуславливает их широкое применение в качестве фильтрующих элементов, смесителей, аэраторов, глушителей шума, теплообменников, катализаторов. Большая номенклатура типоразмеров и материалов из волокон позволяет получить фильтрующие материалы с высокой задерживающей способностью (до 2–4 мкм) и работающих как в агрессивных средах, так и при повышенных температурах. Выполнены работы по развитию теории деформации при профилировании волокон синусоидальной формы, разработана безотходная технология и оборудование для получения волоконных материалов для деталей повышенного качества транспортного и химического машиностроения. Исследования выполнены при изготовлении волоконных материалов из меди М2, никрома Х20Н80, стали 03Х18Н9Т, константана МНМц40–1,5. Определены оптимальные параметры профилирования волокон синусоидальной формы при уплотнении, что дало возможность регулировать плотность и размеры изделия. Установлены закономерности изменения пористости от параметров деформации волокон при получении ими синусоидальной формы. Изучение структуры волоконного материала показало, что полученная в результате профилирования форма волокон сохраняется и влияет на размер пор и, соответственно, на эксплуатационные свойства изделий. Размеры пор уменьшаются с уменьшением параметров волокна, что приводит к улучшению комплекса физико-механических свойств материала. Установлено влияние технологических параметров деформирования при изготовлении волокон синусоидальной формы на механические и гидравлические свойства волоконных материалов и способность их к разрушению, благодаря чему получена возможность изготовления изделий с заданными свойствами. Максимальные предел прочности при пористости 40% изменяется от 57 МПа для волоконного материала

из меди до 118 МПа для материала из нихрома. Волокновые материалы в сравнении с порошковыми пористыми аналогами имеют более высокую пластичность. При пористости 50% относительное удлинение находится в пределах 20–27%. Максимальные значения коэффициента гидравлического сопротивления позволяют использовать их при значительных перепадах давления [9, 10].

Из высокопористых волокновых материалов из меди М2 и нержавеющей стали 03Х18Н9Т изготовлены фильтры очистки масел при производстве полиэтилена на Северодонецком ПО «Азот» (рис. 1). Стойкость фильтров в 3–5 раз выше, чем сетчатых производства Германии. На этом же предприятии при производстве фталиевого ангидрида из ортоксилота применяется носитель катализатора, изготовленный из высокопористого волокнового материала — стали 03Х18Н9Т. Это позволило повысить скорость окисления оксида углерода и сократить расход дорогостоящих каталитических компонентов.

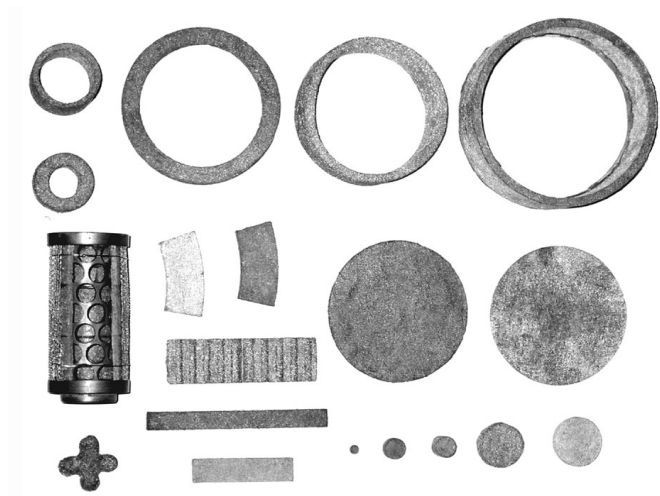
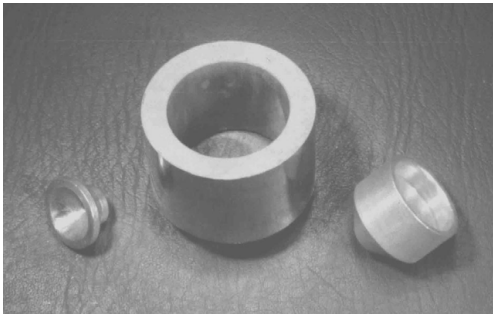


Рис. 1. Детали из волокновых материалов

В Украине ежегодный прирост твердых промышленных отходов составляет 1,4–1,5 млрд. тонн. Нагромождение в отвалах такого количества металлургических отходов приводит к исключению полезных площадей из хозяйственного оборота, загрязнению окружающей среды. На предприятиях металлургического комплекса наибольшую массу отходов составляют сопутствующие продукты плавания — металлургические шлаки и шламы. Существующие способы переработки шлаков, основанные на химических и механических процессах, сопровождаются образованием пыли и загрязнением окружающей среды. Разработана технология переработки шлаков производства вторичного алюминия в брикеты для использования их в металлургической промышленности в качестве раскислителя. Создана теория деформации и межчастичных связей при прессовании гетерогенной смеси частиц металла и оксидов путем сдвига, на основе которой разработана технология брикетирования шлаков производства вторичного алюминия и никельсодержащих шламов. При давлении прессования, равном 170–175 МПа, и угле наклона рабочей поверхности пуансона 20° получены плотность брикетов из алюмошлаков 2,13–2,15 г/см<sup>3</sup>, предел прочности на сжатие 84,5 МПа и стойкость брикетов до разрушения 190 суток. Применение процесса прессования со сдвигом позволило увеличить прочность брикетов в 2,4 раза, а стойкость до разрушения в 1,75 раз [11, 12].

Перспективними являються порошкові матеріали на основі кольорових металів і сплавів. Виготовлення таких матеріалів дає значительний економічний ефект в різних галузях промисловості. Розроблена технологія отримання і досліджені фізико-технологічні властивості мідного порошку, отриманого з відходів провідників струму. Хімічний склад порошку, %: 99,7Cu, 0,18Fe, 0,10O, 0,1Si. Гранулометричний склад <0,160 мм. Мідний порошок має форму частинок, близьку до сферичної, з шорховатою поверхністю, що забезпечує його високу ущільнюваність [13]. З такого мідного порошку виготовлені деталі плазмотрона (рис. 2). Отриманий мідний порошок застосований для виготовлення антифрикційних деталей з порошкової бронзи: при щільності рівній 8,56 г/см<sup>3</sup>, швидкості ковзання 1,1 м/с, тиску 2,25 МПа інтенсивність изнашивания становить 0,51·10<sup>-14</sup> мкм/км.



*Рис. 2. Деталі з мідного порошку, отриманого з відходів провідників струму*

Ведуться роботи по створенню конструкційних гетерогенних матеріалів на основі заліза для деталей транспортного машинобудування (рис. 3). При цьому використані різні схеми деформування: радіальна штамповка, осадка в закритій матриці, пуансоном, не заходящим в порожнину матриці, пуансоном, заходящим в порожнину матриці [14, 15]. Порошкові матеріали, отримані холодною і гарячою штамповкою, при щільності, рівній компактному матеріалу, мають властивості на рівні матеріалів аналогічного хімічного складу, отриманих литтям і обробкою тиском.



*Рис. 3. Деталі з гетерогенних порошкових матеріалів на основі заліза*

Одним з показників востребованности результатів вітчизняних наукових досліджень і розробок є інтерес, проявляється до них з боку зарубіжних наукових організацій і виробничих фірм. По тому участь наукових колективів в міжнародних науково-дослідницьких проектах є підтвердження важливості тематики і високого рівня виконуваних досліджень.

В ВНУ ім. В.Даля более 15 лет существует научно-исследовательский коллектив (НИК) “Специальные методы пластической деформации”, которым руководит доцент, к.т.н. Стоянов А.А. Основные направления исследований коллектива — разработка и создание технологических процессов пластической деформации порошковых материалов с заданной структурой и свойствами, автоматизация технологических процессов в порошковой металлургии, создание новых деформационных ресурсосберегающих технологий.

С 1995 года ученые и специалисты НИК участвуют в выполнении международных договоров и программ международного сотрудничества. Первый в Украине международный научно-исследовательский проект в рамках Европейской программы “Eureka” выполнен именно этим коллективом в 1997–2001 годах, когда в странах Восточной Европы наблюдался подъем промышленного производства. Увеличивался выпуск промышленного оборудования, автомобилей, сложной бытовой техники. На промышленных предприятиях была высока потребность в качественных конструкционных изделиях, в том числе, производимых из металлических порошков. Поэтому международный научно-исследовательский проект “Порошковая металлургия, высокоточная роторная технология и оборудование”, выполнявшийся в Украине, Польше, Чехии и Швеции, был своевременным и актуальным. По классификации Секретариата программ “Eureka” в Брюсселе проект был обозначен E! 1806 “Rotor”.

Основной научно-технической задачей, которая решалась научными организациями стран-партнеров при выполнении проекта, являлась разработка новой прогрессивной высокоточной роторной технологии и оборудования для массового производства порошковых конструкционных изделий, в которой совмещены процессы прессования, калибровки, финишной обработки и контроля. Такая технология и оборудование в условиях массового производства снижают трудоемкость изготовления порошковых конструкционных деталей при обеспечении их размерной точности и высокой плотности.

Задачами украинского партнера при выполнении проекта были экспериментальные и теоретические исследования многооперационных роторных технологий производства высокоплотных порошковых изделий и создание на их основе прогрессивной технологии производства конструкционных деталей типа колец подшипников качения, а также проектирование, изготовление, сборка, наладка и внедрение высокопроизводительной роторной машины для производства таких колец [16–18]. Совместно со шведским партнером, фирмой Hогanas, был подобран оптимальный состав порошковых сталей, наиболее подходящих для данного типа деталей, проведен обширный комплекс исследований влияния параметров многооперационной технологии на свойства получаемых материалов [19, 20]. Результатом совместных работ с чешским партнером, фирмой Imprexmetal, стали исследования контактно-усталостной прочности и выносливости колец подшипников качения, изготовленных с применением многооперационной роторной технологии из порошковых сталей [21, 22].

В результате выполнения проекта разработана новая прогрессивная высокоточная роторная технология изготовления порошковых изделий и оборудование для её реализации. На данную технологию получено 2 патента: польский патент по системе РСТ № РСТ/PL00/00098 от 11.01.2001 г. и европейский патент № EP 1 246 950 B1 от 23.07.2003 г. Новая технология отмечена наградой премьер-министра Польши за победу в конкурсе “Польский продукт будущего” в 2000 году; наградой губернатора Воеводства Велкопольского в 2003 г. за достижения в области науки и технологий; несколькими поощрительными наградами за участие в международных технологических и хозяйственных выставках и ярмарках.

Для проведения исследований в материаловедении в направлении создания новых материалов и реализации их в общественном производстве, формирования инновационной стратегии долгосрочного экономического развития необходимо увеличение финансирования научной базы и подготовки высококвалифицированных научных специалистов. С этой же целью необходимо расширять и диверсифицировать связи академической, вузовской и отраслевой науки с известными европейскими и мировыми научными центрами, активизировать процесс создания научно-технических центров и других структур, которые в перспективе должны образовать основной стержень научно-технологического и инновационного процесса.

*Представлены усовершенствованные технологии изготовления порошковых изделий на основе теоретических и экспериментальных данных, обеспечивающие получение изделий с заданными свойствами. Разработана технология изготовления фильтров из высокопористых волоконных материалов. Предложена технология переработки шлаков производства вторичного алюминия для использования в металлургической промышленности в качестве раскислителя. Представлена технология получения медного порошка из отходов проводников тока. Разработаны роторные технологии производства высокоплотных порошковых изделий, выполненные по международному научно-исследовательскому проекту в рамках европейской программы “Eureka”.*

*Ключевые слова: порошковые материалы, свойства, фильтр, шлак, алюминий, медный порошок, роторные технологии, высокоплотные изделия.*

*The enhanced technologies for production of powder parts are presented on the basis of theoretical and experimental data that ensure fabrication of parts with specified properties. The production technology of filters from high-porous fibrous materials was developed. The recycling technology is proposed for utilization of secondary aluminium fabrication dross at the metallurgy industry as a deoxidizing agent. The technology for manufacturing of copper powder from wastes of current conductors is presented. The rotary technologies were developed for production of the high-density powder parts performed according to the international scientific-research project in the framework of the European program “Eureka”.*

*Keywords: powder materials, properties, filter, dross, aluminium, copper powder, rotary technologies, high-density parts.*

1. *Рябичева Л. А., Усатюк Д. А., Никитин Ю. Н.* Конечно-элементное моделирование процесса прессования изделий из двухкомпонентного высокоплотного порошкового материала // Современное материаловедение. Достижения и проблемы. Труды международной конференции. Киев, 2005. – С. 828–829.
2. *Ryabicheva L., Usatyuk D.* Numerical simulation and forecasting of mechanical properties for multi-component nonferrous dispersion-hardened powder materials // Powder metallurgy world congress and exhibition “EURO PM2006” / 24–28 September, VEXCO, Busan, Korea, 2006. – P.1168-1172.
3. *Рябичева Л. А., Усатюк Д. А.* Компьютерное моделирование потери устойчивости при осадке // Удосконалення процесів та обладнання обробки тиском у металургії і машинобудуванні: Тематик зб. наук.пр. – Краматорськ: ДДМА, 2006. – С. 91-96.
4. *Рябичева Л. А., Усатюк Д. А.* Метод функций Ляпунова в исследовании вязкого разрушения при горячем деформировании // Тезисы докладов 111 Евразийской научно-технической конференции “Прочность неоднородных структур”, Москва 18–20 апреля 2006 г., МИСиС. – С. 192.
5. *Скорухов В. В.* Актуальные проблемы континуальной теории и структурного моделирования процессов деформации порошков и пористых тел // Реологические модели и процессы деформирования пористых порошковых и композиционных материалов. – Киев: Наук. думка, 1985. – С. 6–11.
6. *Штерн М. Б., Сердюк Г. Г., Максименко Л. А. и др.* Феноменологические теории прессования порошков. – Киев: Наук. думка, 1982. – 140 с.



7. *Ryabicheva L., Kravtsova Yu.* The strain rate effect on material parameters of porous billets during forging // Powder metallurgy world congress and exhibition / Vienna, 2004. – 5. – P. 1158–1162.
8. *Ryabicheva L., Kravtsova Yu., Usatuk D.* Using the plasticity theory with taking into account the rate sensitivity to radial reduction of porous bodies // Powder metallurgy world congress and exhibition “EURO PM2005” (October 2–5, 2005, Prague, Czech Republic). 2005 – 6. – P. 1247–1251.
9. *Карташова Л. И., Сало В. И.* Свойства пористых материалов из волокон меди и никрома // МиТОМ. – 1992, № 2. – С. 21–23.
10. *Рябичева Л. А., Сало В. И.* Технологическое применение волоконных материалов // Металлообработка, 2001, № 1. – С. 49–52.
11. *Никитин В. В.* Исследование влияния сдвигового компактирования на упрочнение труднодеформируемых сыпучих материалов // Ресурсозберігаючі технології виробництва та обробки тиском в машинобудуванні і металургії: тематич.зб.наук.праць – Краматорськ: ДДМА, 2000. – С. 225–227.
12. *Рябичева Л. А., Никитина Л. А., Никитин В. В.* Исследование условий брикетирования алюминий- и никельсодержащих шлаков // Ресурсозберігаючі технології виробництва та обробки тиском матеріалів у машинобудуванні: Зб. наук. пр. – Луганськ: Вид-цтво СУДУ, 2001. – С. 83–86.
13. *Рябичева Л. А., Никитин Ю. Н., Цыркин А. Т., Марков В. Л.* Технология получения порошка меди из отходов проводников тока // Металлообработка. – 2004, № 3. – С. 40–42.
14. *Рябичева Л. А., Цыркин А. Т., Хищенко В. Ф., Матарнех Б. Т.* Схемы деформирования порошковых деталей различной сложности // Металлообработка. – 2002, № 3. – С. 44–47.
15. *Ryabicheva L., Tsyркин A.* The technologies of complex parts production from porous billets // Powder metallurgy world congress and exhibition / Vienna, 2004. – 5. – P. 1147–1151.
16. *Stoyanov A., Leshinsky V., Sevastyanov E.* – Theory of Plastic Flow of Porous Material with Dislocations. Materials of the international conference on powder metallurgy & particulate materials 2000 – USA, New York, Hilton. May 30 – June 3, 2000.
17. *Leszczyński V., Weinert H., Stoyanov A., Kuchma Y.* Multifunctional rotor equipment for sizing and other technological operations. W: Second international conference on powder metallurgy RoPM 2000. Conference Guide Cluj-Napoca/Romania July 6–8, 2000. – 6 s.
18. *Stojanov A.* Technologia dokuwania części z materiałów proszkowych w liniach kołowych. Publikacja Konferencji naukowo-technicznej Obróbki Plastycznej "Konstrukcja i Technologia Wytłózek i Wyprasek". Poznań-Czerniejewo, 14–16 czerwca 2000. – P. 17–21.
19. *Stojanov A., Wisniewska-Weinert H., Leszczyński V., Bubacz M.* Jakość części wykonanych ze stopowych materiałów proszkowych w produkcji masowej. Publikacja Konferencji naukowo-technicznej QUALITY-2001 „Inżynieria Jakości w Technikach Wytwarzania”. Częstochowa-Kokotek, 8–9 października 2001. – P. 166–172.
20. *Stojanov A.* Technologia dokuwania części z materiałów proszkowych w liniach kołowych. Publikacja Konferencji naukowo-technicznej Obróbki Plastycznej "Konstrukcja i Technologia Wytłózek i Wyprasek". Poznań-Czerniejewo, 14–16 czerwca 2000. – P. 17–21.
21. *Stojanov A., Leshchinsky V., Weinert H., Bubacz M., Lisowski J., Romanowski M.* Precision Multioperational Cold Forging of the Powder Rings. Publikacja European Congress and Exhibition on Powder Metallurgy “EURO PM 2001”. Nice, France. Tom 4. – P. 278–283.
22. *Stojanov A., Wisniewska-Weinert H., Leszczyński V., Lisowski J.* Dokładne kształtowanie części ze stopowych materiałów proszkowych na osnowie żelaza // Archiwum technologii maszyn i automatyzacji. Komisja Budowy Maszyn Polskiej Akademii Nauk. Oddział w Poznaniu. Wydawnictwo Politechniki Poznańskiej, 2002. Vol. 22, nr.1. – S. 197–206.