



УДК 669.1

Поступила 06.09.2021

## ПРИКЛАДНЫЕ АСПЕКТЫ РАЗРАБОТОК ПОДПРОГРАММЫ «МЕТАЛЛУРГИЯ»

*А. В. ТОЛСТОЙ, Объединенный институт машиностроения НАН Беларуси, г. Минск, Беларусь, ул. Академическая, 12. E-mail: tolstoy@oim.by*

*Представлены основные результаты выполнения заданий подпрограммы «Металлургия», имеющие прикладную направленность, полученные организациями Национальной академии наук Беларуси, Министерства образования и Министерства промышленности Республики Беларусь. Показан их вклад в решение практических задач в области металлургии.*

*Ключевые слова.* Металлургия, литье, термообработка, поверхностное упрочнение, обработка давлением.

## APPLIED ASPECTS OF THE DEVELOPMENT OF THE “METALLURGY” SUBPROGRAM

*A. V. TOLSTOY, Joint Institute of Mechanical Engineering of the National Academy of Sciences of Belarus, Minsk, Belarus, 12, Akademicheskaja str. E-mail: tolstoy@oim.by*

*The main results of the tasks of the subprogram “Metallurgy”, which have an applied orientation, obtained by the organizations of the National Academy of Sciences of Belarus, the Ministry of Education and the Ministry of Industry of the Republic of Belarus, are presented. Their contribution to solving practical problems in the field of metallurgy is shown.*

*Keywords.* Metallurgy, foundry, heat treatment, surface hardening, pressure treatment.

Подпрограмма «Металлургия» направлена на решение задач, связанных с исследованиями термодинамических условий, структурно-фазовых превращений, закономерностей изменения физико-механических характеристик сталей, сплавов и изделий из них на основных стадиях металлургических переделов. Являясь составной частью Государственной программы научных исследований «Механика, металлургия, диагностика в машиностроении», подпрограмма решает не только научные, но и вполне конкретные прикладные проблемы в интересах предприятий машиностроительного комплекса республики.

Объединенным институтом машиностроения НАН Беларуси выполнен комплекс работ по установлению критериев работоспособности зубчатых колес автотракторной техники, созданию методик расчета и проектирования их долговечности, проектированию современных промышленных технологий химико-термического упрочнения ответственных деталей энергонасыщенных машин. На основе проведенных исследований созданы программные средства компьютерного проектирования зубчатых передач заданной долговечности, расчета прокаливаемости стали, моделирования процессов диффузии углерода в поверхностных слоях цементуемых деталей и расчета параметров химико-термического упрочнения.

Программный пакет «RegHard» (рис. 1). Рассчитывает технологические параметры процесса цементации конструкционных сталей, обеспечивающие заданное распределение углерода, на основе моделирования процессов диффузии углерода в стали с учетом коэффициентов массопереноса, величины и точности регулирования углеродного потенциала печной атмосферы.

Программный пакет «GearProg» (рис. 2). Предназначен для расчета ресурса зубчатых колес трансмиссий, величины микротвердости и ее распределения по упрочненному слою.

Программный пакет «SteelPro» (рис. 3). Рассчитывает прокаливаемость стали в зависимости от величины зерна аустенита и химического состава стали. Расчет основан на определении идеального критического диаметра и величины микротвердости с учетом делительных коэффициентов на заданном расстоянии от поверхности детали.

Программный пакет «Carb» (рис. 4). Рассчитывает распределение углерода по глубине упрочняемого слоя с учетом прокаливаемости стали, условий охлаждения деталей при закалке, размера и формы зубчатых колес.

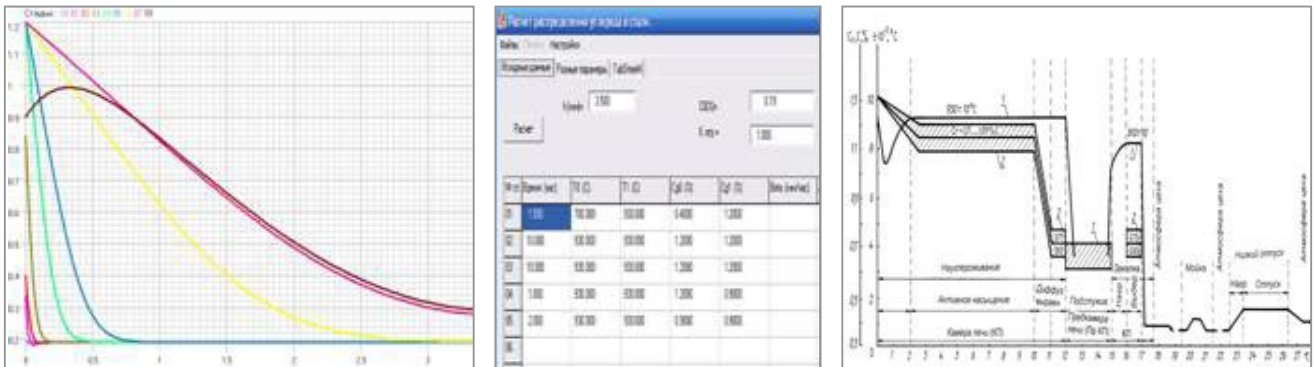


Рис. 1. Программный пакет «RegHard»

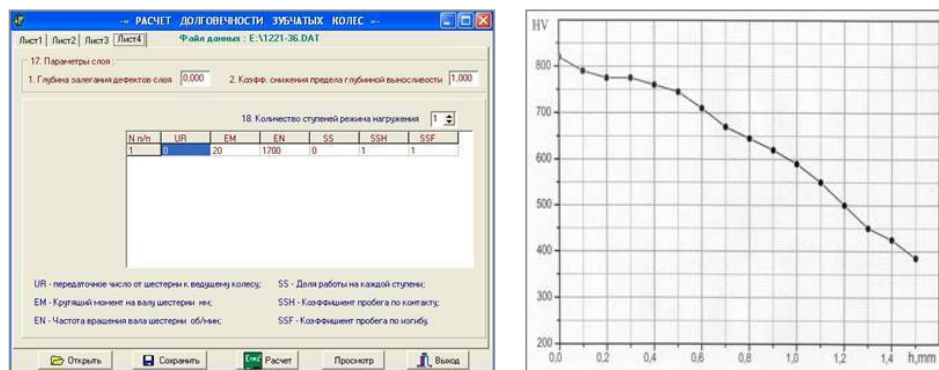


Рис. 2. Программный пакет «GearProg»

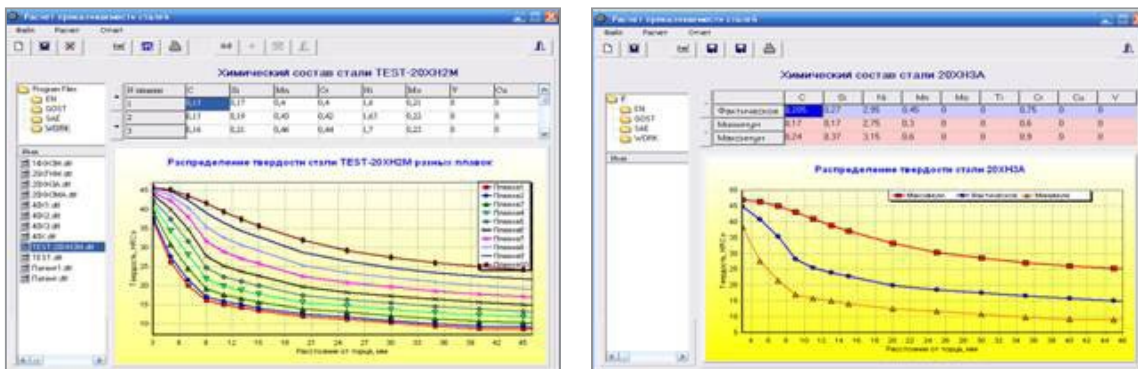


Рис. 3. Программный пакет «SteelPro»

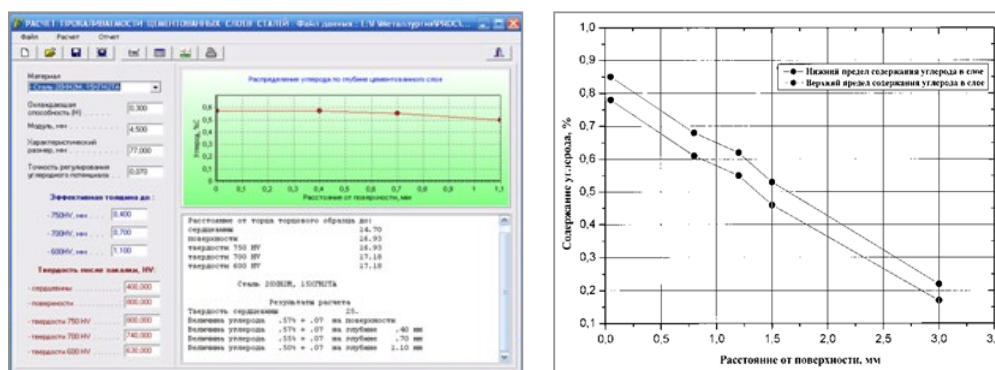


Рис. 4. Программный пакет «Carb»

При использовании приведенных программных пакетов достигается экономия энергоресурсов до 25% за счет сокращения времени на проведение прецизионной и высокоэффективной химико-термической обработки; снижение всех видов затрат и процент брака, повышение качества продукции и 1,5 раза гарантированного ресурса деталей.

Разработана технология формирования покрытий на рабочих поверхностях деталей металлургического и литейного оборудования методом механического плакирования гибким инструментом (рис. 5). Подобраны составы материалов-доноров для формирования композиционных покрытий (рис. 6), обеспечивающих защиту от эрозии, коррозии и налипания при взаимодействии с расплавленным металлом.



Рис. 5. Процесс нанесения покрытия на плунжер



Рис. 6. Композиционный материал-донор для формирования теплостойких покрытий

В результате эксплуатационных испытаний в условиях ОАО «МЗАЛ им. П. М. Машерова» установлено, что функциональное покрытие из твердого сплава ВК8 обеспечивает повышение стойкости деталей пресс-форм в расплаве сплава ЦА4М1 в среднем в 1,9 раза по сравнению с деталями без покрытия (рис. 7).

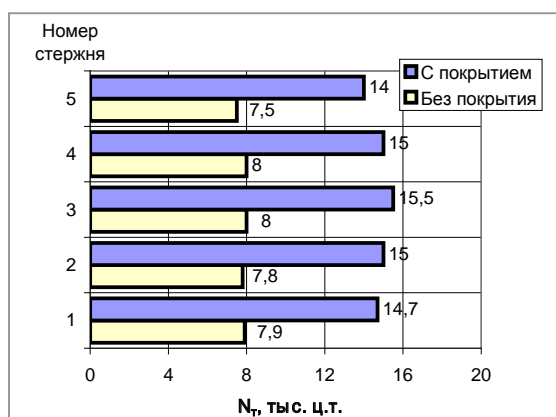


Рис. 7. Изменение стойкости  $N_t$  деталей пресс-форм при литье отливок из цинкового сплава ЦА4М1 в зависимости от наличия функционального покрытия

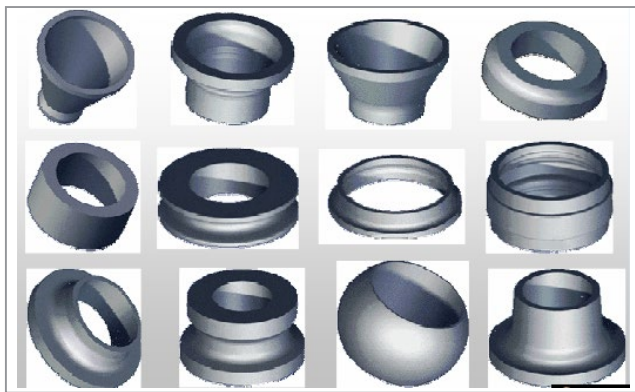
Разработан технологический процесс индукционной наплавки на поверхности деталей узлов трения путевых машин упрочненных порошковых и износостойких антифрикционных покрытий на основе металлматричных композитов (рис. 8). Срок службы биметаллических деталей с покрытиями в 1,25–1,33 раза выше, чем у серийных деталей.

Разработана стратегия кольцераскатки применительно к номенклатуре колец белорусских предприятий, заключающаяся в получении готового кольца с одного нагрева, позволяющая использовать минимальные усилия деформирования и обеспечить оптимальную стоимость оборудования (рис. 9).

Внедрение кольцераскатки на ОАО «Минский подшипниковый завод» и ОАО «БЕЛАЗ» – управляющая компания холдинга «БЕЛАЗ-ХОЛДИНГ» позволит увеличить коэффициент использования металла с 0,6 до 0,71–0,77, снизить годовую потребность в закупке сталей примерно на 3,500 т, уменьшить энергозатраты при изготовлении заготовок колец на 10–15%.



Рис. 8. Процесс центробежной индукционной наплавки износостойких антифрикционных покрытий из порошковых шихт с активирующими добавками



*a*



*б*

Рис. 9. Возможности кольцераскатки: *a* – номенклатура деталей для кольцераскатки; *б* – раскатка профильных колец

Выполнено технологическое обоснование снижения деформаций и остаточных напряжений после термической обработки малогабаритных деталей типа дисков и валов с использованием динамической стабилизации на основе знакопеременного циклического нагружения. Технологическое снижение деформаций и остаточных напряжений малогабаритных деталей типа дисков и валов позволяет для такого типа деталей аналитическим путем определять режимы циклического знакопеременного нагружения и по расчетным параметрам этого нагружения с учетом конструктивных особенностей проектировать установки для реализации динамической стабилизации без проведения длительного и затратного цикла экспериментальных исследований. Определены оптимальные диапазоны основных технологических параметров процессов динамической стабилизации, разработаны схемы нагружения (рис. 10, 11) и методики инженерных расчетов напряженного состояния деталей типа дисков, плоских колец и валов применительно к условиям их нагружения при динамической стабилизации. Создана принципиально новая

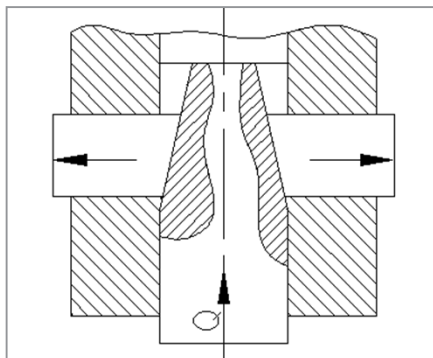


Рис. 10. Схема нагружения кольца клиновым механизмом

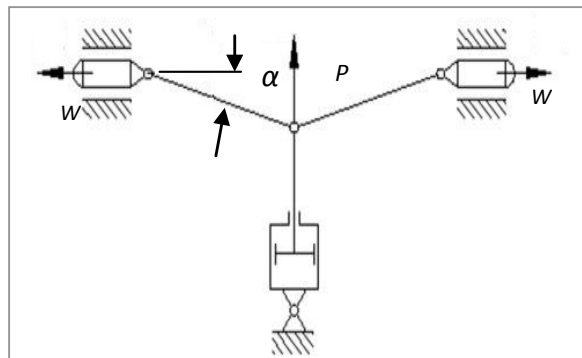
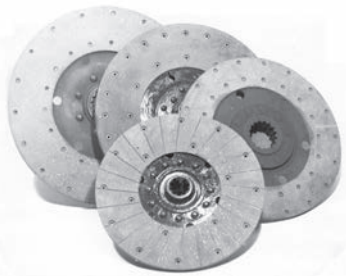
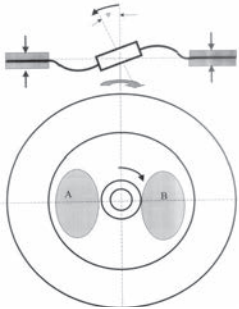
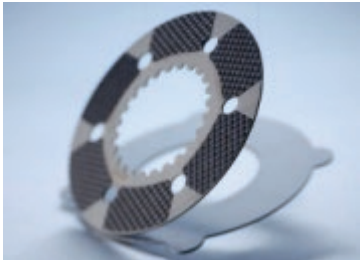
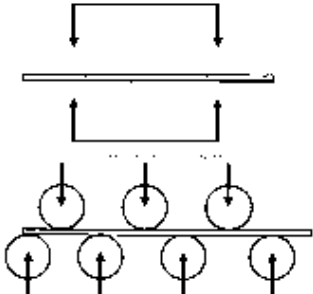



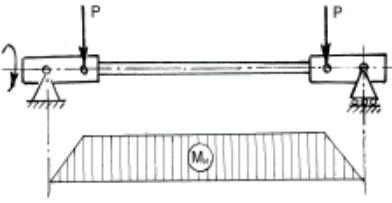

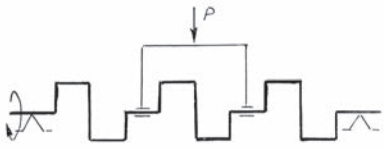


Рис. 11. Схема рычажного механизма двухстороннего действия

конструкция установки с ЧПУ для динамической стабилизации фрикционных дисков с диаметром до 1000 мм (рис. 12), которые используются в карьерных самосвалах БелАЗ. Применение нового решения при изготовлении фрикционных дисков дало возможность обеспечить требуемую величину отклонения от плоскостности не более 0,3 мм, снизить припуски под черновое и чистовое шлифование, обеспечить повышение ресурса и конкурентоспособности белорусских карьерных самосвалов.

Намечены пути дальнейшего использования динамической стабилизации при изготовлении таких деталей, как коленчатые и торсионные валы, венцы маховиков, бурильные трубы, кольца (табл. 1).

Таблица 1. Примеры деталей, для которых возможно применение динамической стабилизации

Детали-представители	Особенности нагружения	Схема нагружения
<p>Диски сцепления</p> 	<p>Нагружение за счет разворота и вращения центральной части диска</p>	
<p>Фрикционные диски</p> 	<p>Нагружение вращением диска между нижним и верхним рядом радиальных роликов</p>	
<p>Венцы маховика, коронные шестерни</p> 	<p>Нагружение вращающимися роликами по отверстию кольца</p>	
<p>Торсионные валы, буровые трубы</p> 	<p>Нагружение изгибом с вращением</p>	
<p>Коленчатые валы</p> 	<p>Нагружение изгибом с вращением вала</p>	

Разработан способ магнитного контроля структуры материала движущегося ферромагнитного изделия. Разработка реализована при эксплуатации автоматизированного участка сортировки чугунных ниппелей в литейном цехе серого и ковкого чугуна ООО «Минский завод отопительного оборудования» (рис. 13, 14).

Эксплуатация линии повысила рентабельность производства ниппелей, обеспечила потребность завода, позволила отказаться от замены чугунных ниппелей на импортные стальные, обеспечить их экспортные поставки.

Разработана и внедрена в производство (по лицензионным договорам на филиале ОАО «Минский моторный завод» в г. Столбцы) методика контроля механических свойств термообработываемых болтов дизельных двигателей. Применение методики, реализуемой разработанным прибором МАКСИ-У, гарантирует заданный предел прочности болтов, повышает надежность всех выпускаемых Минским моторным заводом дизельных двигателей, предотвращая попадание на сборочный конвейер ответственных деталей с низким уровнем механических свойств.

Выполнен комплекс работ по установлению природы воздействия частиц углеродных наноматериалов (углеродных нанотрубок, фуллеренсодержащих форм, аморфного углерода), включенных в виде добавок в керамическую матрицу структурных модификаций  $\alpha$ -,  $\gamma$ - $Al_2O_3$ , сформированную методом микродугового оксидирования, на формирование антифрикционных, износостойких слоев на поверхности керамики (рис. 15). Разработаны физико-химические принципы создания алюмоматричных композитов путем целенаправленного армирования сплавов, тугоплавкими полифункциональными наноструктурированными наполнителями на основе микро- и ультрадисперсных порошков оксидов и нитридов, приводящих к образованию наноразмерных соединений и элементов, обеспечивая при этом их равномерное распределение в алюминиевой матрице.

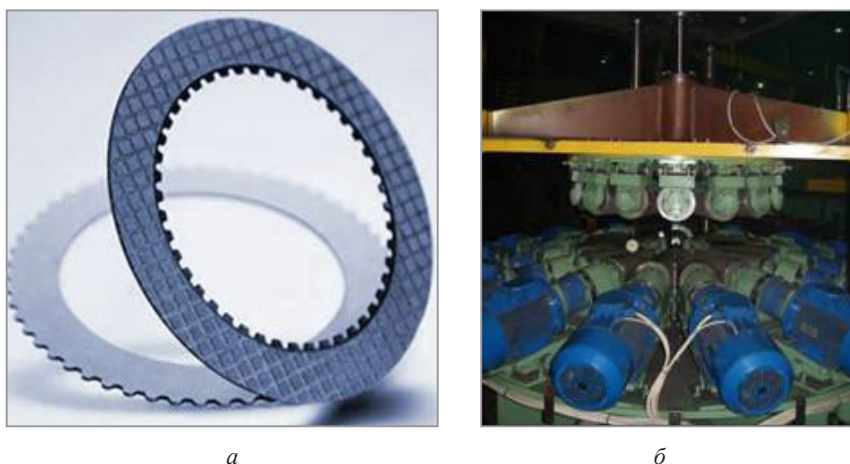


Рис. 12. Динамическая стабилизация фрикционных дисков:  
а – фрикционный диск, б – установка для динамической стабилизации



Рис. 13. Автоматизированная линия контроля и автоматической разбраковки по обрабатываемости не обточенных отливок ниппелей из ковкого чугуна КЧ 30–6



Рис. 14. Внешний вид электронного блока прибора МАКСИ-У и контролируемых болтов различных типов

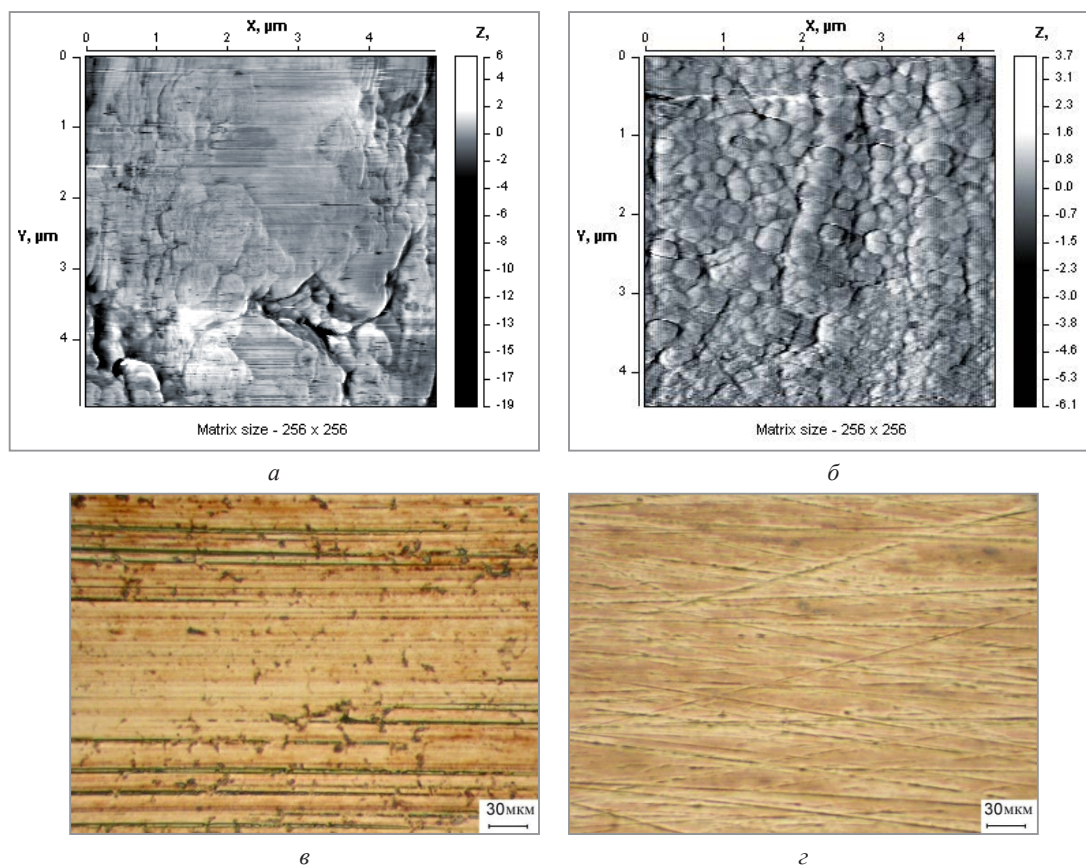


Рис. 15. АСМ – изображение (а, б) и микроструктура (в, г) поверхности трения немодифицированного (а, в) и модифицированного фуллеренами С60 керамического покрытия

Разработан процесс самопроизвольного синтеза керамических тугоплавких наночастиц в алюминиевых расплавах. При модифицировании эвтектического силумина АК12М2МгН наноструктурированным наполнителем на основе ультрадисперсного порошка диоксида кремния достигнуто измельчение эвтектики силумина в 20–30 раз (рис. 16). Это обеспечило повышение трибомеханических свойств в 1,5–5,0 раз при расширении диапазона рабочих нагрузок в 2 раза.

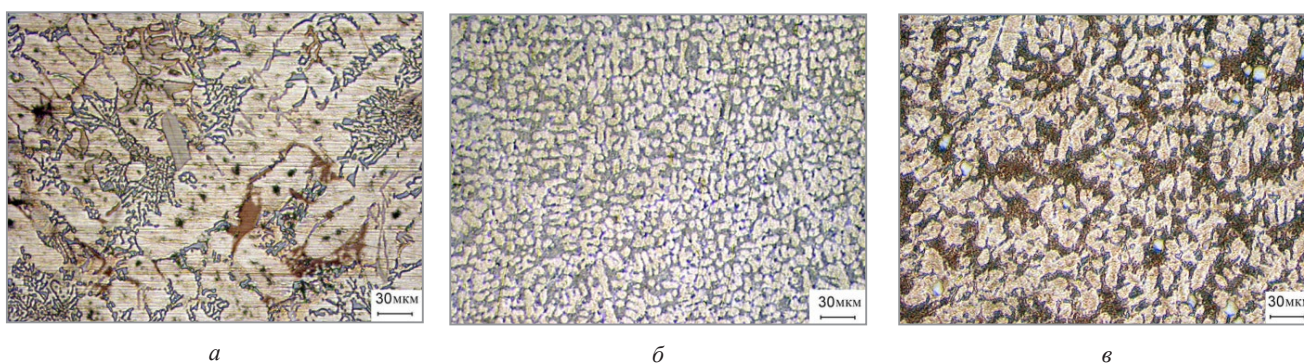


Рис. 16. Микроструктура сплава АК12М2МгН в состоянии поставки (а), модифицированного наноструктурированным наполнителем на основе ультрадисперсного диоксида кремния (б) и нитрида бора (в)

Полученные результаты применены для упрочнения узлов трения различного назначения. При упрочнении разработанным керамическим покрытием рабочих поверхностей дорогостоящего технологического оборудования ЗАО «АТЛАНТ» достигнуто повышение его срока эксплуатации в 10 раз (рис. 17 а, б). На ОАО «Полоцк-Стекловолокно» упрочнены керамическим покрытием запорные кольца оборудования для производства стекловолокна. Осуществлена замена шаров запорной газовой арматуры, изготавливаемых из дорогостоящей нержавеющей стали, на шары из сплавов алюминия с керамическим покрытием, что обеспечивает значительное повышение износостойкости этих деталей при одновременном снижении массы (рис. 17, в, г).



Рис. 17. Детали, упрочненные модифицированным углеродными наночастицами керамическим покрытием:  
*а, б* – подвижные вставки вакуум-форм для изготовления крупногабаритных полимерных комплектующих холодильников ЗАО «Атлант»; *в* – запорные кольца технологического оборудования ОАО «Полоцк-Стекловолокно»;  
*г* – шар газового крана РУП «Белгазтехника»

Институтом технологии металлов НАН Беларуси выполнен ряд заданий, по которым впоследствии организованы производства:

1. Цилиндрических заготовок из чугуна методом непрерывного литья намораживанием (рис. 18). Полученные заготовки поставляются по прямым договорам более чем 200 предприятиям.

2. Цинковых анодов для нанесения гальванических покрытий (рис. 19). Разработан способ непрерывного литья полос для создания автоматизированного технологического процесса изготовления горячекатаных цинковых анодов.

Создана импортозамещающая технология изготовления точноразмерных заготовок цинковых анодов литьем в кокиль, позволяющая существенно снизить стоимость цинковых анодов за счет уменьшения в 4 раза толщины заготовки под прокатку. Технология и оборудование существенно уменьшили затраты на закупку анодов по импорту, а также обеспечили поставку этой продукции на экспорт в Россию.

3. Свинцовых лент методом непрерывного литья, комплектующих деталей средств и приборов радиационного контроля и защиты для предприятий Госкомвоенпрома, атомной энергетики. Для реализации метода разработана и изготовлена изложница для литья качественных заготовок под прокатку (рис. 20). При этом в качестве сырья для производства свинцового листа используется свинцовый лом. Организовано импортозамещающее производство комплектующих деталей для приборов и средств радиационного контроля и защиты (более 15 наименований свинцовых деталей и 10 типов-размеров лент).

Разработаны технологические основы электрошлакового литья отливок с применением внутренних металлических холодильников. Это позволило получить литые детали дробильного оборудования с высокими требованиями к ударной вязкости и усталостной прочности (рис. 21, 22).

За счет использования литых деталей вместо изготовления их из поковок и проката стоимость изделий уменьшена на 46 %.

ОАО «БЕЛНИИЛИТ» разработаны теоретические и технологические основы производства отливок сложной конфигурации для станко- и тракторостроения с применением песчаных и комбинированных форм и стержней. Изготовлен экспериментальный образец комплекса для получения стержневых пакетов с последующей продувкой газовыми катализаторами (рис. 23).





Рис. 18. Установка и оборудование для непрерывного литья намерзанием



Рис. 19. Аноды цинковые

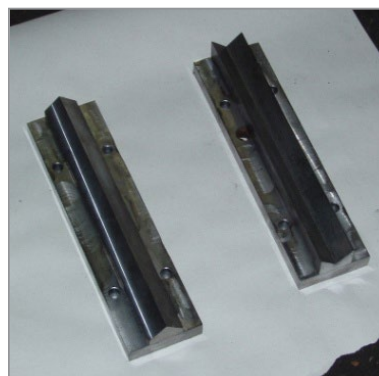


Рис. 20. Общий вид экспериментального кокиля и его составляющих



Рис. 21. Фрагмент барабана молотковой дробилки



Рис. 22. Литой армированный молоток



Рис. 23. Экспериментальный образец комплекса для изготовления стержневых пакетов, получаемых из песчано-смоляных смесей

Изготовлен комплект кокильной и стержневой оснастки для отливок лопастных колес гидротрансформаторов («Колесо турбинное 3301709203», «Реактор 3301709155», «Колесо насосное 330179101») и освоено их производство (рис. 24–27).

Данные отливки применяются для изготовления узла гидротрансформатора трехтонных погрузчиков производства ОАО «АМКОДОР» – управляющая компания холдинга». Их производство дает возможность отказаться от сварно-штампованного варианта изготовления данного вида изделий, что в свою очередь улучшает размерную точность изделий и существенно повышает качество автоматической коробки передач фронтальных погрузчиков.

Физико-техническим институтом НАН Беларуси разработаны состав, технология и режимы получения лигатур-модификаторов системы алюминий-натрий-фосфоросодержащие соли. Разработана технология получения износостойких литейных алюминиевых сплавов из вторичных ресурсов и наноструктурированных керамических частиц (рис. 28).

Созданные материалы могут найти применение в качестве ответственных изделий машиностроения, а также при освоении объектов новой техники, в частности для получения поршней, корпусов топливной аппаратуры в ДВС.



Рис. 24. Комплект кокильной оснастки



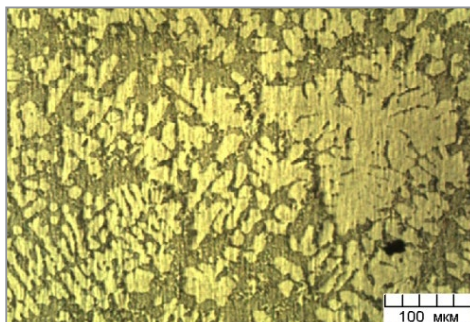
Рис. 25. Стержневая оснастка для производства отливки «Реактор 3301709155»



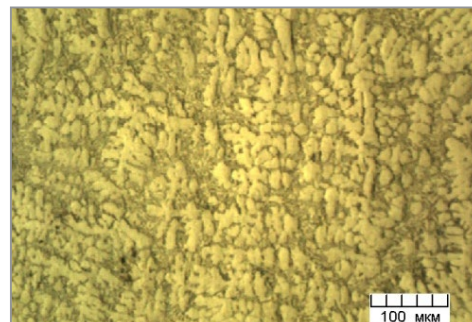
Рис. 26. Стержневая оснастка для производства отливки «Колесо насосное 330179101»



Рис. 27. Стержневая оснастка для производства отливки «Колесо турбинное»



*a*



*б*

Рис. 28. Структура сплава АК12М2МгН до (*a*) и после (*б*) модифицирования

Разработаны новые резистивные сплавы на основе силицидов и технологии изготовления из них мишеней методами литья. Установлены режимы диспергирования и гомогенизации порошковой шихты для импульсного прессования мишеней из литейных лигатур с содержанием кремния больше 50 мас. %. Показано преимущество схемы прессования в массивном контейнере с генератором плоской ударной волны для прессования мишеней. Применение данной схемы прессования позволило исключить операцию механической обработки мишеней по контуру. Получены заготовки мишеней с относительной плотностью 88–89% из резистивного сплава РС 1004 (рис. 29, 30). Разработаны оптимальные режимы изготовления высокоомных мишеней на основе литейных лигатур с содержанием кремния больше 50 мас. %, обеспечивающие получение заготовок мишеней с отклонением плотности по высоте и диаметру заготовки менее 1,5–3,0% (рис. 31).

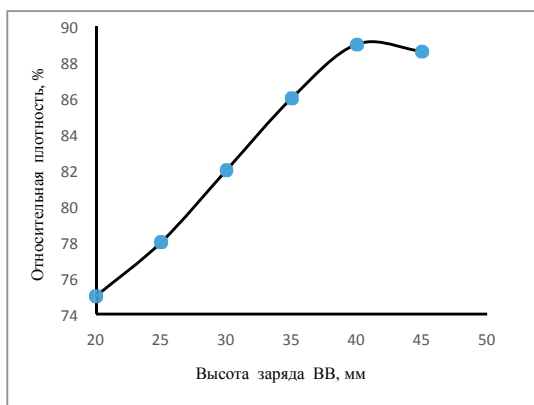


Рис. 29. Зависимость относительной плотности прессовки из резистивного сплава РС 1004 от высоты заряда

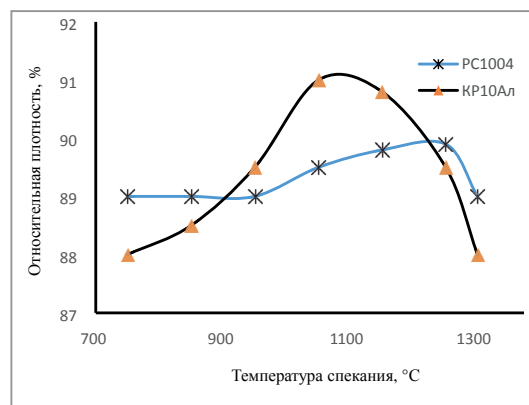


Рис. 30. Зависимость относительной плотности прессовки из резистивного сплава РС 1004 от температуры спекания



Рис. 31. Прессовка из резистивного сплава состава РС 1004

Применяемые методы могут быть использованы для создания широкого спектра резистивных материалов и изделий.

Белорусским национальным техническим университетом ведется ряд теоретических исследований, направленных на повышение эффективности процесса получения стали. Разработана физико-химическая модель процесса рафинирования расплава в дуговой сталеплавильной печи, позволяющая оценивать взаимодействие между шлаком и расплавом, в частности рассчитывать распределение фосфора. Модель апробирована на 100-тонной печи ЭСПЦ-2 БМЗ. Данная модель позволяет сократить расход шлакообразующих материалов, время плавки и снизить энергозатраты на плавку.

На основе трехмерного математического аппарата, описывающего температурные поля и поля напряжений, разработаны метод оценки и критерий термостойкости промышленных объектов (оснастки, отливки) любой конфигурации. Метод реализован в виде программного комплекса. Разработаны математические модели для трехмерного расчета полей температур и напряжений в промышленном объекте любой пространственной конфигурации и реализованы в виде программного комплекса, позволяющего проводить исследования динамики изменения температуры и напряжения в любом промышленном объекте, в том числе и в кокиле любой конфигурации.

С учетом физико-химических и тепловых процессов определены пределы изменения общего КПД электрических печей, печей с комбинированными источниками и печей, работающих в дуплекс-процессах в зависимости от условий их работы. Проведено обоснование наиболее эффективного использования электрических печей (электродуговых, индукционных тигельных, индукционных канальных) в процессах плавки чугуна и анализ их эффективности в сравнении с коксовыми и коксогозовыми вагранками.

Определена зависимость экономического эффекта использования топлива в электрических печах от коэффициента использования топлива и повышения производительности при различных значениях амортизационных отчислений и тарифов на электрическую энергию и топливо, а также уровне рентабельности продукции (рис. 32).

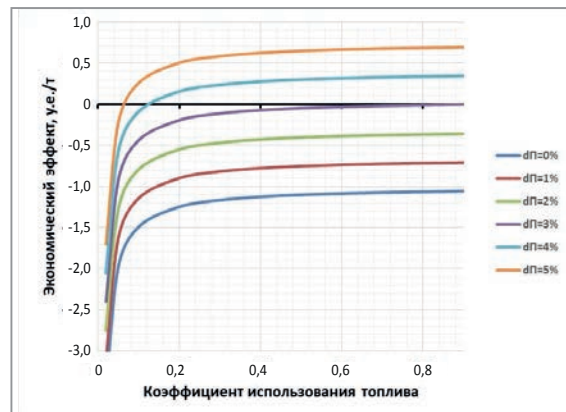


Рис. 32. Экономический эффект использования природного газа в электрической печи в зависимости от коэффициента использования топлива и повышения производительности

Проанализированы основные реконструктивные мероприятия, повышающие эффективность работы топливных и электрических термических (химико-термических) печей. Разработана методика выбора оптимальной степени рекуперации теплоты отходящих газов для топливных печей, позволяющая минимизировать издержки на топливо и конструкцию и обслуживание рекуператора. Предложен критерий выбора нагревательных элементов, учитывающий как конструкцию, так и способы размещения.

Разработана методика, позволяющая оценивать равностоимостные коэффициенты полезного действия для топливных и электрических печей, эксплуатируемых при различных режимах работы (в 1, 2 и 3 смены и при различных коэффициентах загрузки оборудования), и при различных тарифах и способах оплаты за электроэнергию и принимать решение об использовании того или иного типа отопления. Предложены принципы регулирования технологическим процессом в печах химикотермической и термической обработки (рис. 33). Разработаны функциональные схемы управления тепловой нагрузкой и составом атмосферы печей химико-термической обработки.



Рис. 33. Функциональная схема регулирования топливной печи химико-термической обработки

Разработаны эффективные раскислители на основе продуктов переработки алюминийсодержащих отходов. Установлено, что алюминиевые гранулы, полученные по сухой технологии из отходов алюминия, обеспечивают стабильный раскислительный эффект при меньшем расходе по сравнению с гранулами, сформированными в воде (рис. 34).

Подтверждена способность к разжижению рафинировочных шлаков у раскислительной смеси, полученной из отходов переработки вторичного алюминия (ОПВА), что позволяет отказаться от использования для этих целей плавикового шпата (рис. 35). Показана возможность использования отходов от переработки вторичного алюминия для получения разжижителей рафинировочного шлака, что позволяет отказаться от применения плавикового шпата, повысить стойкость футеровки сталеразливочного ковша в районе шлакового пояса, снизить затраты на выпечную обработку стали и улучшить экологическую обстановку.

В условиях Молдавского металлургического завода проведены испытания по использованию алюминиевых гранул, полученных из отходов производства по сухой технологии, для раскисления стали при выпуске из печи и проверена эффективность разработанных разжижителей рафинировочного шлака.

Выполнены моделирование гидродинамических процессов и анализ эффективности конструкции литниково-питающих систем, предназначенных для получения отливок-заготовок обрабатывающего инструмента и оснастки. На основании полученных результатов изготовлены экспериментальные образцы режущих вставок РКС-1 и ДВ-22 резцов горнопроходческих комбайнов из сталей ледебуритного класса Р6М5 и Р18 (рис. 36).

Сформулирована математическая модель процесса затвердевания заготовки в условиях МНЛЗ, включающая уравнения теплопроводности, движения расплава в жидком ядре заготовки, массообмена. Достоинством данной модели является возможность более точного учета особенностей конструкции МНЛЗ и технологии непрерывной разливки. С использованием разработанной методики определены границы интенсивности внешних динамических воздействий. Предложен рациональный режим организации «мягкого» обжатия.

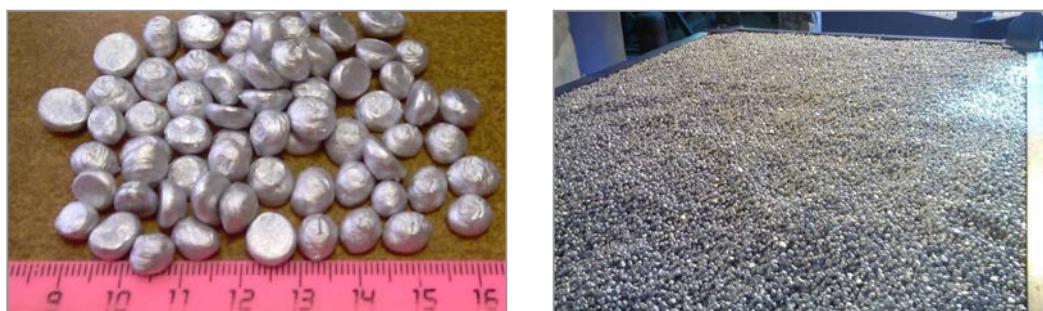
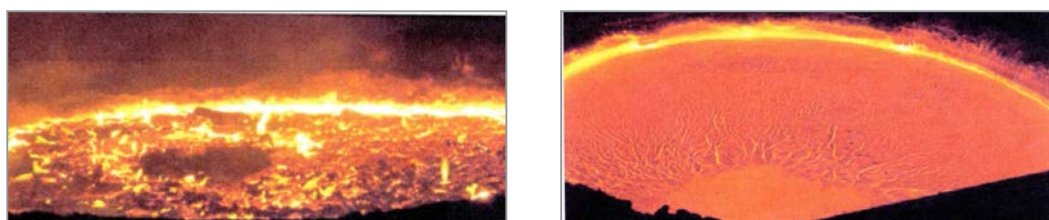


Рис. 34. Партия алюминиевых гранул, полученных по «сухой» технологии из отходов алюминия



а

б

Рис. 35. Поверхность рафинировочного шлака до (а) и после добавки разжижителя на основе ОПВА (б)



Рис. 36. Вставки диаметром 8 и 18 мм

Учет зависимости максимально допустимой интенсивности внешних воздействий от температуры перегрева расплава при управлении работой систем внешних динамических воздействий обеспечивает получение стабильных результатов в плане повышения качества структуры непрерывнолитых заготовок, позволяет снизить расход электроэнергии при работе данных систем за счет регулирования мощности в зависимости от температуры перегрева (рис. 37). Реализация рекомендаций по совершенствованию режима работы системы «мягкого» обжата позволит обеспечить стабильность качества осевой зоны заготовки.

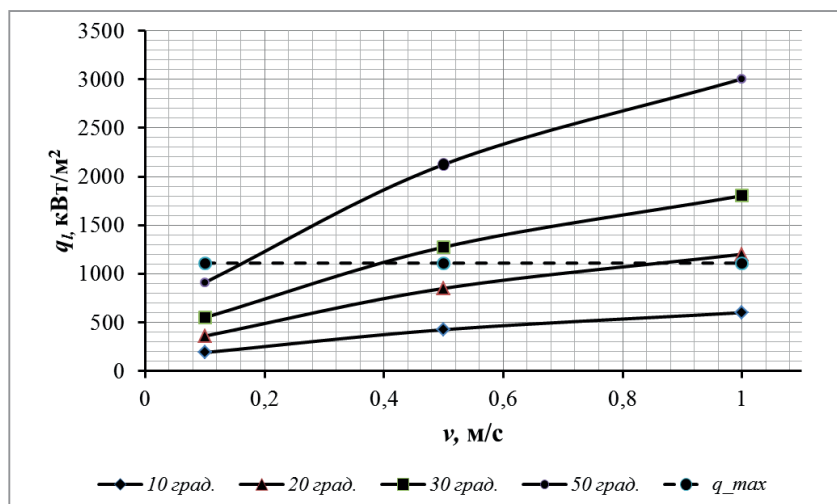


Рис. 37. Сравнение расчетных значений интенсивности теплообмена на фронте кристаллизации при различных температурах перегрева расплава с пороговым значением плотности теплового потока  $q_{max}$ , при котором начинается плавление твердой фазы (в кристаллизаторе МНЛЗ)

Впервые для тяжело нагруженных подшипников качения применена углеродистая инструментальная сталь марки У8А (рис. 38). Для достижения уровня механических свойств сопоставимых с традиционной сталью ШХ15 разработана технология объемно-поверхностного упрочнения с самоотпуском. Технологический процесс упрочнения осуществляется на спроектированном и изготовленном оборудовании. Благодаря оптимальным режимам нагрева и закалочного охлаждения формируется дифференцированное распределение твердости и микроструктуры по сечению колец подшипника. Стендовые испытания показали, что износостойкость подшипников из стали марки У8А не уступает традиционным из стали марки ШХ15.



Рис. 38. Подшипники качения с кольцами из стали У8А

Разработанная технология может быть реализована при изготовлении и упрочнении деталей автомобильной промышленности. Использование технологии позволяет сократить энергоемкость, снизить себестоимость упрочнения изделий.

НТП БНТУ «Политехник» разработан состав утеплительной экзотермической смеси с ультрадисперсными частицами для открытых прибылей. Преимущества использования экзотермической смеси для открытых прибылей заключаются в повышении эффективности работы прибыли, в возможности уменьшения прибыльной части на 20–30%, что приводит к снижению себестоимости готовой продукции (рис. 39, 40).

Разработан состав и изготовлена партия смесового модификатора с ультрадисперсными частицами для обработки расплава чугуна СЧ20. Проведено его промышленное опробование на



Рис. 39. Прибыльная часть отливки с использованием экзотермической смеси



Рис. 40. Излом проб из серого чугуна СЧ20, обработанного модификатором

ОАО «Могилевлифтмаш», которое показало, что эффективность предлагаемого модификатора выше, чем применяемых на заводе модификаторов производства Российской Федерации. Данный модификатор может быть рекомендован для повышения качества продукции из серых чугунов.

Разработаны экологически безвредная универсальная смесь КСК на основе карбонатов кальция и стронция и технологическое решение, обеспечивающее повышение экологической чистоты процесса рафинирования и модифицирования алюминиевых сплавов на базе созданного препарата (рис. 41).

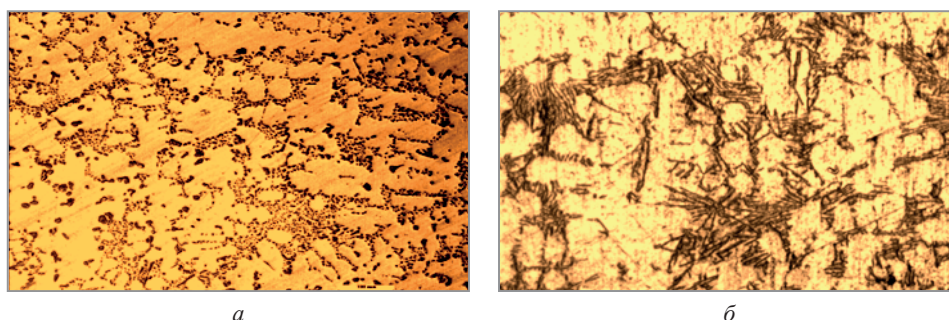


Рис. 42. Микроструктура сплава до (а) и после обработки КСК (б)

Разработаны технические условия ТУ ВУ100354447.089–2013 «Флюс комплексный для обработки цветных металлов и сплавов». Используется в действующем производстве ОАО «Уралэлектро СТМ» (г. Медногорск), ООО «Петровский механический завод» (г. Петровск).

Институтом порошковой металлургии совместно с БНТУ разработаны составы керамических антипригарных покрытий, модифицированных наноструктурированными материалами, обеспечивающие получение бездефектных отливок с высоким качеством поверхности (табл. 2).

Таблица 2. Состав разработанного антипригарного покрытия

Компонент	Оптимальная концентрация, %
Дистен-силлиманит ТУ 14–10–017 (базовый огнеупорный наполнитель)	40,9–49,2
Поливинилацетатная дисперсия марки ДФ51/15ВП ГОСТ 18992–80 (связующее)	3,5–4,3
Наноструктурированный бемит ТУ 2133–001–76634032–2006 (модификатор)	1–5
50%-ный водный раствор алифатического изопропилового спирта марки АИПС ГОСТ 9805–84 (дисперсионная среда)	остальное

Покрытия обладают высокой седиментационной устойчивостью (99%), что позволяет их использовать без перемешивания в течение рабочей смены; обеспечивают формирование на поверхности литейной формы необходимого по толщине слоя 1,0–1,2 мм; обладают проникающей способностью 0,3–0,7 мм. При этом прочность на истирание противопригарных покрытий возрастает на 25 %.

Белорусским государственным технологическим университетом разработана ресурсосберегающая технология термической обработки стальных изделий в водно-акриловых охлаждающих средах. Закалка в водно-акриловых средах обеспечивает высокое качество изделий по структуре и механическим показателям, исключается эффект смачивания полимером поверхности деталей и его налипания на деталь (рис. 43).

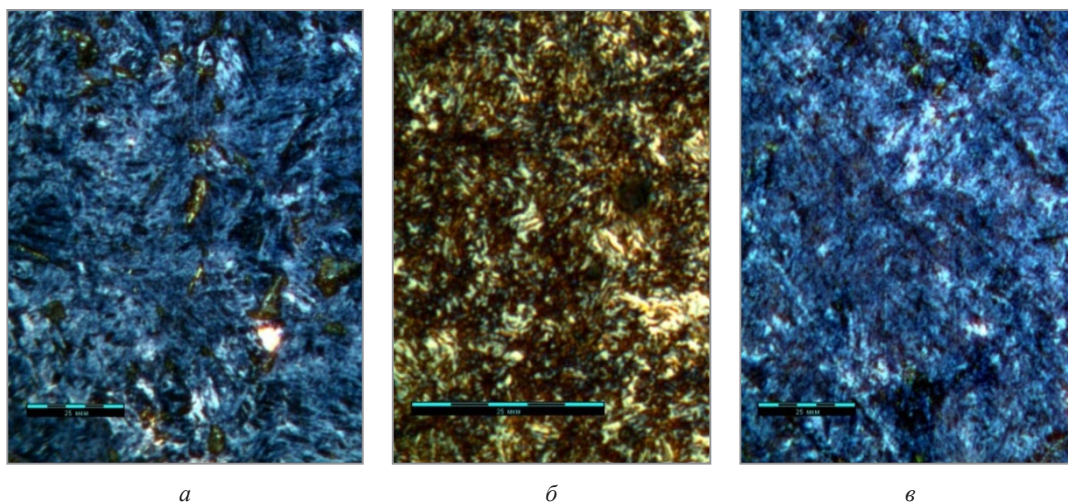


Рис. 43. Структура деталей после закалки в водно-акриловой охлаждающей среде:  
*а* – шайба 260–1005055; *б* – шайба 260–1002161; *в* – шайба 50–1006017

Водно-акриловые закалочные среды способствуют уменьшению слоя окалины на поверхности деталей. Стоимость рабочего состава закалочной среды на порядок ниже стоимости охлаждающих сред из минеральных масел, а срок эксплуатации значительно выше. При этом отсутствует проблема утилизации отходов.

Гомельским государственным техническим университетом для ОАО «БМЗ» разработан способ повышения производительности изготовления сверх- и ультрапрочного металлокорда путем повышения скорости процесса тонкого волочения стальной высокоуглеродистой проволоки и процесса свивки металлокорда из тонкой проволоки. Предложены новые маршруты волочения проволоки, отличающиеся повышенной равномерностью деформации сечения проволоки, низкой температурой волочения при высоких скоростях волочения. Разработаны практические рекомендации по модернизации узлов трения канатных машин (рис. 44) путем использования комбинированной конструкции фрикционных дисков, включающей облегченную основу и металлополимерное композиционное износостойкое покрытие, что позволило обеспечить снижение металлоемкости фрикционных узлов до 25 %

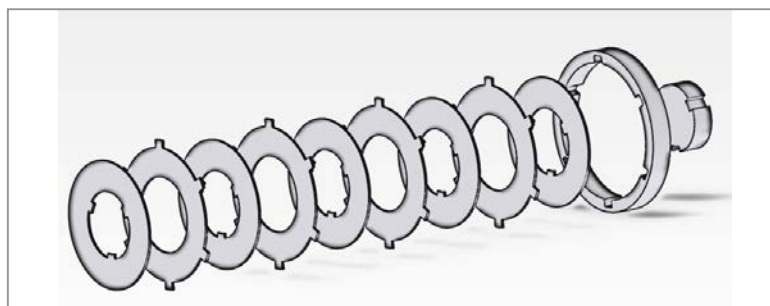


Рис. 44. Развернутая модель узла свивки металлокорда

Установлены и рекомендованы к внедрению величины скоростей волочения, обеспечивающие более равномерное распределение микротвердости по сечению проволоки. Разработана методика расчета оптимальной величины единичной вытяжки тонкого волочения в производстве сверхпрочного металлокорда, позволяющая выполнять процесс тонкого волочения проволоки с оптимальной интенсивностью упрочнения.