

ИНЖЕНЕР- МЕХАНИК

№ 4 (53)
октябрь – декабрь
2011

Республиканский межотраслевой производственно-практический журнал
Издается с июля 1998 года
Выходит один раз в три месяца

Учредитель — Белорусское общество инженеров-механиков

Главный редактор академик С.А. Астапчик

Редакционная коллегия: М.С. Высоцкий, М.А. Андреев, В.Н. Дашков, А.М. Захарик, А.Б. Зуев, В.Л. Колпашиков, Л.Н. Крупец, Д.И. Корольков, Г.С. Лягушев, Е.И. Медвецкий, М.Г. Мелешко, С.А. Чижик

Адрес редакции:

220141, Минск, ул. Купревича, 10 (ранее Жодинская, 4)

тел./ факс 203-88-80; 226-73-36

E-mail: mail@boim.by

Свидетельство о регистрации № 1132 от 21.04.1998

Подписной индекс 00139

Компьютерная верстка Н.В. Райченко

Подписано в печать 28.11.2011.

Формат 60×84/8. Бумага офсетная.

Гарнитура «Таймс». Печать офсетная.

Усл. печ. л. 5,6. Уч.-изд. л. 4,76.

Тираж 250 экз. Заказ № 274.

Цена номера договорная.

Отпечатано с оригинал-макета заказчика в ГНУ «Физико-техническом институте НАН Беларуси».

Лицензия ЛП № 02330/0494176 от 3.04.2009 г.

220141, г. Минск, ул. Купревича, 10.

СОДЕРЖАНИЕ

Юбилей

90 лет БГУ.....2

Мержанов Александр Григорьевич (к 80-летнему юбилею).....5

Гордиенко Анатолий Илларионович (к 70-летнему юбилею).....6

Разработки ученых и специалистов

Композиционные материалы в конструкциях лопастей ветровых турбин большой мощности.....8

Развитие теории и технологий обработки металлов давлением в физико-техническом институте.....12

Синтез керамических материалов футеровок теплотехнических агрегатов.....20

Газопламенное напыление покрытий.....26

Возможности повышения работоспособности башенных кранов с нижним расположением ОПУ.....34

Силовые установки малоразмерных беспилотных летательных аппаратов (БЛА).....38

Струйно-нишевая технология сжигания топлива.....42

Страницы истории

Из студентов-недоучек — в главные конструкторы (окончание).....45

90 ЛЕТ БГУ

Елена Беганская, фото автора, «Веды»

Большой юбилей отмечает в этом году один из крупнейших культурных, образовательных, научных и инновационно-производственных центров страны. 90 лет назад 30 октября открыл двери для своих первых студентов Белорусский государственный университет.

В далеком 1921 г. ими стала первая тысяча человек, поступивших на рабочий, медицинский факультеты и факультет общественных наук. За богатую историю число факультетов и образовательных учреждений выросло до 26, а обучающихся — до 30 тыс. Активно растет и научно-исследовательская база вуза-юбилера. Сегодня в БГУ работает 290 докторов и 1370 кандидатов наук, 15 академиков и 16 членов-корреспондентов НАН Беларуси. А помимо образовательных подразделений в БГУ входят 13 научно-исследовательских институтов и центров, 41 научно-исследовательская лаборатория и 11 унитарных производственных предприятий.

Сегодня Университет — не только ведущее высшее учебное заведение нашей страны, но и крупный научно-производственный комплекс. БГУ — головной исполнитель ряда ГКПНИ, ГПФИ, ГПОФИ, госзаказчик ГНТП «Химические технологии и производство» и головная организация-исполнитель ГНТП «Новые лекарственные средства». Структурные подразделения вуза участвуют в проектах в рамках основных международных программ. Только в 2010 г. в Университете выполнялось 911 тем НИР, хозяйственных договоров и международных проектов с объемом финансирования 48,6 млрд руб., а общий объем финансирования по проектам и различным международным грантам в 2007–2009 гг. составил 2,03 млн евро.

На 11 унитарных производственных предприятиях, входящих в состав Белгосуниверситета, трудится более 500 человек. Сферы их производств охватывают ювелирную, топливную отрасль,



медицину и медицинское оборудование, информационные технологии и документооборот, измерительные системы, пищевую промышленность, растениеводство, обучающее лабораторное оборудование и издательскую деятельность. Важно, что большинство предприятий сформировалось на основе научно-исследовательских лабораторий и институтов Белгосуниверситета. Их продукция востребована не только в Беларуси, но и в странах Европы, СНГ, Израиле, Индии, США и Японии. Все эти факты говорят о том, что БГУ смог реализовать цепочку «идея – разработка – производство – реализация продукции».

Юбилейный для Белгосуниверситета год ознаменовался многими событиями и знаковыми мероприятиями. Высокая оценка достижений Университета в очередной раз подтвердилась тем фактом, что ректор БГУ, академик НАН Беларуси Сергей Абламейко, избран действительным членом Европейской Академии (Academia Europaea). Он стал первым белорусским ученым, избранным в состав этой престижной научной организации.



С.Абламейко награждает молодых ученых

Что свои академические корни, БГУ позаботился об учреждении двух премий в области общественных и естественных наук имени Владимира Пичеты и Антона Севченко, а на минувшей неделе произошло торжественное открытие мемориальных досок этих знаковых для Университета личностей, известных и далеко за пределами Беларуси ученых. Филолог-славист В. Пичета был главным организатором, основателем БГУ и его первым ректором, а физик А. Севченко заложил научную основу естествознания в Университете. Стоит сказать и о других академиках и членах-корреспондентах, участвовавших в создании первого вуза страны и его научных школ. Это географ Я. Афанасьев, биолог Г. Винберг, математик В. Крылов, физик Ф. Федоров, историк Н. Никольский и мн. др.

Поскольку руководство Университета традиционно уделяет огромное внимание научной жизни, неделя масштабных юбилейных мероприятий, посвященных 90-летию БГУ началась со встречи С. Абламейко с молодыми учеными. Она завершила насыщенные Дни молодежной науки БГУ, которые проводились с 12 октября. С. Абламейко отметил этапы работы Университета с перспективной для науки молодежью, которая проводится уже со школ. Это различные олимпиады, конкурсы научных работ школьников, конференции. На многих факультетах работают школы юных ученых. В дальнейшем уже студентам предоставляются возможности для занятий научными исследованиями как на факультетах, так и в научно-исследовательских институтах и центрах.

Ежегодная конференция студентов и аспирантов, республиканский конкурс научных работ студентов, конкурс грантов БГУ, конкурсы на лучшую научно-исследовательскую лабораторию БГУ и лучшую научную работу — крупные локальные и республиканские мероприятия, ответственность за проведение которых лежит на Университете. В планах организация конкурса научных работ на международном уровне.

Львиная доля организационной работы нередко отводится Совету молодых ученых БГУ, который был создан 7 сентября 2009 г. Некоторые свои результаты продемонстрировали на встрече с ректором его члены, представители юридического, филологического, исторического, биологического факультетов. Был интересен опыт и организации конференций

только силами молодых ученых, которые смогли обеспечить их проведение на высоком уровне. Об этом, в частности, рассказала кандидат исторических наук Наталья Кошелева, представляющая исторический факультет.

В открытии организованного силами молодых ученых факультета форума принимал участие директор Института истории НАН Беларуси, В. Данилович.

Академические ученые-филологи традиционно приглашаются на мероприятия, которые организуют молодые ученые филологического факультета, а это мастер-классы, семинары и конференции. Об этом рассказала представительница филфака Ольга Прокопчук, которая осветила все сферы активности молодых ученых факультета: от создания своего сайта и проведения конкурса молодых ученых на лучшую кандидатскую диссертацию до проведения семинаров для студентов и благотворительных акций. Представительница биофака, кандидат биологических наук Ирина Феклистова сделала акцент на плодах инновационной деятельности ученых БГУ на примере разработок своего факультета и лаборатории (*подробнее см. «Веды» № 33 от 15.08.2011 г.*). Передовые разработки молодых ученых БГУ были представлены на прошлогоднем молодежном инновационном форуме «ИНТРИ-2010». Они постоянно собирают награды и за рубежом.

К юбилейным мероприятиям отнесена и открытая на географическом факультете 24 октября недельная выставка научно-технической продукции Белорусского государственного университе-



та. Первую экскурсию по ней провел проректор по научной работе БГУ, академик Олег Ивашкевич. В семи разделах экспозиции представлено более ста экспонатов. Здесь можно увидеть, в частности, коллекции музеев исторического и географического факультетов, а также лучшие результаты деятельности университетских производств.

В среду, 26 октября, состоялось торжественное заседание Ученого совета БГУ. А в четверг и пятницу работала приуроченная к юбилею Международная научная конференция «Университет, общество, инновационное развитие». Она собрала руководителей вузов, научных учреждений со всех белорусских регионов, а также делегации 30 университетов и восьми институтов из 15 стран. С. Абламейко открыл двухдневный форум докладом «Белорусский государственный университет в международном научно-образовательном пространстве: состояние и перспективы». Помимо многочисленных приветствий кол-

лег и друзей Университета состоялась торжественная церемония поздравления ректора Харбинского университета науки и технологий (Китай) Ли Дэйонга и ректора Российского университета дружбы народов, академика Владимира Филиппова с присвоением им звания «Почетный профессор БГУ». Во второй день работы конференции с докладами выступили ректор МГУ, академик Виктор Садовничий, ректор Гуманитарной академии им. Гейштора, профессор Адам Косески (Польша), научный руководитель Института философии России, академик РАН, профессор Вячеслав Степин и другие гости. Кроме того, двухдневные выступления прошли в рамках работы «круглых столов», которые

состоялись на факультетах: географическом, международных отношений, экономическом, биологическом, историческом, гуманитарном, радиофизики и компьютерных технологий, физическом, химическом, механико-математическом, философии и социальных наук, прикладной математики и информатики и филологическом.

После завершения работы конференции 28 октября состоялось финальное юбилейное мероприятие — торжественное заседание во Дворце Республики. Ведущий вуз страны поздравили представители государственных органов власти, министерств и ведомств. Были вручены и награды преподавателям, сотрудникам, ученым БГУ. В честь большого юбилея своими наградами сотрудников БГУ отметили НАН Беларуси и ГКНТ.

(газета «Веды»,
№ 44(2356) 31 кастрычніка 2011 г.)

МЕРЖАНОВ АЛЕКСАНДР ГРИГОРЬЕВИЧ (к 80-летию юбилею)



Коллектив Физико-технического института НАН Беларуси сердечно поздравляет Вас со славным юбилеем!

Являясь автором замечательного научного открытия – явления волновой локализации авто-

тормозящихся твердофазных реакций, Вы создали принципиально новый высокоэффективный путь получения большого числа тугоплавких соединений и передовых материалов — самораспространяющийся высокотемпературный синтез. На основе выполненных Вами и Вашими учениками глубоких теоретических и экспериментальных исследований, Вы создали новое оригинальное научное направление — структурную макрокинетику и крупную научную школу в области СВС. Благодаря Вашим впечатляющим научным и прикладным результатам и, не в меньшей степени, организаторскому таланту, в Черноголовском научном центре Российской Академии наук возник Институт структурной макрокинетики и проблем материаловедения, известный во всем мире как ИСМАН.

Подобно самоподдерживающейся волне СВС, Ваши идеи распространились сначала по бывшему СССР, а далее по всему миру, инициировав создание исследовательских центров по СВС во многих странах. Достижения Вашей научной школы вдохновили многих исследователей в Беларуси, в т. ч. и в Физико-техническом институте, заняться изучением и применением СВС-процессов.

В день Вашего юбилея желаем Вам крепкого здоровья, счастья и оптимизма, новых достижений и процветания Вашей научной школы. Надеемся еще много лет черпать новые идеи и творческое вдохновение из Ваших работ и общения с Вами и Вашими учениками.

ГОРДИЕНКО АНАТОЛИЙ ИЛЛАРИОНОВИЧ (к 70-летнему юбилею)



18 декабря 2011 г. исполнилось 70 лет со дня рождения известного ученого в области теории скоростной термической обработки металлических материалов и металлофизики быстропротекающих процессов, технологии металлических и композиционных материалов, академика НАН Беларуси, доктора технических наук, профессора, лауреата Государственной премии БССР в области науки и техники, директора Физико-технического института НАН Беларуси Анатолия Илларионовича Гордиенко.

В 1965 г. А.И. Гордиенко успешно закончил по специальности «Физика» Белорусский государственный университет, работал учителем физики в средней школе. С 1966 г. жизнь и судьба Анатолия Илларионовича неразрывно связана с Физико-техническим институтом, в котором он с

1966 по 1969 г. обучался в аспирантуре, а затем работал с 1969 по 1990 г. на различных должностях в подразделениях: главный инженер лаборатории, младший научный сотрудник, старший научный сотрудник, главный научный сотрудник, заведующий лабораторией, заведующий отделом. С 1990 по 2002 г. А.И. Гордиенко — заместитель директора по научной работе института, а с 2002 г. — директор ФТИ НАН Беларуси. Диссертацию на соискание ученой степени кандидата технических наук А.И. Гордиенко успешно защитил в 1970 г., а на соискание ученой степени доктора технических наук — в 1983 г. Ученое звание профессор ему было присвоено в 1991 г., в 1996 г. он был избран в члены-корреспонденты НАН Беларуси, а в 2003 г. стал академиком.

Анатолием Илларионовичем Гордиенко разработаны теория фазовых и структурных превращений в титановых сплавах в условиях высокоскоростной термической обработки, концепция формирования гетерогенных структурных состояний в сплавах при воздействии интенсивных потоков энергии, объяснена физическая природа процессов структурной перекристаллизации, рекристаллизации и распада метастабильных фаз. Результаты научных исследований, выполненных А.И. Гордиенко, стали значимой основой для создания и внедрения в авиационной и металлургической промышленности новых технологий и автоматизированного оборудования поверхностного и объемного термоупрочнения полуфабрикатов и изделий из дисперсионно-твердеющих сплавов, а также металлических материалов, работающих в экстремальных условиях. За создание технологии и оборудования для получения броневых гетерогенных материалов и организацию их крупносерийного производства для средств индивидуальной защиты А.И. Гордиенко в составе авторского коллектива присуждена в 1988 г. Государственная премия БССР в области науки и техники.

Исследования в области физики разрушения многослойных композитов и высокопрочных материалов с использованием сталей, титановых сплавов, керамики и синтетических материалов, выполненные за последние годы А.И. Гордиенко и его учениками, позволили решить важную для республики проблему организации серийного производства баллистических композиционных материалов и средств индивидуальной бронезащиты нового поколения для спецслужб МВД и вооруженных сил республики, обеспечить потребности республики в этих видах вооружения. Созданные новые конструкции моноблоков для средств бронезащиты по своим защитным свойствам не уступают зарубежным, а по некоторым превосходят их.

Приятно отметить особое внимание, которое А.И. Гордиенко, его ученики и сотрудники уделяют в последнее время разработкам высокопрочных биосовместимых титановых сплавов для ортопедических имплантатов, других изделий медицинской техники, технологий их получения с использованием методов обработки давлением, термоупрочнения, нанесения функциональных покрытий, что нашло достойное применение в производстве данных изделий и внедрено в клиническую практику.

А.И. Гордиенко — автор более 340 научных работ, в т. ч. 11 монографий, более 60 патентов и изобретений. Под его руководством подготовлены 13 кандидатов наук. Среди его учеников 3 доктора наук.

А.И. Гордиенко осуществляет большую научно-организационную деятельность. Он является членом специализированного совета по защите докторских диссертаций, экспертного совета Государственного высшего аттестационного комитета Республики Беларусь, редколлегии журнала «Весці Нацыянальнай акадэміі навук Беларусі» (серия фізіка-тэхнічных навук), с 2004 г. — член редколлегии сборника научных трудов «Порошковая металлургия». Он является Председателем ученого совета государственного научного учреждения «Физико-технический институт Национальной академии наук Беларуси», Председателем научного совета по государственной программе прикладных исследований «Материалы в технике», Председателем научно-технического совета по государственной научно-технической программе «Технологии».

Благодаря своему высокому научному авторитету и организаторским способностям, доброжелательности, отзывчивости и неиссякаемому оптимизму, А.И. Гордиенко пользуется заслуженным уважением в широких научных кругах республики, ближнего и дальнего зарубежья.

Редакционная коллегия, коллектив ГНПО и Института порошковой металлургии сердечно поздравляют Вас, Анатолий Илларионович, с юбилеем, желают Вам здоровья, энергии и новых успехов в научно-педагогической и организационной деятельности.

КОМПОЗИЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ В КОНСТРУКЦИЯХ ЛОПАСТЕЙ ВЕТРОВЫХ ТУРБИН БОЛЬШОЙ МОЩНОСТИ

Л.Р. Вишняков, Л.Н. Переселенцева

*Институт проблем материаловедения им. И.М. Францевича НАН Украины
г. Киев, Украина*

Развитие ветроэнергетики объявлено в Украине одним из главных национальных проектов страны. В связи с этим повышенное внимание уделяется полимерным композиционным материалам (ПКМ) — стекло- и углепластикам, которые являются основными материалами для конструкций лопастей ветровых агрегатов. В последние годы развитие мировой ветроэнергетики связано с производством и эксплуатацией мощных агрегатов, в которых применяются композитные лопасти длиной до и более 80 метров. При таких размерах лопастей становится чрезвычайно желательным их изготовление на промышленных площадях, близких к месту расположения ветростанции. В порядке подготовки организационно-технических решений о производстве и эксплуатации в Украине ветровых агрегатов нами рассматривается участие в решении двух проблем. Первая из них — производство высокопрочных высокомодульных углеродных волокон (УВ) из полиакрилонитрильного (ПАН) сырья для углепластиков, используемых в конструкциях ветролопастей,

вторая — разработка и изготовление токопроводящих сетчатых материалов для защиты лопастей от ударов молнии.

После авиационной и ракетно-космической техники объемы использования высокопрочных высокомодульных УВ в ветроэнергетике являются наибольшими. По опубликованным данным мировое потребление УВ из ПАН-сырья в 2010 г. составило 5700 т, а в 2013 г. по прогнозу ожидается выпуск 11700 т УВ. Особенностью УВ применительно к ветроэнергетике является то, что для нагрузок, развиваемых в ветролопастях, можно ограничиться среднепрочными марками УВ, например, на уровне характеристик японских волокон марки T300 (табл. 1).

Планируя выпуск новых УВ, необходимо предусматривать производство и среднепрочных волокон, которые по технико-экономическим соображениям являются более подходящими для ветроэнергетики и строительства, нежели высокопрочные волокна марок T700(800), в которых в большей мере заинтересован авиакосмический комплекс Украины.

Табл. 1

Свойства некоторых углеродных волокон, выпускаемых компанией «Торей»

Тип волокна	Количество филаментов	Прочность, ГПа	Модуль упругости, ГПа	Удлинение, %	Линейная плотность, текс.	Плотность, г/см ³
T300	1000	3,53	230	1,5	66	1,76
	3000				198	
	6000				396	
	12000				800	
T700S	6000	4,9	230	2,1	400	1,8
	12000				800	
	24000				1650	
T800H	6000	5,49	240	1,9	223	1,81
	12000				445	

Характеристики конструкционных углепластиков на основе УВ марки Т300 и эпоксидного связующего показаны в табл. 2. Здесь же приведены свойства композитов аналогичного состава российского производства.

Анализ приведенных в табл. 1 и 2 данных показывает, что при наличии УВ собственного производства или УВ, импортированных из России и других стран, изготовление в Украине композитных ветролопастей является вполне реальным.

Следует отметить, что повысить эффективность использования среднепрочных углерод-

ных волокон в ветролопастях можно за счет наномодифицирования эпоксидного связующего углепластиков, применяемых в конструкции лопастей. Нами разрабатываются технологии получения углеродных наночастиц из отходов растительного происхождения (опилки, стружка древесины), которые в процессе пиролитической, механо-термической обработки в присутствии катализаторов, антипиренов и некоторых добавок превращаются в наноразмерные углеродные частицы кристаллического строения (рис. 1).

Табл. 2

Характеристики конструкционных углепластиков, рекомендуемых для ветроэнергетики

Характеристика	Производство России		Мировое производство	
	УОЛ-300-1А связующее ЭДТ-69Н	ЭЛУР-ПА связующее ЭДТ-69Н	Т300 связующее эпоксид 5208	Т300(12К) связующее 976
$E_{в,0^\circ}$, ГПа	125	143	132	137,8
$E_{в,90^\circ}$, ГПа	8,5	8,4	8,65	9,42
$\sigma_{в,0^\circ}$, МПа	1300	900	1130	1480
$\sigma_{в,90^\circ}$, МПа	40	22	31	40
$\sigma_{сж,0^\circ}$, МПа	900	900	1190	1320
$\sigma_{сж,90^\circ}$, МПа	200	180	82	211
G_{12} , МПа	5600	5600	4120	6400
τ , МПа	75	70	74	78
μ_{12}	0,31	0,36	0,3	0,318
Толщина монослоя, мм	0,225	0,12	0,14	0,13

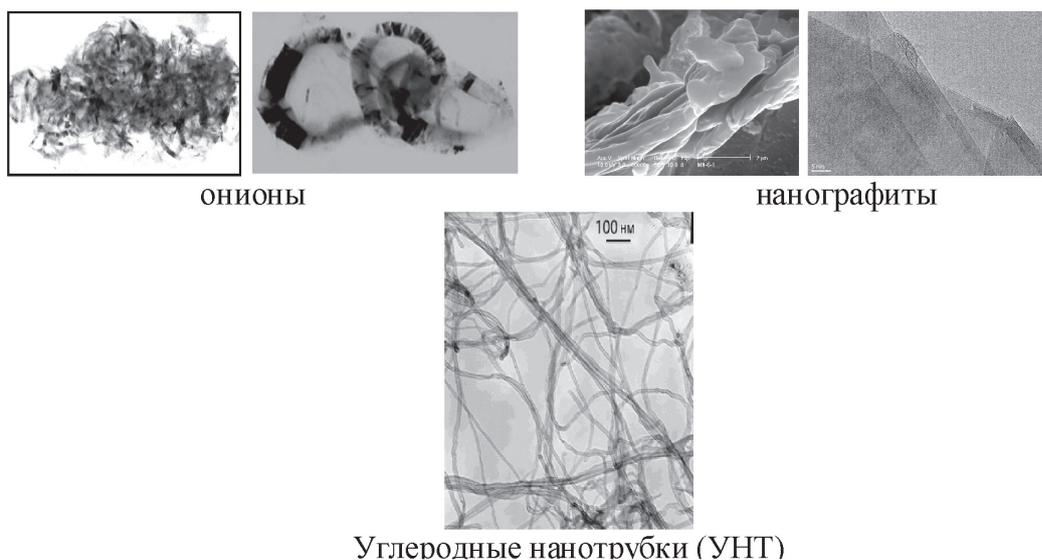


Рис. 1. Электронные изображения углеродных наночастиц

Они обладают повышенными механическими свойствами и высокой электропроводностью. Такие наномодификаторы увеличивают адгезионную прочность на границе волокно – матрица, что способствует более эффективному нагружению углеродного волокна. Известно, что надмолекулярная структура эпоксидных матриц является несовершенной вследствие неоднородности дисперсной фазы (пачки, глобулы, сетки). По этой причине, а также из-за технологических особенностей формирования композита в материале могут возникать дефекты: расслоения, повышенная пористость и зоны, которые обеднены связующим. Наномодификаторы помогают преодолеть эти дефекты и, по нашему мнению, в большей мере позволяют догрузить углеродные волокна и повысить свойства углепластиков. Так, использование наноструктурных углеродных добавок (табл. 3) повышает модуль упругости углепластиков, армированных углеродной тканью УТ900, а также стеклопластиков, армированных стеклотканью Т10.

Сравнение эффектов наномодифицирования этих композитов с разной арматурой указывает на то, что улучшение характеристик композита не зависит от природы армирующего элемента, а происходит за счет структуризации полимерной матрицы. Наши эксперименты пока не выявили четкой концентрационной зависимости модуля упругости от типа наномодификаторов, введенных в связующее. Известно, что в связи с большой поверхностной энергией углеродные частицы склонны к агломерированию. Поэтому дезинтеграция наноматериала, равномерность распределения наночастичек и его взаимодей-

ствие на границе раздела фаз в композите являются проблемными вопросами нанотехнологий, которым следует уделять пристальное внимание. Эффективным способом влияния на качество наномодифицированных композитов является ультразвуковое воздействие. Для оптимизации режимов ультразвуковой обработки необходимо определить частоту, мощность и время воздействия ультразвука, чтобы избежать механодеструкции эпоксидной матрицы. Для исследований этих объектов необходимо привлекать точные термоаналитические методы, результаты которых позволяют разработать технологические процессы получения наномодифицированных эпоксиглепластиков.

Как известно, углепластики электропроводны, однако слои углеродных волокон, объединенные, например, эпоксидным связующим, имеют проводимость на три порядка ниже, чем алюминий. Поэтому резистивный нагрев углепластика, подвергнутого удару молнии, является очень сильным и сопровождается деструкцией композита, поскольку полимерная матрица начинает испаряться уже при 200 °С. Давление газов может повлечь расслоение и привести к разрушению конструкции лопасти. К тому же углепластик может даже загореться в точке привязки молнии.

Важной проблемой защиты лопастей от молнии является безопасное проведение тока от места попадания молнии до заземления таким образом, чтобы предотвратить формирование дуги в середине лопасти. Этого можно достичь отведением тока молнии от места ее попадания через поверхность к хвостовику лопасти, используя сетчатые молниеулавливатели и молниеотводы (рис. 2).

Табл. 3

Некоторые свойства образцов композитов на основе эпоксидной смолы ЭД-20, армированной угле- и стеклотканью

Состав композиции		Свойства		
Армирующие элементы, %	Наноструктурные добавки, %	Плотность, г/см ³	Модуль упругости, ГПа	Прочность при изгибе, МПа
УТ-900, 62	–			
УТ-900, 69	Онионы, 1,5	1,39	88	290
УТ-900, 56	Онионы, 4	1,49	112	360
УТ-900, 51	Онионы, 6,5	1,5	120	380
УТ-900, 64	УНТ, 1,2	1,46	127	490
УТ-900, 64	УНТ, 3,7	1,44	145	640
Склоткань Т-10, 64	–	1,77	39,4	850
Склоткань Т-10, 62	Онионы, 4	1,76	49	896
Склоткань Т-10, 62	УНТ, 2	1,76	51	950
Склоткань Т-10, 61	УНТ, 1,2	1,74	45	930

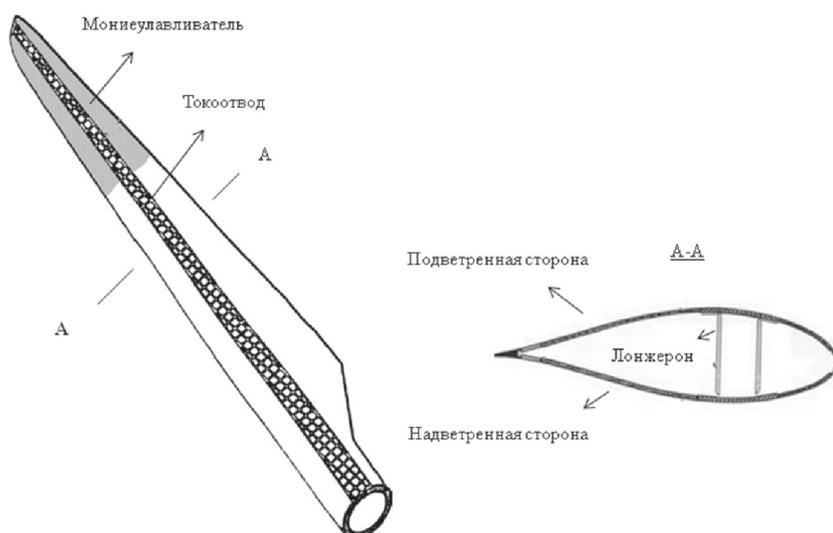


Рис. 2. Расположение молниеулавливателя и токоотвода на ветролопасти

Нами было установлено, что в качестве молниеулавливателей целесообразно использовать вязано-паяные сетчатые полотна трикотажной структуры. От молниезащитных сеток, применяемых в самолетостроении, они отличаются тем, что изготавливаются переплетением сетчатого жгута, состоящего из двух или трех медных проволок. Сетки пропаиваются легкоплавким оловянно-свинцовым припоем ПОС-61, а их структура обладает диссипативными свойствами при трансформации и поглощении энергии молнии. Этому способствуют механизмы распайки петель и испарения припоя с проволок при воздействии джоулева тепла, сопровождающего удар молнии. Кроме того, механизмами, снижающими разрушающие действия молнии, являются распрямление проволок в петлях трикотажных ячеек и их вытягивание из полимерного связующего. Сетчатый молниеулавливатель необхо-

димо располагать на той части поверхности лопасти, которая по статистике в наибольшей мере подвержена попаданию молнии. Что касается молниеотвода, то его рекомендуется изготавливать в виде пористой шины из пакета, состоящего из таких же медных трикотажных сеток. Структура и состав сеток для молниеотвода совпадают с материалом молниеулавливателя, однако сечение молниеотвода должно быть увеличено для пропускания больших токов. Этого и достигают путем увеличения количества слоев сетки в молниеотводящей ленте (шине).

Электрическое сопротивление молниезащитных сеток, используемых для молниеулавливателей и молниезащитных шин, зависит от материала и диаметра проволок, присутствия легкоплавкого покрытия на поверхности проволок и в местах их контакта в пучке и петлях (табл. 4). С целью снижения веса молниезащитных вязано-паяных сеток нами рекомендовано применять жгут из двух или трех медных луженых проволок диаметром 0,08 мм.

Зависимость удельного электросопротивления сетчатых полотен от поверхностной плотности (рис. 3) показывает, что путем подбора состава медных проволочных жгутов можно снизить вес сеток при сохранении заданной проводимости токоотводящих полотен. Таким образом, подбирая состав и структуру вязаных и вязано-паяных сеток, можно повысить молниезащищенность лопастей путем организации эффективного токоотвода и диссипации энергии молнии.

Табл. 4

Электрическое сопротивление образцов вязано-паяных сеток

Материал проволоки сетки	Поверхностная плотность, г/м ²	Толщина полотна, мм	Удельное поверхностное электросопротивление полотна, ρ, мОм
Латунь (1 нить) Ø0,1 мм	112,0	0,39	637,5
Медь (1 нить) Ø0,1 мм	142,0	0,38	9,9
Медь (1 нить) Ø0,12 мм луженная припоем ПОС-61	143,0	0,42	6,7
Медь (2 нити) Ø0,12 мм луженная припоем ПОС-61	327,0	0,53	3,3
Медь (3 нити) Ø0,12 мм луженная припоем ПОС-61	457,0	0,64	2,33

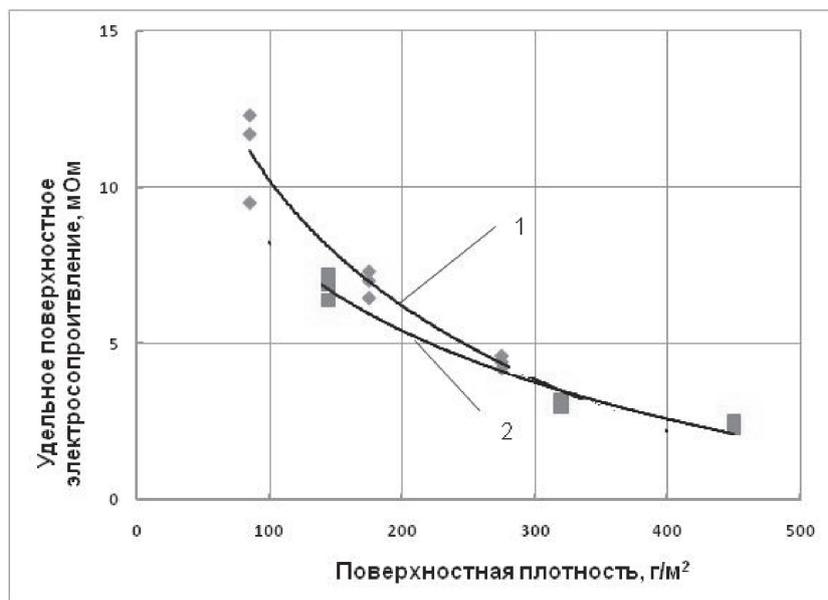


Рис. 3. Зависимость удельного поверхностного электросопротивления сеток от поверхностной плотности:

1 — сетки из проволоки диаметром 0,08 мм (1, 2, 3 проволоки в пучке);
2 — диаметром 0,12 мм (1, 2, 3 проволоки в пучке)

Нашими экспериментами было также установлено, что наряду с молниезащитными сетками положительное влияние на распределение электрических зарядов по поверхности лопасти оказывают углеродные наномодификаторы, которые снижают электросопротивление эпоксидного связующего примерно на 3 порядка. Было

Вывод. Прогресс в области ветроэнергетики тесно связан с разработкой, производством и применением конструкционных и молниезащитных композиционных материалов, в которых важную роль играют армирующие наполнители — углеродные волокна, токоотводящие проволочные сетки и электропроводящие частицы.

установлено, что если расположить электропроводящий слой непосредственно под сетчатым молниеуловителем с заменой, например, слоя стеклопластика на углепластик либо применением стеклопластика, наполненного углеродными частицами, можно избежать опасной локализации заряда в точке попадания молнии. Это предотвратит возможный пробой материала с поверхности на расположенные внутри конструкционного набора лопасти углепластиковые проводящие слои, подобно пробую обкладок конденсатора.

Выпуск вязано-паяных токоотводящих сеток для ветроэнергетики и авиации осуществляет производственный участок Научно-технического центра «Композиционные материалы» при ИПМ НАН Украины, г. Киев.

РАЗВИТИЕ ТЕОРИИ И ТЕХНОЛОГИЙ ОБРАБОТКИ МЕТАЛЛОВ ДАВЛЕНИЕМ В ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКОМ ИНСТИТУТЕ

В.А. Томило

Физико-технический институт НАН Беларуси

г. Минск, Беларусь

Основной тенденцией в промышленности экономически развитых стран, особенно в заготовительном и основном производстве изделий машиностроения, является максимальное использование методов обработки металлов давлением

(ОМД), позволяющих существенно снижать металлоемкость изделий, повышать механические свойства материалов, обеспечивать высокую производительность и снижение себестоимости деталей. Пластическая деформация, обеспечивая

необратимые изменения тонкого кристаллического строения, является одним из эффективных средств формоизменения структуры металлов и сплавов, а следовательно, улучшения физико-механических и эксплуатационных характеристик полученных изделий. В машиностроении существуют большие группы деталей, получение которых другими методами крайне затруднительно и даже невозможно, например, кузовные детали, детали рамы автомобиля, элементы подвески, трансмиссии, диски колес, детали сельхозмашин и др.

В Республике Беларусь лидирующие позиции в области ОМД занимал и занимает в настоящее время ГНУ «Физико-технический институт Национальной академии наук Беларуси». Систематические исследования процессов обработки металлов давлением в Физико-техническом институте начались в 1948 г., когда институт возглавил академик АН БССР С.И. Губкин. Им была создана инженерная теория течения металла, положенная в основу разработки и совершенствования технологий ОМД. Под его руководством разработаны математические методы исследования процессов формообразования при прокатке, волочении, ковке и штамповке. Он ввел понятие о механических схемах деформации, создал научно-обоснованную классификацию видов обработки металлов давлением. Возглавляемый С.И. Губкиным коллектив был ориентирован на решение актуальных проблем в области теории и технологии обработки металлов давлением. Это позволило заложить мощный научный фундамент, отраженный в его многочисленных трудах, а также в трудах его учеников и последователей. Более 70 человек защитили кандидатские и докторские диссертации под руководством С.И. Губкина.

С 1956 по 1970 г. научные исследования в области теории и практики пластического деформирования металлов и сплавов проводились под руководством академика АН БССР В.П. Северденко. Вместе со своими учениками В.П. Северденко провел большой объем исследований в различных областях обработки металлов давлением. Теоретически исследовано формообразование в очаге деформации, выявлены закономерности и особенности процесса пластической деформации в зависимости от условий на контактной поверхности. Изучены силовые параметры основных процессов обработки металлов давлением, исследованы закономерности образования рельефа и структуры поверхностного слоя, а также кинетика формирования дислокационной структуры

металлов. Предложен ряд новых способов обработки металлов давлением с применением ультразвуковых и низкочастотных колебаний, разработаны высокоэффективные способы изготовления деталей машин и режущего инструмента пластическим деформированием, созданы новые материалы и др.

Результаты многих исследований, проведенных В.П. Северденко, внедрены в промышленность, отражены в учебниках, учебных пособиях и справочниках. Некоторые работы опубликованы в зарубежных журналах, несколько монографий переведены на иностранные языки и изданы за рубежом. Василий Петрович Северденко лично и в соавторстве опубликовал свыше тысячи работ, среди них 29 монографий, 2 учебника и 5 учебных пособий для высших учебных заведений.

В своей работе В.П. Северденко уделял большое внимание подготовке высококвалифицированных научных кадров. Под его руководством выполнено свыше ста пятидесяти докторских и кандидатских диссертаций. Под руководством Василия Петровича Северденко была создана и получила развитие белорусская школа обработки металлов давлением. К ее самым ярким представителям следует отнести Е.М. Макушка, А.С. Матусевича, В.М. Сегала, разработавших методику графоаналитического построения полей линий скольжения для пластической деформации, В.В. Клубовича, А.В. Степаненко, исследовавших влияние ультразвуковых колебаний на деформационные процессы, В.С. Мураса, Э.Ш. Суходрева, В.Г. Кантина, разработавших новый высокоэффективный способ горячего гидродинамического выдавливания, М.И. Калачева, показавшего возможность использования деформационного упрочнения для повышения прочности и эксплуатационных качеств изделий. Исследование связи механизмов взаимного скольжения слоев металла в процессе деформирования с эффектом упрочнения привело к созданию технологии углового выдавливания (В.М. Сегал, В.И. Копылов, В.Ф. Малышев и др.). А.В. Алифановым получены важные теоретические и прикладные результаты при исследовании процессов холодной объемной штамповки с применением теории линий скольжения и представлений о переходных областях.

Особое место среди деформационных процессов, разработанных и исследованных в ФТИ, занимает поперечно-клиноватая прокатка (Е.М. Макушок, Г.В. Андреев, В.Я. Щукин, В.А. Клушин, В.И. Садко, А.Н. Давидович и др.). По оснащенности оборудованием и специалистами в этой

области Республика Беларусь занимает лидирующее позиции в мире, что стало возможным благодаря более чем 30-летнему опыту работы над этой темой сотрудниками ФТИ.

В 1966 г. под руководством академика В.Н. Чачина были начаты работы по использованию концентрированных потоков энергии для осуществления различных технологических процессов в машиностроении, им создана белорусская школа ученых, плодотворно работающих в этой новой области технологии. Под его руководством широкое развитие в республике получили работы по использованию импульсных нагрузок, осуществляемых с помощью электрического разряда в жидкости и энергии сжатого газа. На основании теоретического анализа основных явлений, возникающих при электрическом взрыве проводников в жидкости, В.Н. Чачиным установлен ряд механизмов нагружения обрабатываемой детали, изучена физика этих процессов. В настоящее время это научное направление возглавляет Г.Н. Здор.

Огромный вклад в развитие теории и технологии ОМД в ФТИ внес академик А.В. Степаненко, исследовавший процессы периодической прокатки. Наибольший экономический эффект от использования переменных периодических профилей в автомобилестроении получен при введении новых технологий изготовления малолистовых рессор. В Физико-техническом институте НАН Беларуси под руководством академика А.В. Степаненко был разработан принципиально новый способ получения профилей переменного сечения, используемых в качестве упругих элементов рессорной подвески автомобилей семейства МАЗ, отличающийся тем, что окончательный профиль заготовки малолистовой рессоры получают с одного нагрева путем прокатки нагретой заготовки на перемещающейся при помощи силового механизма профильной оправке через неприводные валки с постоянным межвалковым зазором. Данная технология применяется в настоящее время на Минском рессорном заводе, где установлена и действует промышленная автоматическая линия для изготовления заготовок малолистовых рессор.

В приведенной схеме прокатки валки являются неприводными. Поэтому заготовка в процессе обжатия постоянно прижата к торцу оправки, что исключает смещение заготовки относительно профилированных рабочих поверхностей оправки в направлении перемещения последней. За счет этого устраняется явление опережения, чего трудно добиться при обычной прокатке в при-

водных валках. В связи с этим повышается точность формообразуемого профиля в прокатанных полосах. Кроме того, в данном способе имеет место переднее натяжение, поскольку одних сил трения на контакте полосы с оправкой недостаточно для передачи энергии от металла к валкам и обеспечения вращения последних. Натяжение, создаваемое при воздействии переднего конца оправки на серединную часть полосы, возрастает по мере увеличения обжатия. Наличие переднего натяжения приводит к существенному снижению давления металла на валки и, тем самым к уменьшению упругой деформации нагруженных элементов в прокатной клети, что также способствует повышению точности размеров и формы получаемых изделий. Известно также, что уменьшение диаметра бочки валков приводит к снижению распорного усилия на них и тем самым способствует повышению точности профиля прокатанных полос. Кроме того, уменьшение диаметра валков приводит к увеличению коэффициента вытяжки и снижению величины уширения, которое существенно влияет на перераспределение металла по длине заготовки и, следовательно, на упругие характеристики полученных полос переменной толщины. Вместе с тем, уменьшение диаметра валков ограничено снижением их жесткости, а также условиями захвата металла. В нашем случае это ограничение сводится к условию вращения неприводных валков. При прокатке в неприводных валках очаг деформации в общем случае включает зоны отставания и опережения (рис. 1). Резерв сил контактного трения, передаваемый от металла к валкам, в зоне опережения играет активную роль и обеспечивает вращение валков. В зоне отставания силы контактного трения реактивны и препятствуют вращению валков. Поэтому вращение неприводных валков в процессе деформации возможно лишь при условии, когда протяженность зоны опережения будет больше протяженности зоны отставания, а именно

$$\alpha / 2 \leq \gamma \leq \alpha,$$

где α — угол прокатки; γ — нейтральный угол.

Предельное ограничение по данному условию $\alpha = \gamma$ показывает, что в этом случае резерв активных сил контактного трения в зоне опережения исчерпан. Это приводит к остановке валков, и процесс прокатки переходит в протяжку, что вызывает локальный износ самих валков.

Известно, что при установившемся процессе прокатки в приводных валках, предельное значение угла прокатки выражается соотношением $\alpha \leq 2f$, где f — коэффициент контактного трения.

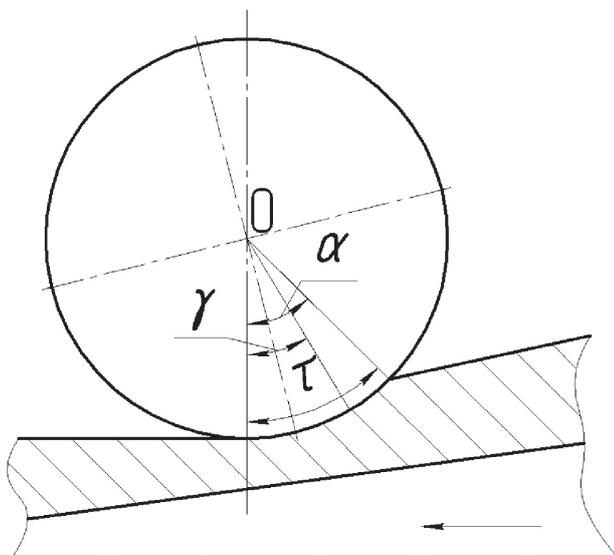


Рис. 1. Схема очага деформации при прокатке с переменным обжатием полосы на оправке

При несоблюдении данного условия валки начинают буксовать по металлу. Приведенное соотношение справедливо и для случая прокатки в неприводных валках. Но поскольку при этом энергия передается от металла к валкам, то несоблюдение указанного условия приводит к остановке валков, что вызывает локальный износ их рабочих поверхностей и, как следствие, потерю точности формообразуемых полос. Данное об-

стоятельство диктует необходимость дробления суммарной деформации при сохранении цикла обработки за один ход оправки, что возможно при деформировании в клетке с несколькими парами валков, установленными последовательно одна за другой.

Для промышленной реализации предложенного способа изготовления заготовок малолитровых рессор предназначен опытно-промышленный прокатный стан СП-1298. Комплекс оборудования включает соединенные между собой с помощью рольганга 1 установку для индукционного нагрева 2 и стан 3 для прокатки полосы с механизмами съема и разгиба прокатанной заготовки (рис. 2 и 3). Индуктор щелевого типа обеспечивает нагрев полосовой заготовки длиной до 2000 мм и запитан от двух генераторов тока высокой частоты мощностью по 250 кВт каждый. Прокатный стан включает сварную станину 4 коробчатого типа, внутри которой смонтирована рабочая клетка 5 с установленными в ней в вертикальном положении последовательно друг за другом тремя парами рабочих валков 6 с ребордами. Перед валками расположены направляющие ролики 7, служащие для удержания поставленной на ребро прокатываемой полосы и направления профилированной оправки 8. Оправка жестко связана с кареткой 9, опирающейся на направляющие 10, которая соединена со штоком 11 горизонтально расположен-

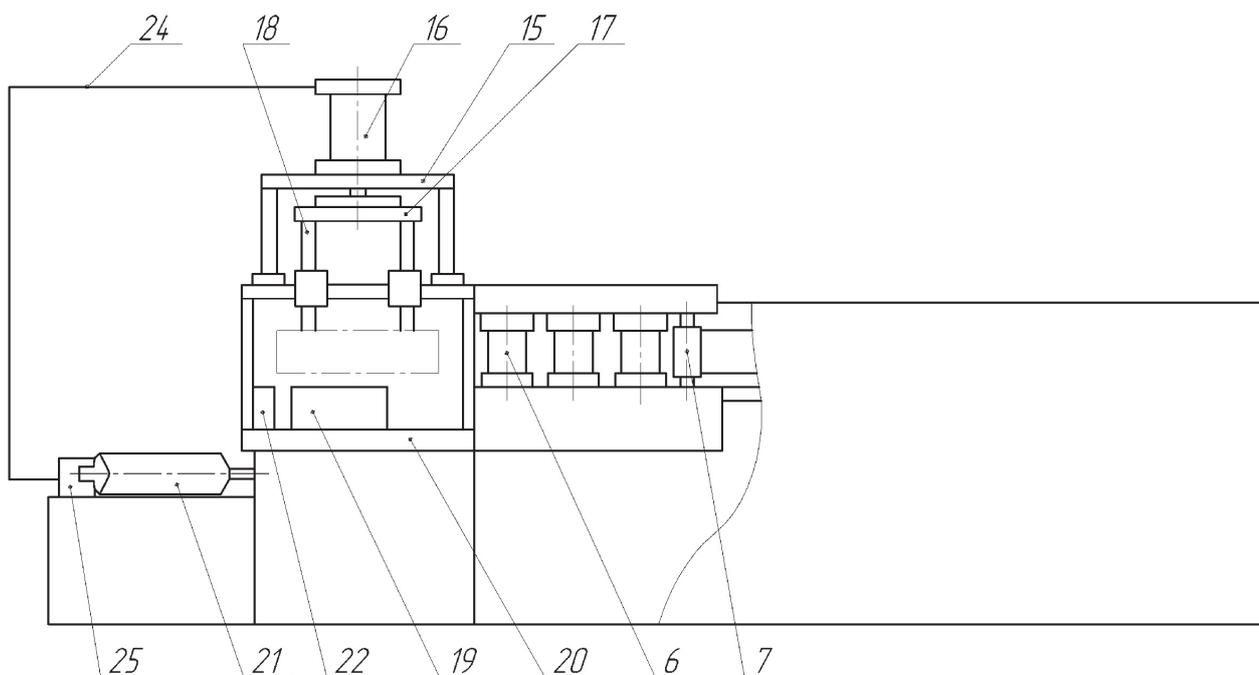


Рис. 2. Принципиальная схема стана для прокатки заготовок малолитровых рессор автомобилей МАЗ (вид сбоку)

ного в станине гидроцилиндра 12, обеспечивающего оправке возвратно-поступательное перемещение. Сбоку станины закреплена штанга 13 с регулируемым по ее длине упором 14 для фиксации в продольном направлении подаваемой по рольгангу исходной заготовки. За рабочей клетью расположены механизмы съема заготовки после прокатки с профилированной оправки и разгиба прокатанной полосы. Механизм съема заготовки содержит сварную раму 15, гидроцилиндр 16, шток которого жестко связан через траверсу 17 с толкателями 18, установленными в направляющих втулках, и обеспечивает посадку согнутой полосы после прокатки на сочлененную шарнирно оправку 19 разгиба, расположенную на столе 20. Раствор оправки разгиба относительно шарнира производится через систему тяг двумя гидроцилиндрами 21, имеющими возможность качания в горизонтальной плоскости относительно своих точек закрепления к станине. Линейка 22 жестко прикреплена к столу 20 и ограничивает величину угла разгиба прокатанной заготовки оправкой 19. Гидростанция 23 питает с помощью трубопроводов 24 через гидрораспределитель 25

всю гидросистему прокатного стана. Управление работой осуществляется от пульта 26.

С помощью описанного комплекса обеспечиваются следующие параметры процесса прокатки:

- температура нагрева заготовки под прокатку составляет 1000–1050 °С;
- число проходов равно 1;
- степень деформации в трех парах валков за проход достигает 55 %;
- наибольшее отклонение размеров от заданного профиля по толщине на всей длине заготовки не превышает $\pm 0,1$ мм;
- продолжительность цикла обжатия заготовки в валках равна 10 с;
- продолжительность цикла обработки (загиб – прокатка – съем – разгиб) составляет 30 с.

Технические решения, апробированные при эксплуатации стана СП-1298, использованы в последующих комплексах периодической прокатки. На рис. 4 представлена полуавтоматическая линия МА-067, производящая последовательно прокатку заготовок, правку, обрезку концевых отходов и пробивку центрального отверстия.

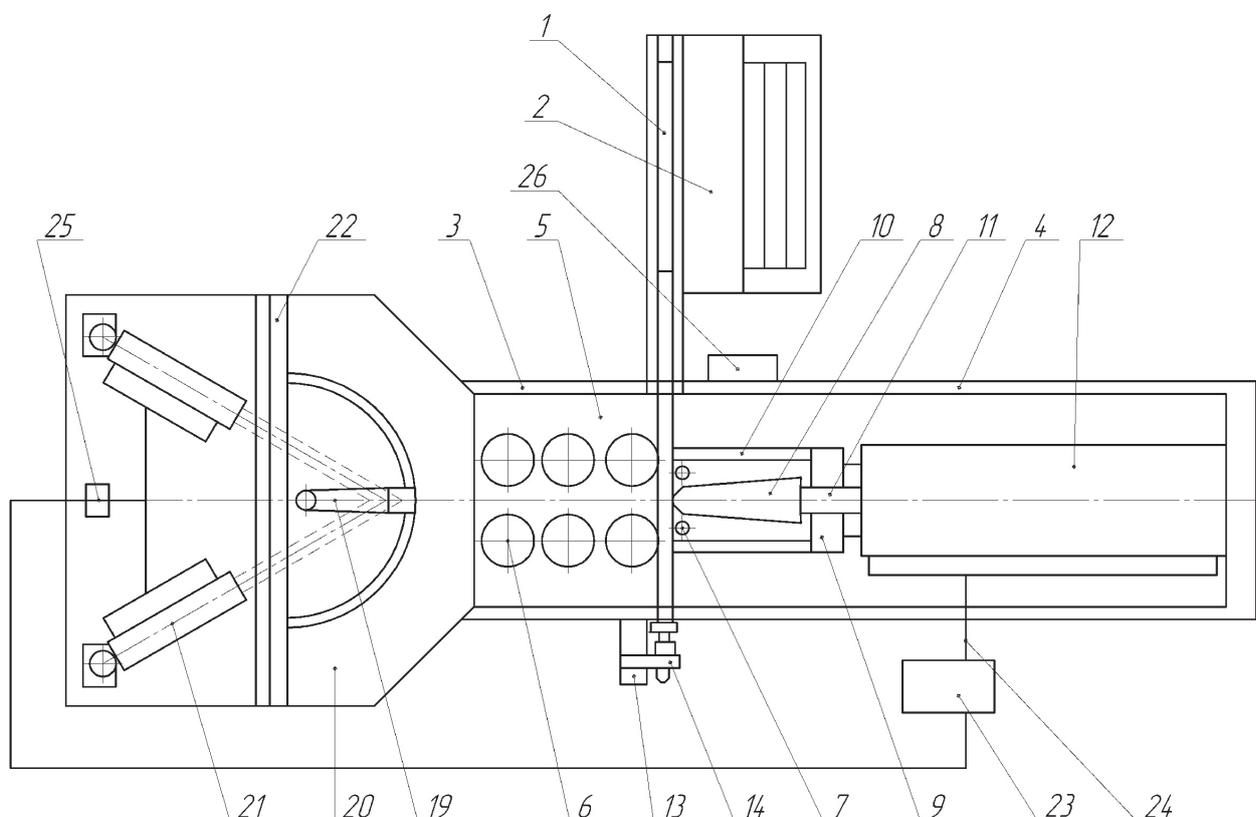


Рис. 3. Принципиальная схема стана для прокатки заготовок малолистовых рессор автомобилей МАЗ (вид сверху)

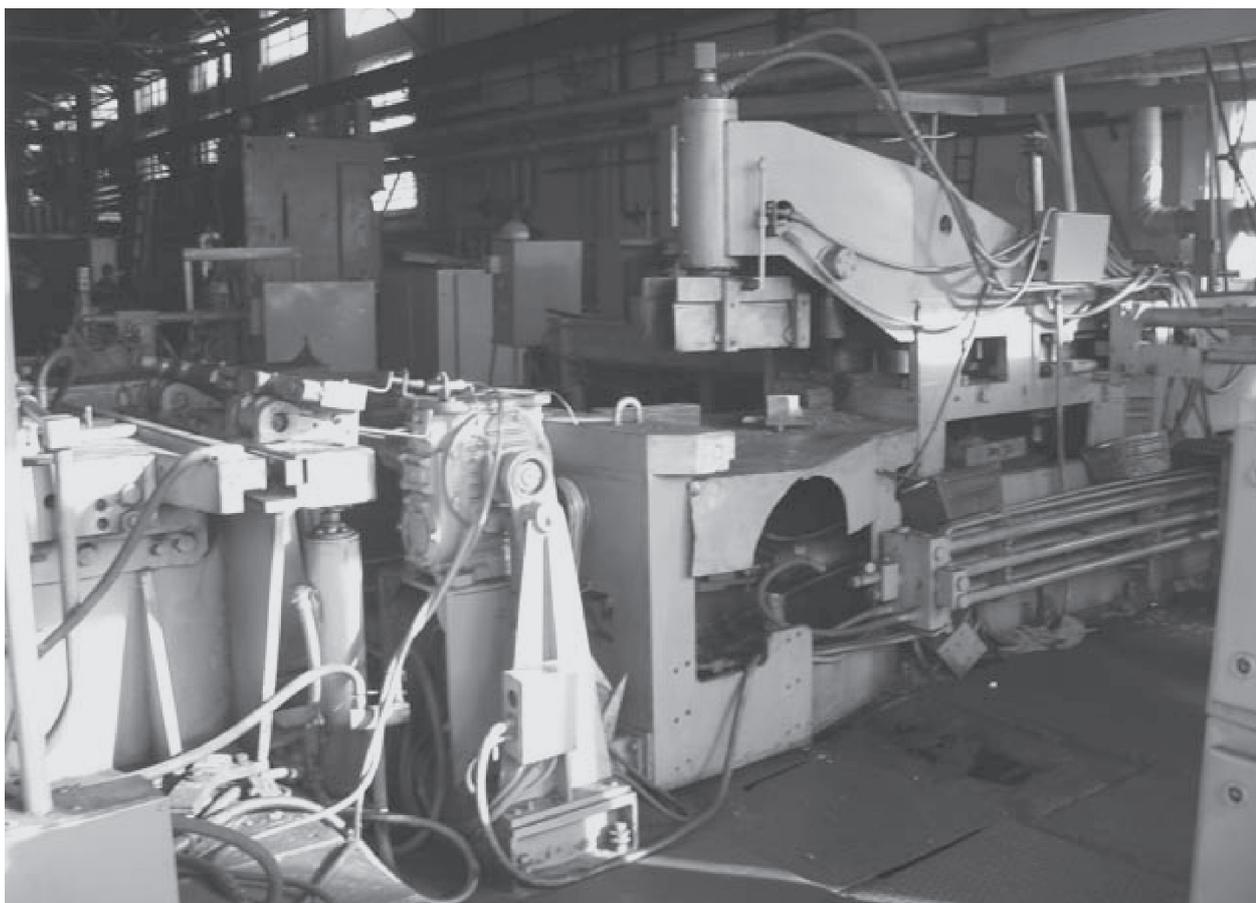


Рис. 4. Полуавтоматическая линия МА-067

Полуавтоматическая линия концептуально идентичная стану СП-1298 отличается от последнего повышенной мощностью и производительностью, возможностью выполнения дополнительных операций и высокой степенью автоматизации.

Полуавтоматическая линия МА-067 включает устройства нагрева, прокатную установку, манипуляторы и рольганги. Прокатная установка состоит из рабочей клетки, станины, каретки, оправки, механизма съема, разгиба и правки заготовки, ножниц, механизма загрузки и разгрузки, системы гидропривода, включающей гидронасосную станцию, систему трубопроводов и гидроцилиндры рабочие, а также комплекта электрооборудования, обеспечивающего общее электроснабжение установки и ее управление.

С освоением МАЗом выпуска грузовых автомобилей средней грузоподъемности возникла проблема изготовления подрессорника задней подвески. Подрессорник представляет собой короткий лист переменного сечения с большим перепадом толщин. Такой профиль невозможно получить по традиционной схеме прокатки — с за-

гибом заготовки. Для производства подрессорников была произведена модернизация опытно-промышленного прокатного стана СП-1298. Новая технология предусматривает прокатку одновременно двух заготовок. Внешний вид модернизированного стана СП-1298М представлен на рис. 5.

Свести к минимуму использование при изготовлении сложнопрофильных ответственных деталей машиностроительного и автомобильного производств таких трудоемких и низкопроизводительных операций как сварка и механическая обработка возможно за счет применения современных способов обработки металлов давлением для различных видов переменных профилей. Максимальные возможности по снижению металлоемкости производства и повышению качества деталей имеет периодическая прокатка. Созданные в ФТИ технологии и оборудование периодической прокатки (в общей сложности восемь прокатных станков) позволяют изготавливать значительную часть периодических профилей, применяемых на промышленных предприятиях Беларуси.

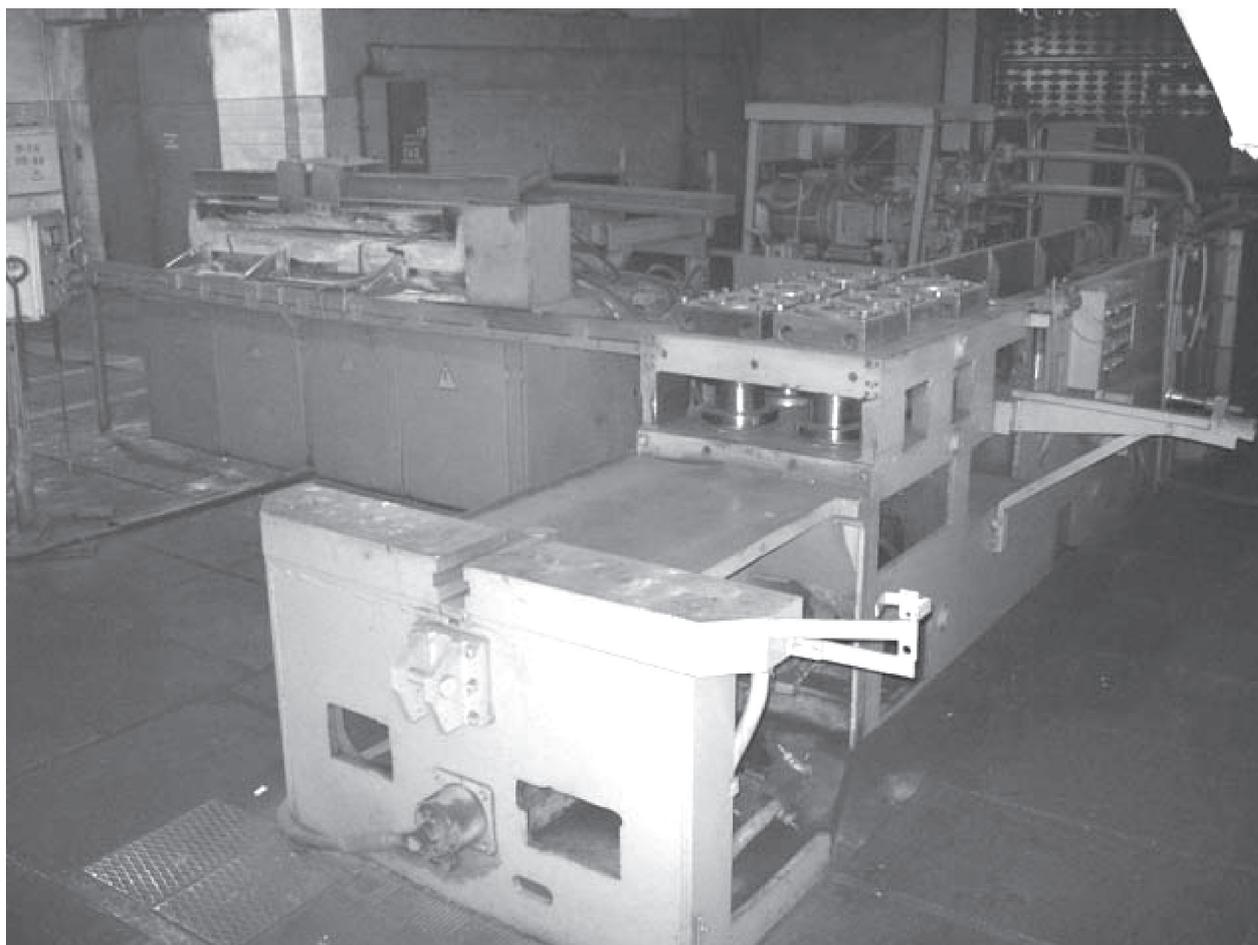


Рис. 5. Стан СП-1298М для прокатки заготовок подressорника

В настоящее время в промышленности республики наблюдается острая потребность в использовании новых высокоэффективных, ресурсосберегающих технологий ОМД. В ФТИ ведутся работы в данном направлении. Поскольку «классические технологии» ОМД практически уже исчерпали себя, то проблемы интенсификации и удешевления производства могут быть решены лишь за счет разработки комбинированных операций ОМД в рамках одного технологического процесса, фасонирования исходных заготовок, оптимизации энергосиловых параметров, использования дифференциального нагрева, безоблойной и точной штамповки, комбинаций методов ОМД и методов высокоэнергетического, в т. ч. импульсного, воздействия, совершенствования и интенсификации методов пластического формообразования. Восстановление способности деформированных сталей и сплавов к дальнейшей пластической деформации предполагает снятие внутренних напряжений. Поэтому необходимо отчетливое представление о механизме пласти-

ческой деформации при режимах, реализуемых в производственных условиях на высокоэффективных промышленных агрегатах с большими скоростями деформации и очень кратковременным пребыванием металла в зоне деформации. Для этого предполагается использовать представления о закономерности разработанных в последние десятилетия теории больших пластических деформаций, физической мегомеханики, а также физики твердого тела, неравновесной термодинамики.

В связи с этим в институте получают дальнейшее развитие работы по совершенствованию импульсных методов обработки, созданию новых технологий получения пространственных тонкостенных деталей (оболочек) сложной формы (сферических отражателей, параболических, трубчатых заготовок, тороидальных заготовок из сложнолегированных и редкоземельных металлов и др.). Привлечение для изготовления деталей указанного типа методов импульсной и гидроударной штамповки позволит значительно

(в 3–5 раз) сократить металлоемкость штамповой оснастки и в 2 раза время на подготовку производства. Потребители технологии и оборудования — машиностроительные и приборостроительные предприятия, предприятия электротехнической и других отраслей промышленности республики, научные учреждения за рубежом.

В рамках данного направления будет осуществляться развитие теоретических основ совместности схем напряженно-деформированного состояния с динамикой пластического формообразования на базе классической теории обработки металлов давлением с применением компьютерного моделирования, механики сплошных сред, современных представлений о контактном взаимодействии и разрушении жестко-пластических тел. Эти исследования являются научной основой дальнейшего развития производства изделий методом пластического формообразования, его совершенствования и интенсификации, создания новых наукоемких технологических процессов, в т. ч. комбинированных, и высокопроизводительного современного оборудования для их реализации.

Разрабатываемый новый способ реверсивной поперечной прокатки отличается воздействием на зерна металла в приконтактном слое за счет увеличения накопленных деформаций в этой области заготовки и, как следствие, повышением усталостной прочности прокатанных поковок. Получит практическое применение эффект сварки давлением валов со слоями из однородных и разнородных металлов и сплавов при поперечной и поперечно-клиновой прокатке. Метод позволяет получать валы с поверхностными слоями заданной толщины и назначения и сердцевиной из сталей обыкновенного качества, полые валы, трубы с внутренним защитным слоем заданной толщины (нержавеющие стали) и внешней оболочкой из сталей обыкновенного качества. Области применения технологии: снижение веса автомобилей и самолетов за счет применения полых валов; замена валов из дорогостоящей нержавеющей стали на дешевые слоистые валы с наружным слоем из нержавеющей стали, использование труб с внутренним тонким слоем из нержавеющей стали и внешним более толстым слоем из сталей обыкновенного качества; получение поковок более прочных коленвалов и шатунов из слоистых заготовок; повышение износостойкости пар трения (например, шаровых пальцев, кулачков) за счет применения слоистых валов с наружным износостойким слоем и др.

Будет продолжена разработка технологии, оборудования и инструмента для производства шаров методами поперечно-клиновой прокатки, штамповки, винтовой прокатки. Будут осуществлена разработка технологий теплой штамповки с понижением температур нагрева заготовки. Научная новизна заключается в разработке условий деформирования при последовательном использовании различных схем напряженно-деформированного состояния, позволяющих максимально реализовать ресурс пластичности металла и обеспечить получение изделия с улучшенной структурой и более высокими механическими свойствами за счет оптимизации корреляционных характеристик схемы напряженного состояния с реологическими свойствами деформируемого объекта. Данные технологии найдут широкое применение при изготовлении деталей типа ступенчатых валов на РУП «МТЗ», РУП «МАЗ», ОАО «БЕЛКАРД» и других машиностроительных заводов республики и за ее пределами.

Будут продолжены работы по совершенствованию и широкому использованию технологий, основанных на методах пластического деформирования для производства деталей ортопедических имплантатов для нужд Минздрава РБ, обладающие большой социальной значимостью и актуальностью. Степень удовлетворения медицинских и технических требований к свойствам материалов имплантатов определяет стоимость последних, а следовательно, и экономическую составляющую операции для основного числа нуждающихся в эндопротезировании. Продолжатся работы по расширению применения фиксирующих пластин систем DCS и DHS при протезировании остеобольных в практике ортопедической хирургии. Дополнительный резерв уменьшения материальных затрат при формообразовании поковок деталей эндопротезов может быть реализован применением методов безоблойной штамповки в закрытых штампах за счет рационального научно-обоснованного выбора режимов механической и тепловой обработки Co – Cr – Mo сплавов. Изучение роли влияния направленного воздействия пластического деформирования и температуры на структуру и свойства материалов-имплантатов сделает возможным переход от использования дорогостоящих Co – Cr – Mo сплавов к нержавеющей стали аустенитного класса и к снижению стоимости эндопротезов, созданию технологии выпуска ревизионных эндопротезов широкой номенклатуры, что позволит решить проблему более полного удовлетворения

нуждающихся в оперативном лечении больных в Беларуси.

Проблема импортозамещения сложнагруженных деталей сельскохозяйственной техники будет решена за счет разработки технологии и специальной оснастки для формообразования, ее изготовления, испытания, наладки и организации производства по всему технологическому циклу на производственных площадях ГНУ «ФТИ НАН Беларуси».

Планируется продолжение работ по совершенствованию технологии изготовления деталей ходовой части и тормозной системы автомобилей семейства МАЗ. Реализация технологии изготовления колец и втулок из точных поковок обеспечит на ОАО «Завод тормозной аппаратуры и механизмов («ТАиМ», г. Бобруйск) повышение коэффициента использования металла с 0,13 до 0,52 для колец и с 0,36 до 0,9 для втулок; повышение производительности механообработки на 40–50 %; уменьшение расхода режущего инструмента на 25–30 %.

Будут осуществлена разработка технологий, специализированного оборудования и технологической оснастки для изготовления плужных деталей с лемешно-отвальными поверхностями

методом продольно-поперечной прокатки. Предполагаемая технология предусматривает термопластическую обработку заготовок, вырезанных плазменным методом. Формообразование режущих элементов лемехов и долот будет производиться методом продольно-поперечной прокатки валками на специализированном оборудовании, адаптированном к обработке плоских заготовок. Кроме придания особых механических свойств материалу лемехов и долот, рабочий цикл машины составит ~10 с. По сравнению с операцией фрезерования, применяющейся на РУП «Минский завод шестерен», производительность увеличивается в 5 раз. Износостойкость деталей, изготавливаемых методом термопластической обработки, установленных в результате предварительных испытаний на БелМИС и полевых испытаниях в агрохозяйствах, увеличивается в 1,5 раза. После внедрения на РУП «Минский завод шестерен» технология может быть ратифицирована на Минской области межрайонном объединении «Агропромтехника», Пинском ПО «Кузлитмаш», Дрогичинском трактороремонтном заводе, а также на других предприятиях концернов «Белагросервис», «Белагромаш».

УДК 666.3

СИНТЕЗ КЕРАМИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ ФУТЕРОВОК ТЕПЛОТЕХНИЧЕСКИХ АГРЕГАТОВ

А.Т. Волочко, А.А. Жукова, К.Б. Подболотов
Физико-технический институт НАН Беларуси
г. Минск, Беларусь

The paper discusses the possibility of production of porous ceramic materials by the method of chemical pore-formation using a synthetic wollastonite and silicon-containing components. The physicochemical properties and microstructure of obtained materials have been studied.

Obtainment of refractory protection coatings using the self-propagating high-temperature synthesis (SHS) in the system Al – SiO₂ – MgO with application of different activation agents are considered in this paper. The role of part agents is identified and possible processes and mechanism of their influence on the synthesis of refractory protection coatings is shown. Investigation of physicochemical properties and regularities of coating obtainment are presented.

Теплоизоляционные пористые керамические материалы на основе синтезированного волластонита

Применение теплоизоляционных материалов при футеровании промышленных печей снижает материалоемкость, экономит расход электроэнергии и способствует интенсификации тепловых процессов. Поэтому теплоизоляционные материалы входят в обязательный ассортимент огнеупорной промышленности [1].

К теплоизоляционным относят большую группу разных по своему составу материалов, отличительные особенности которых — высокая пористость и обусловленные ею малая объемная плотность и низкая теплопроводность [2].

В настоящее время на предприятиях Министерства промышленности Республики Беларусь широкое распространение при футеровании печных агрегатов распространение получили следующие теплоизоляционные материалы: шамотный легковес, плиты волокнистые муллито-кремнеземистые и отечественный известково-кремнеземистый материал. Однако в процессе длительной эксплуатации данных материалов были обнаружены их существенные недостатки. Для шамота характерна низкая термостойкость и достаточно высокая теплопроводность по сравнению с другими материалами, волокнистые плиты характеризуются низкими прочностными свойствами и со временем теряют теплопроводность.

Для расширения технических возможностей предложен материал на основе синтезированного волластонита CaSiO_3 (48,3 % CaO , 51,7 % SiO_2) [3].

Выбор данного материала можно объяснить следующим образом. Во-первых, волластонит характеризуется игольчатой структурой кристаллов, которые обладают хорошей армирующей способностью. Во-вторых, синтетический силикат кальция свободен от природных примесей, таких как натрий, железо, марганец и др. В-третьих, волластонит экологически безопасен и является заменителем асбеста.

Жидкое натриевое стекло использовали как затворитель, способный при взаимодействии с водой и кремнийсодержащими компонентами образовывать в материале поры. Это неорганическое связующее более благоприятно в санитарно-гигиеническом отношении по сравнению с органическими веществами.

В качестве специальной добавки (порообразователя) использовали кремний и ферросилиций двух марок ФС-45 и ФС-75. Помимо функции по-

рообразователя, кремний и ферросилиций предполагается использовать и в качестве отвердителя.

При разбавлении жидкого натриевого стекла водой протекает гидролиз, в результате образуется достаточное количество гидроксида натрия для создания сильнощелочной среды. Продуктом взаимодействия кремния со щелочным раствором является водород, который способствует образованию пор.

Взаимодействие можно представить следующими химическими реакциями:



Реакции (2) и (3) являются экзотермическими, причем при взаимодействии кремния со щелочью тепловой эффект составляет

$$Q \approx \Delta H_{298}^0 = 351,26 \text{ кДж/моль},$$

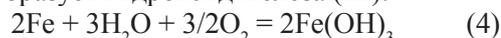
а при протекании реакции между ферросилицием и щелочью

$$Q \approx \Delta H_{298}^0 = 1157,74 \text{ кДж/моль},$$

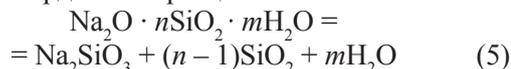
где ΔH_{298}^0 — изменение энтальпии реакции в стандартных термодинамических условиях.

Количество теплоты, выделившиеся в ходе протекания реакции 3, способствует дегидротации и твердению жидкого стекла, что приводит к ускорению как гидролиза, так и реакционного взаимодействия в смесях, а также обеспечивает меньшие затраты тепла при сушке изделий ввиду удаления значительного количества воды за счет испарения при саморазогреве системы.

При использовании ферросилиция взаимодействие протекает аналогично реакциям, описанным выше, за исключением образования соединений железа. Железо при взаимодействии с водой в щелочной среде и в присутствии кислорода воздуха образует гидроксид железа (III):

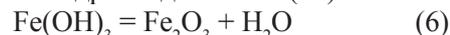


При сушке происходят полимеризация и отверждение жидкого стекла в результате чего идет процесс твердения образцов:

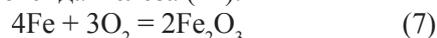


Однако при обжиге предположительно могут протекать следующие процессы:

– разложение гидроксида железа (III):



– окисление непрореагировавшего железа с образованием оксида железа (III):



– образование ферритов при сплавлении оксида железа(III) с гидроксидом натрия:



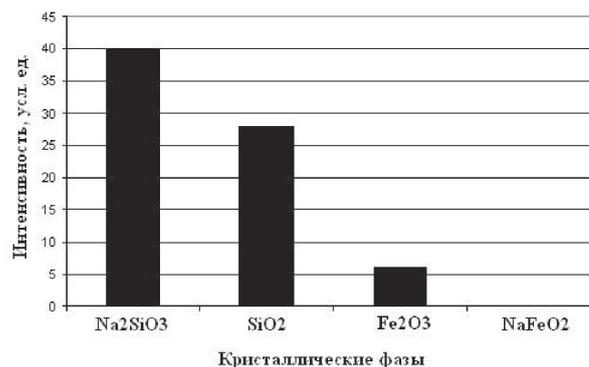
С целью определения полноты протекания реакций (6)–(8) проводили исследование фазового состава материалов, полученных с использованием в качестве кремнийсодержащего компонента ферросилиция марки ФС-45, после термообработки при температурах от 100 до 1100 °С. Дифрактограмма показала наличие основных кристаллических фаз волластонита и силиката натрия во всем диапазоне температур. При повышении температуры термообработки происходит небольшое снижение интенсивности дифракционных максимумов кристаллических фаз, что, вероятно, связано с образованием при высоких температурах расплава силиката натрия и частичного растворения волластонита, а при понижении температуры расплав не кристаллизуясь переходит в стекло, которое, как известно, рентгеноаморфно. Также при температуре 1000 °С наблюдается переход волластонита (β -CaSiO₃) в псевдоволластонит (α -CaSiO₃). При этом наличие металлического железа и его соединений на дифрактограммах не обнаружено.

Анализ рентгенограмм образцов, полученных с использованием ФС-75 (рис. 1), показал отсутствие элементарного железа в синтезированных образцах. При сравнении рис. 1, а и 1, б было установлено, что обжиг образца при 800 °С способствует полиморфному превращению кремнезема (β -кварц превращается в α -кварц), а также образованию новой фазы — феррита натрия (температура образования феррита натрия 675–700 °С).

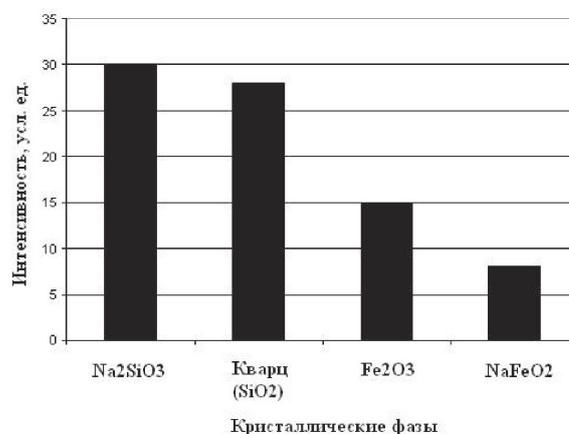
Проведены исследования (рис. 2) по влиянию количества вводимого кремния, ферросилиция ФС-45 и ФС-75 на общую пористость, кажущуюся прочность материалов.

Для всех материалов наблюдается линейная зависимость увеличения общей пористости от количества вводимой добавки. Причем по степени влияния природы кремнийсодержащих компонентов на пористость конечных изделий порообразователи можно расположить по возрастанию в ряд: кремний, ФС-75, ФС-45.

Как видно из приведенных данных, наименьшую плотность 450–550 кг/м³ имеют составы, содержащие кремний, что объясняется его большей активностью протекания реакции газовой выделения. При использовании ферросилиция наблюдается увеличение плотности материала с уменьшением концентрации кремния в составе ФС. Наиболее оптимальным для использования является ферросилиций марки ФС-75, который обеспечивает получение материала с плотностью 600–700 кг/м³.



а)



б)

Рис. 1. Зависимость интенсивности дифракционных максимумов кристаллических фаз от температуры термообработки.

Температура обжига:
а — 100 °С; б — 800 °С

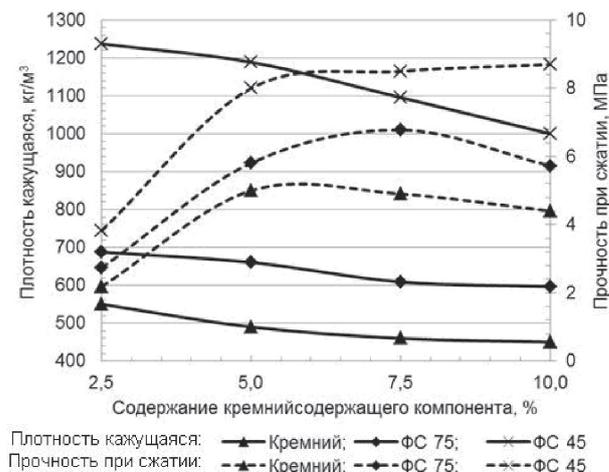


Рис. 2. Зависимость плотности и прочности при сжатии от количества кремнийсодержащих компонентов

Измерение коэффициента теплопроводности материала, полученного с использованием ферросилиция марки ФС-75 при различном его содержании (рис. 3), показало уменьшение тепловой проводимости материала при увеличении количества ферросилиция в составе смеси, при этом коэффициент теплопроводности хорошо коррелирует со значениями плотности материала.

Таким образом, оптимальное количество ферросилиция марки ФС-75 по данным измерения плотности, прочности при сжатии и теплопроводности составляет 5–7,5 %. Получаемый теплоизоляционный материал имеет плотность 610–660 кг/м³, прочность при сжатии 6,2–7,2 МПа и коэффициент теплопроводности (50–200 °С) — 0,12–0,25 Вт/(м·К).

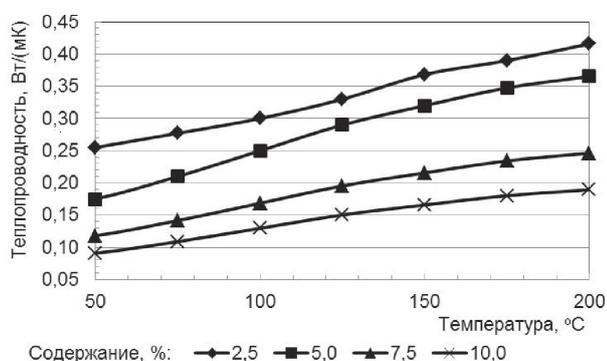


Рис. 3. Коэффициент теплопроводности материалов в зависимости от количества ферросилиция ФС-75

Результаты измерений физико-механических свойств показали, что в качестве теплоизоляционного каркаса многослойной футеровки тепловых агрегатов можно использовать материал на основе волластонита с ФС-75, характеризующийся оптимальными прочностными и тепловыми свойствами.

Исследования и анализ (рис. 4, 5) показали, что при использовании синтетического волластонита фракцией 0,75 мм образцы имеют как закрытую, так и открытую пористость, что не характерно для образцов, полученных на основе волластонита фракции 0,125 мм.

Также проводились исследования по влиянию фракционного состава порообразователя (ФС-75) теплофизические свойства пористых теплоизоляционных материалов.

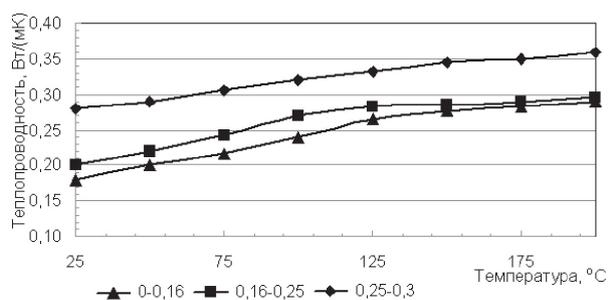


Рис. 5. Зависимость теплопроводности от фракционного состава ФС-75

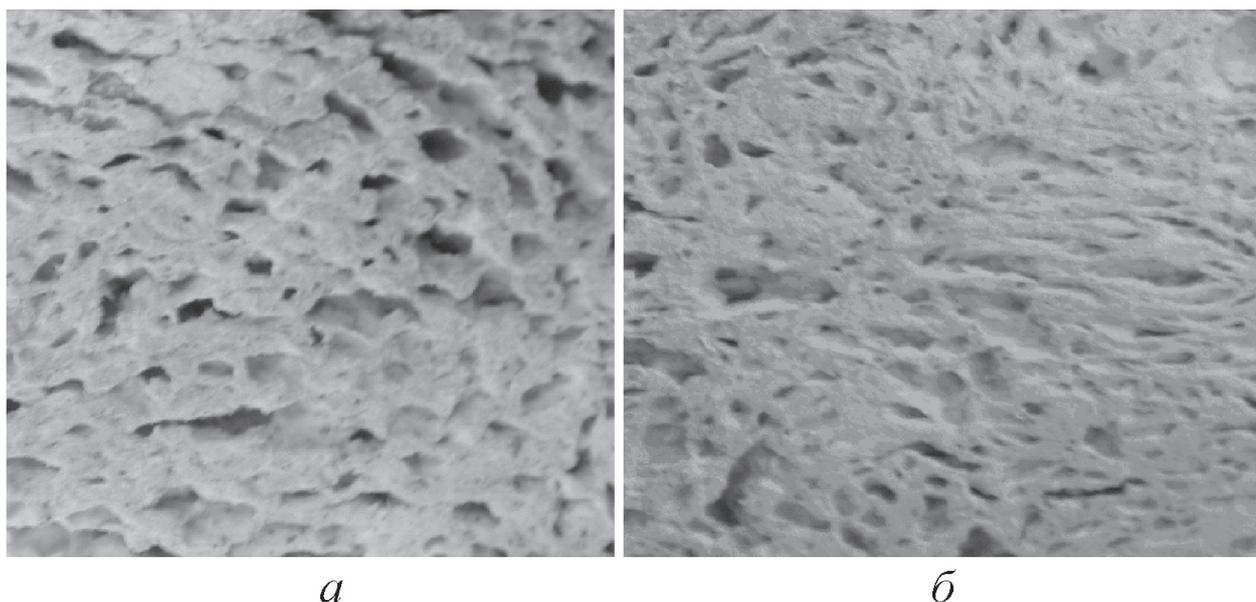


Рис. 4. Структура керамических пористых материалов в зависимости от фракции волластонита: а — 0,75 мм; б — 0,125 мм

При анализе данных рис. 5 установлено, что образцы, полученные при использовании ФС-75 фракции 0,25–0,30, имеют высокий коэффициент теплопроводности по сравнению с образцами, где применяли ФС-75 фракции 0,16–0,25 и 0–0,16. Однако принимая во внимание механические свойства, можно предположить, что для теплоизоляции подходит материал, где в качестве порообразователя использовали ФС-75 фракции 0,25–0,3.

В табл. 1 проведен сравнительный анализ физико-механических свойств предлагаемого материала с известными.

Результаты сравнительного анализа табл. 1 показали, что данный материал можно использовать как заменитель шамотного легковеса, т. к. последний уступает по теплофизическим и прочностным свойствам. Помимо теплоизоляции материал на основе синтетического волластонита может выполнять функцию каркаса.

Табл. 1

Физико-механические свойства теплоизоляционных материалов

Материал на основе волластонита с ФС-75	Известково-кремниземистые плиты марки D200	Шамот легковесный ШЛ-1,3	Плиты муллито-кремниземистые КТПУ
Кажущаяся плотность, кг/см ³			
650–700	176–182	1300	350
Теплопроводность, Вт/(м·К) при 600 °С			
0,2	0,13	0,7	0,19
Температура применения, °С			
1100	600	1300	1250
Предел прочности при сжатии, МПа			
6,5–7	0,7	3,5	0,3–0,35

Керамические покрытия, синтезируемые в режиме самораспространяющегося высокотемпературного синтеза

Огнеупорные материалы, используемые в промышленных печах и нагревательных установках, подвержены различным видам разрушений, в частности для алюминиевого литья влияние алюминия на огнеупорные материалы заключается в химическом взаимодействии, термоударах и механическом воздействии. Основными материалами футеровки термических и металлургических печей являются алюмосиликатные и магнезиальные огнеупоры [4]. Однако данные материалы имеют недостаточную термостойкость и шлакоустойчивость, в связи с этим для предотвращения разрушения футеровки и увеличения межремонтного промежутка необходимо создание защитного слоя на поверхности огнеупора.

В данном сообщении рассматриваются возможности получения огнеупорных защитных покрытий с использованием высокотемпературного самораспространяющегося синтеза (СВС) на основе системы MgO – SiO₂ – Al. Использование СВС позволяет снизить энергоемкость и обеспечить адгезионную прочность.

Особенностью получения термо- и шлакоустойчивых покрытий СВС-методом в рассматриваемой системе являются тепловые потери, кото-

рые приводят к прекращению распространения волны горения.

Повышение интенсивности взаимодействия в системе возможно путем проведения механической либо химической активации системы. Несмотря на то, что проведение механической активации позволяет усилить интенсивность реакционного взаимодействия, она сопряжена со значительными энергетическими затратами на ее проведение. В связи с этим более предпочтительным является проведение химической активации путем введения в систему добавок различных реакционноспособных соединений, которые в условиях синтеза взаимодействуют с основными компонентами, повышая тепловой эффект реакции. В качестве добавок могут быть использованы металлы (Cu, Fe, Mg), оксиды (TiO₂, MnO₂, Fe₂O₃), борсодержащие (H₃BO₃, Na₂B₄O₇) и фторсодержащие вещества (NaF, CaF₂, AlF₃, Na₂SiF₆) [5]. Данные добавки способствуют дополнительному выделению тепла за счет образования новых фаз в результате возникновения газотранспортного механизма [6].

Сравнительный анализ результатов термического анализа, измерений скорости волны горения и максимальной температуры СВС-реакции (табл. 2), показали, что максимальное активирующее воздействие на систему оказывает кремнефтористый натрий и оксид титана.

Свойства СВС-покрытий от вида используемых добавок

Вид добавки	Свойства		
	$T_{\max}, ^\circ\text{C}$	скорость фронта волны горения, мм/с	адгезионная прочность, МПа
TiO ₂	1500	7,8	0,88
Fe ₂ O ₃	1493	6,2	0,59
H ₃ BO ₃	1485	6,9	0,51
Na ₂ SiF ₆	1520	8,0	0,33

Результаты рентгенофазового анализа (РФА) показали, что в исследуемой системе с добавками кремнефтористого натрия, оксида железа и титана, ортоборной кислоты образуются следующие фазы: корунд, кремний, диоксид кремния, оксид магния и силикат магния. Однако наличие фаз пижонита ($\text{Mg}_{1,08}\text{Fe}_{0,92}\text{Si}_2\text{O}_6$) и рид-мерджерита (NaBSi_3O_8) характерно только для составов с добавкой оксида железа и ортоборной кислоты соответственно. При этом качественный и количественный фазовый состав варьируется в зависимости от состава исходной смеси.

Важным моментом при создании теплоизоляционных материалов является выбор связующего вещества. В качестве связующих веществ исследовали: алюмохромфосфатное связующее $\text{CrAl}_3(\text{H}_2\text{PO}_4)_{8,8-9,6}$, калиевое жидкое стекло $\text{K}_2\text{O} \cdot n\text{SiO}_2 \cdot m\text{H}_2\text{O}$, натриевое жидкое стекло $\text{Na}_2\text{O} \cdot n\text{SiO}_2 \cdot m\text{H}_2\text{O}$ огнеупорная глина и вода, триполифосфата натрия $\text{Na}_5\text{P}_3\text{O}_{10}$ и вода, а также связующие композиции: калиевое жидкое стекло и триполифосфат натрия, натриевое жидкое стекло и триполифосфат натрия.

Результаты показали, что наилучшей адгезией к алюмосиликатной подложке обладают покрытия на натриевом жидком стекле и триполифосфате натрия (1,90 МПа).

Низкие значения адгезионной прочности показали покрытия на алюмохромфосфатном связующем (1,11 МПа) связаны с тем, что это связу-

ющие содержит в своем составе ортофосфорную кислоту, поэтому при термообработке покрытий при температурах выше 700 °С происходит разложение конденсированных фосфатов, миграция паров оксида фосфора (V) из глубины к поверхности покрытий, а также частичное его удаление, что приводит к образованию микротрещин и возникновению пористой структуры.

Заключение

Разработан новый теплоизоляционный материал с использованием синтезированного сырья (волластонита), отличающийся достаточно высокой прочностью (6,5–7 МПа), теплопроводностью (0,05–0,2 Вт/м·К) и способный выполнять одновременно функцию теплоизоляции и каркаса футеровки.

Разработан новый состав огнеупорного защитного покрытия, который состоит из СВС-смеси, активирующей добавки и модифицированного связующего. Результаты исследований показали, что в качестве активирующей добавки эффективно использовать кремнефтористый натрий. Наибольшее увеличение адгезии получаемого покрытия (более чем в 3,5 раза) по сравнению с покрытием без добавок наблюдается в случае применения добавок оксида титана. Полученные покрытия могут быть использованы для защиты алюмосиликатных и магнезиальных огнеупоров от термоударов в термических и металлургических агрегатах.

Література

1. Гузман, И.Я. Высокоогнеупорная пористая керамика / И.Я. Гузман. — М.: Металлургия. — 1971. — 208 с.
2. Балкевич, В.Л. Техническая керамика: учеб. пособие для вузов / В.Л. Балкевич. — 2-е изд., перераб. и доп. — М.: Стройиздат, 1984. — 256 с.
3. Волластонит: сб. статей / АН СССР, отделение геологии, геофизики и геохимии; под ред. Петрова В.П. — М.: Наука, 1982. — С. 111.
4. Губинский, В.И. Металлургические печи: теория и расчеты: учеб. для студентов металлург. и технол. специальностей учреждений, обеспечивающих получение высш. образования: в 2 т. / В.И. Губинский [и др.]; под общ. ред. В.И. Тимошпольского, В.И. Губинского. — Т. 1. — Минск: Белорусская наука, 2007. — 832 с.
5. Волочко, А.Т. Синтез керамических покрытий на основе тугоплавких фаз в системах Mg – SiO₂ – Al и Al – SiO₂ – C методом СВС / А.Т. Волочко, К.Б. Подболотов, А.А. Жукова // Современные перспективные материалы / под ред. В.В. Клубовича. — Глава 13. — Витебск: ВГТУ, 2011. — С. 340–380.
6. О роли газофазного переноса при горении системы тантал – углерод / А.Г. Мержанов [и др.] // Инженерно-физический журнал, 1989. — Т. 59; № 1. — С. 5–13.

ГАЗОПЛАМЕННОЕ НАПЫЛЕНИЕ ПОКРЫТИЙ

Е.Д. Манойло

Институт сварки и защитных покрытий

Увеличение размеров, повышение быстродействия и производительности оборудования сопровождается ужесточением условий работы его узлов и механизмов. Увеличить срок службы как деталей, так и в целом машин и оборудования можно путем нанесения на быстроизнашивающиеся поверхности слоев покрытий, обладающих достаточным уровнем требуемых свойств — стойкости к коррозии, кавитации, износу при различных температурах, жаростойкости и др. [1].

В последние годы методы газопламенного напыления находят все большее применение на многих предприятиях Республики Беларусь. Для этих целей создаются необходимое оборудование и материалы, разрабатываются технологии газопорошковой наплавки и газопламенного напыления, позволяющие в ряде случаев обеспечить параметры качества покрытий, близкие к материалам в литом состоянии.

В 1956 г. фирма Метко (США) в ответ на спрос рынка представила аппарат МЕТКО 5Р для быстрого и эффективного газопламенного напыления покрытий из самофлюсующихся сплавов [2]. Благодаря высокой производительности, эффективности, легкому управлению и широким возможностям, он широко применяется в промышленности до настоящего времени.

Это способствовало созданию в нашей стране комплекта аппаратуры газопламенного напыления покрытий, разработке и внедрению ряда новых технологий нанесения защитных покрытий. Комплект аппаратуры для нанесения покрытий включает смонтированный на подставке универсальный пульт управления газами, к которому посредством шлангом могут быть подключены аппараты газопорошковой наплавки, газопламенного напыления порошков, проволок и шнуров (рис. 1, см. обложку) [3].

Для нанесения покрытий методом газопорошковой наплавки из порошков самофлюсующихся сплавов на основе никеля или кобальта при восстановлении изношенных и упрочнении новых

деталей, исправлении дефектов механической обработки, а также литья, служит аппарат ТЕНА-ГНпм (рис. 2) [3].

Аппараты газопламенного порошкового напыления ТЕНА-Ппм повышенной мощности (рис. 3) предназначены для нанесения покрытий из широкой номенклатуры порошков, включая самофлюсующиеся сплавы, аморфные материалы, сплавы на основе железа, никеля, меди, механические смеси из них, полимерные порошки, специальные композитные порошки на основе оксидов и полимеров и др. [3].



Рис. 2. Аппарат газопорошковой наплавки ТЕНА-ГНпм



Рис. 3. Аппараты для газопламенного нанесения покрытий повышенной мощности ТЕНА-Ппм: а — низкоскоростного; б — высокоскоростного напыления

Для повышения качества напыления покрытий из шнуровых и проволочных материалов, был разработан новый аппарат с электроприводом и цифровой системой управления подачей шнура ТЕНА-Уэ, приведенный на рис. 4 (см. обложку) [3].

В газопламенных методах для нагрева и переноса частиц используется энергия, выделяющаяся при горении смеси горючего газа с кислородом. Для очистки сжатого воздуха и управления параметрами (давлением и расходом) газов при термическом напылении покрытий аппаратами порошкового, проволочного и шнурового напыления, используется универсальный пульт управления газами ТЕНА-ПУГ. Применяемые газы: ацетилен технический ГОСТ 5457-75 или пропан-бутан технический ГОСТ 20448-80; МАФ; кислород технический ГОСТ 5583-78; сжатый воздух или азот газообразный ГОСТ 9393-74.

Благодаря возможности использования горючего газа до двух и более метров кубических в час, что соответствует электрической мощности около 30 кВт, все аппараты позволяют наносить покрытия с качественными параметрами, близкими к параметрам плазменных покрытий. Например, газопорошковой наплавкой аппаратом ТЕНА-ГНпм можно наносить покрытия из самофлюсующихся никелевых сплавов на детали массой более 20 кг, а при локальном нанесении — без ограничения массы. При этом обеспечивается качество соединения материала с подложкой, близкое к материалу в литом состоянии.

Газопорошковая наплавка

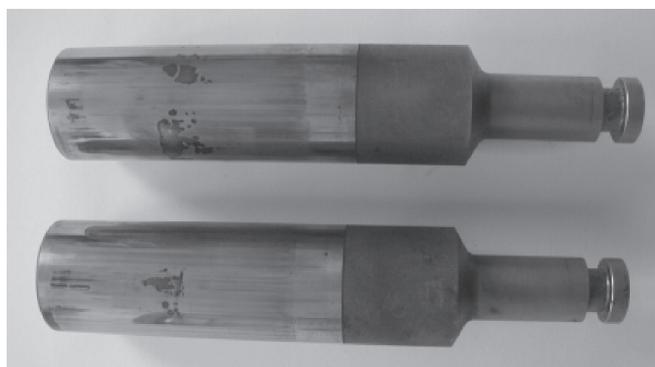
В условиях ОАО «Нафтан» трехплунжерные насосы марки NJ 116 ВА фирмы «РМН» (Франция), перекачивают весьма агрессивные жидкости, содержащие песок, и ресурс работы их плунжеров составляет около шести месяцев. Основной причиной износа плунжеров при этом является совместное воздействие коррозии и из-

носа трением. Плунжеры имеют следующие геометрические размеры: диаметр 55 мм, длину рабочей части — 180 мм. Пятно износа расположено в средней его части (рис. 5). Анализ показал, что на изношенных участках подложка окислена, хотя материалом плунжеров является нержавеющая сталь. Толщина слоя покрытия составляет около 0,2 мм, а средняя микротвердость — 861,4 кгс/мм² (эквивалентна твердости 64 HRC).

В соответствии с разработанным процессом для восстановления и упрочнения плунжеров был использован аппарат газопорошковой наплавки ТЕНА-ГНпм (рис. 2) и порошок Т-Термо № 55 (Ni-основа, 15–17 % Cr, 2,9–3,8 % В, 3,9–4,5 % Si, 1,0–1,2 % С и 3,0–3,5 % Fe), производства ОАО «ГЦ Техникорд» (Россия). Размер частиц — до 100 мкм. Температура плавления $T_m = 1323–1373$ К. Твердость материала — 58–62 HRC [4].

Основными стадиями процесса являются: снятие изношенного слоя толщиной 0,35–0,4 мм шлифованием; струйно-абразивная обработка напыляемой поверхности; газопорошковая наплавка покрытия толщиной 0,7–0,8 мм; охлаждение детали с покрытием в песке; шлифование детали до номинального размера.

Основные технологические режимы процесса нанесения покрытия следующие: давление кислорода — 0,6 МПа, горючего газа МАФ — 0,2 МПа; расход кислорода — 6000 л/ч, МАФа — 1800 л/ч. Расход порошкового материала — 4–6 кг/ч. При этом коэффициент использования порошка составил около 85 %. На рис. 5 представлены изношенные и восстановленные плунжеры.



а



б

Рис. 5. Изношенные (а) и восстановленные (б) детали

Новый метод нанесения упрочняющего покрытия при ремонте плунжеров насосов марки NJ 116 ВА позволил с успехом заменить покрытие из карбида хрома с 15 % Ni, нанесенное методом высокоскоростного газопламенного напыления [5].

Восстановленные и упрочненные плунжеры впервые были установлены в насосы марки NJ 116 ВА в январе 2006 г. В результате эксплуатации в условиях ОАО «Нафтан» плунжеры обеспечили ресурс работы насосов, выше фирменных. Процесс восстановления и упрочнения плунжеров используется уже в течение более 5 лет, что позволило отказаться от импорта деталей и сэкономить более 100 тыс. евро.

Другая технология — ремонт деталей металлорежущего оборудования, в частности чугунных поперечных направляющих большого токарного станка, с помощью газопорошковой наплавки никелевым самофлюсующимся сплавом аппаратом ТЕНА-ГНпм (рис. 6).

Износ поверхностей направляющих был неравномерным и в отдельных местах превышал 2–5 мм. Перед нанесением покрытия для удаления остатков масла и влаги изношенные поверхности деталей были нагреты до 180–200 °С и подвергнуты струйноабразивной обработке. Для наплавки использовался порошковый сплав на никелевой основе ПГ-12Н-01 Торезского завода наплавочных твердых сплавов (г. Торез, Донецкая область, Украина). Твердость наплавленного слоя покрытия — 35–40 HRC.

Восстановленные таким образом детали были обработаны фрезерованием и установлены на токарный станок, обеспечив возможность его дальнейшей эксплуатации с параметрами точности, близкими к точности нового станка.

Еще одна технология газопорошковой наплавки никелевым самофлюсующимся сплавом аппа-

ратом ТЕНА-ГНпм была разработана и использована для ремонта матрицы, пуансона и пластин пресса ВР-420 ОАО «Кореличи-Лен», служащего для изготовления брикетов из отходов переработки льна. Для наплавки использовался порошковый сплав на никелевой основе ПГ-12Н-02 с твердостью наплавленного слоя 45–50 HRC Торезского завода наплавочных твердых сплавов. В результате ремонта были восстановлены технические характеристики пресса, что обеспечило выпуск годной продукции.

Технология газопорошковой наплавки была также разработана для восстановления прокатного вала диаметром 200 мм и длиной 320 мм (ЗСООО «Белпелет», г. Минск), поврежденного в результате попадания гаечного ключа, упущенного рабочим при ремонте линии. Наплавку производили порошковым никелевым самофлюсующимся сплавом ПГ-10Н-04, который может быть нанесен толщиной до 8–10 мм, хорошо сопротивляется ударам и не окисляется при высоких температурах. Твердость покрытия ~230 НВ, оно легко обрабатывается резанием. Восстановленная деталь обеспечила оперативный ввод в эксплуатацию линии по выпуску продукции.

Газопламенное напылением покрытий из самофлюсующихся сплавов системы Ni – Cr – В – Si с последующим оплавлением позволяет повысить сопротивление поверхности трения к абразивному изнашиванию, например по сравнению с закаленными сталями, содержащими 0,6 % углерода, в 5 раз [6].

Созданный в 2008 г. процесс упрочнения плунжеров глубинных скважинных насосов включает следующие операции: струйноабразивную обработку, предварительный подогрев детали до температуры около 100 °С, газопламенное напыление покрытия, оплавление его и медленное охлаждение детали с покрытием.



а



б



в

Рис. 6. Деталь, подготовленная к наплавке (а); процесс газопорошковой наплавки (б); восстановленная деталь (в)

Для реализации новой технологии была создана установка ТЕНА-ДМВ-2000 для полуавтоматической обработки деталей типа «вал» длиной до 2 м. В зависимости от комплектации, она обеспечила струйно-абразивную обработку, предварительный подогрев детали, напыление и оплавления покрытия.

Установка ТЕНА-ДМВ-2000 снабжена циклоном, вакуумной системой сбора абразива и фильтром очистки отработавшего воздуха.

Обработка поверхности детали обеспечивается путем ее вращения при относительном перемещении одного из аппаратов: струйно-абразивной обработки, аппарата-распылителя ТЕНА-Псф или ТЕНА-ГНпм. На рис. 7 (см. обложку) представлена установка ТЕНА-ДМВ-2000 в работе.

Для напыления покрытий использовали порошок самофлюсующегося твердого сплава Deloro 60M (Ni-основа; 15 % Cr; 3,2 % В; 4,4 % Si; 0,75 % С; 3,5 % Fe) фирмы «Deloro Stellite» (Канада) с размерами частиц до 100 мкм, обеспечивающий твердость напыленного и оплавленного покрытия не менее 60 HRC. Напыление покрытий производили аппаратом газопламенного напыления порошков ТЕНА-Ппм, снабженным модулем для напыления самофлюсующихся сплавов. Режимы процесса напыления следующие: давление газов, МПа: кислорода — 0,6; МАФа — 0,2; сжатого воздуха — 0,2; расход газов, л/ч: кислорода — 6000; МАФа — 1800, сжатого воздуха — около 20000; дистанция напыления — 200–250 мм. Оплавление напыленных покрытий производили аппаратом газопорошковой наплавки ТЕНА-ГНпм. Режимы процесса оплавления следующие: давление газов, МПа: кислород — 0,6; МАФ — 0,2; расход газов, л/ч: кислорода — 5000, МАФа — 1500; дистанция оплавления — 30–50 мм.

Применение установки ТЕНА-ДМВ-2000 для струйно-абразивной обработки, напыления и оплавления плунжеров за счет бесступенчатого управления обеспечило возможность выбора оптимальных оборотов детали и скорости перемещения аппарата, что оказало дополнительное положительное влияние на качество наносимых покрытий. Впервые в СНГ такой комплект оборудования и технологический процесс напыления защитных покрытий на плунжеры скважинных насосов осуществлен и внедрен в 2008 г. на ОАО «Мунаймаш» (Казахстан) для упрочнения 4000 тыс. плунжеров в год [5].

В 2010 г. разработана технология газопламенного порошкового напыления покрытий из никелевого самофлюсующегося сплава аппаратом

ТЕНА-Ппм с последующим оплавлением аппаратом ТЕНА-ГНпм для защиты от искрообразования и упрочнения новых ходовых колес крана «Слуцкого завода подъемно-транспортного оборудования».

Размеры напыляемой поверхности: диаметр $d=200$ мм, длина $L=80$ мм. Материал покрытия — никелевый самофлюсующийся сплав Т-Термо № 55 с твердостью 55 HRC (ООО «ТЦ Техникорд», Россия). Толщина слоя покрытия 1 мм. Время напыления и оплавления покрытия 1 ч. Детали с напыленным покрытием (рис. 8) обработаны, установлены на краны и переданы заказчику.

В 2011 г. разработана еще одна технология восстановления и упрочнения вилок карданного вала (ООО «Табак-Инвест» г. Минск) газопламенным напылением покрытий из никелевого самофлюсующегося сплава Т-Термо № 55 с твердостью 55 HRC с последующим оплавлением. Напыление производили аппаратом ТЕНА-Ппм, а оплавление — аппаратом ТЕНА-ГНпм. Обработка покрытия до требуемого размера была произведена шлифованием алмазным кругом. Детали с нанесенным покрытием приведены на рис. 9.

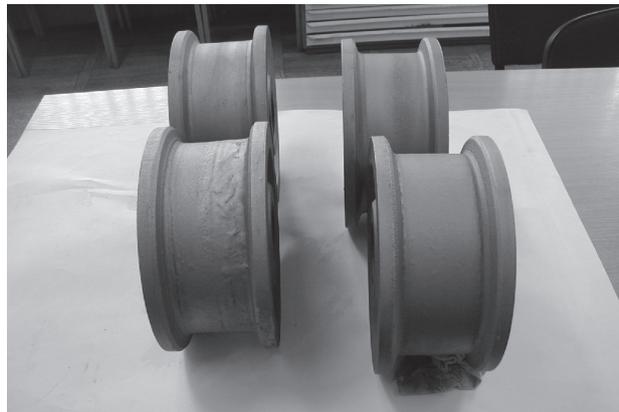


Рис. 8. Восстановленные детали



Рис. 9. Восстановленные детали

Новая технология газопламенного напыления покрытий из самофлюсующегося никелевого сплава с последующим индукционным оплавлением была разработана для упрочнения режущей кромки ножей кормоуборочных комбайнов КПК-3000 для ОАО «Гомсельмаш» [7]. В течение многих лет ножи изготавливались из стали 65Г с упрочнением режущих кромок индукционной наплавкой шихтой на основе порошкового сплава ПГ-С27М (ГОСТ 21448-75), производства НПО «ТУЛАЧЕРМЕТ» (Россия). Однако срок службы деталей с таким покрытием не обеспечивает необходимый ресурс работы, что может быть связано с необходимостью частой заточки ножей в процессе работы.

Фирма Метко (США) для защиты от износа и коррозии деталей, работающих в условиях абразивного трения, использует газопламенные покрытия из механических смесей самофлюсующихся твердых сплавов с карбидом вольфрама [2]. Для нанесения покрытий на режущие кромки ножей была использована порошковая смесь никелевого самофлюсующегося сплава с карбидом вольфрама — Т-Термо № 655 (ТЦ «СП ТЕХНИКОРД», Россия) и аппарат ТЕНА-Ппм. На рис. 10 представлены ножи кормоуборочного комбайна КПК-3000.

Работы по освоению вновь созданной технологии на ОАО «Гомсельмаш» начаты в 2008 г. Создан специальный участок для напыления режущих кромок ножей комбайна, который включает установку струйно-абразивной обработки ТЕНА-УСаО-1300, аппарат-распылитель порошков самофлюсующихся сплавов ТЕНА-Ппм с пультом управления газами ТЕНА-ПУГ (рис. 1, а) и комплектом соединительных шлан-



Рис. 10. Ножи кормоуборочного комбайна: а — отдробеструенный; б — напыленный; в — оплавленный

гов. Индукционное оплавление покрытий производится на установке, применявшейся ранее на заводе для наплавки ножей. Время струйно-абразивной обработки, нанесения покрытия и оплавления (толщина слоя 0,2–0,3 мм) составляет не более 20 с на деталь. Новая технология позволила обеспечить высокую эффективность процесса и требуемое качество покрытия [8].

Эксплуатационные испытания показали, что новая технология упрочнения режущих кромок ножей обеспечила необходимый ресурс работы комбайнов. В настоящее время на заводе вводится серийный выпуск ножей — 2000 деталей в месяц.

В 2010 г. разработана новая технология высокоскоростного газопламенного порошкового напыления покрытий аппаратом ТЕНА-Ппм из механической смеси порошков алюминиевой бронзы, соединений железа и ультрадисперсных алмазов [9, 10]. Она позволила восстанавливать изношенные поверхности деталей различного оборудования, в частности валы аммиачного насоса ГП «Минскрыбпром», буксы ОАО «БЭРН». Режимы процесса напыления следующие. Давление газов, МПа: кислород — 0,5; МАФа — 0,2; сжатый воздух — 0,5. Расход газов, л/ч: кислород — 4500; МАФ — 1800, сжатый воздух — около 20 000. Дистанция напыления — 150–175 мм.

Благодаря новому составу механической смеси, а также специальной конструкции соплового модуля и повышенной тепловой мощности струи, формируется покрытие с высокими параметрами качества: твердостью — около 45 HRC, пористостью — менее 2,5%, прочностью на разрыв — около 325 МПа. На рис. 11 представлены восстановленные валы ГП «Минскрыбпром».

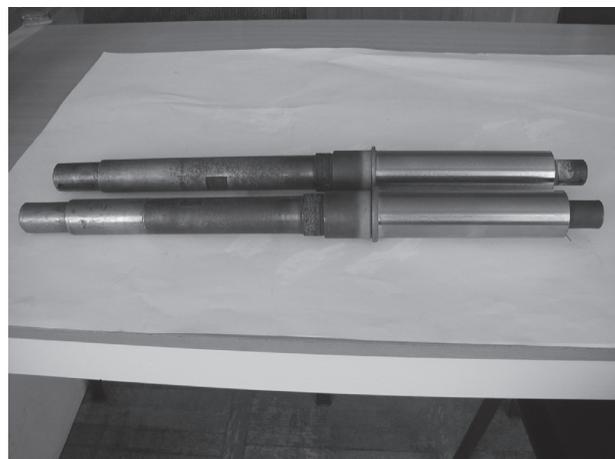


Рис. 11. Восстановленные валы аммиачного насоса

Еще одна новая технология высокоскоростного газопламенного порошкового напыления создана в 2010 г. для восстановления изношенной рабочей поверхности латунных барабанов ОАО «Щучинский завод автопровод» (рис. 12, см. обложку). Размеры барабана: $d = 200$ мм, $L = 300$ мм. В соответствии с требованиями чертежа толщина напыленного и обработанного шлифованием слоя покрытия должна быть не менее 0,5–1,0 мм. Покрытия напыляли механической смесью порошков алюминиевой бронзы и соединений железа аппаратом ТЕНА-Ппм.

Гибкие шнуры «Сфекорд» составляют особую группу материалов для газопламенного напыления покрытий. Они созданы в 70-х гг. прошлого столетия французской фирмой «Сфек», использовавшей технологию газопламенного нанесения покрытий из оксидов алюминия. Гибкие шнуры представляют собой получаемый экструзией композиционный материал, состоящий из порошкового наполнителя и органической связующей, полностью исчезающей при нанесении покрытия (сублимирует в процессе нагрева до температуры 400 °С) без какого-либо отложения на подложку. При газопламенном напылении покрытий из шнуров аппаратом ТЕНА-Уэ необходимый запас тепловой и кинетической энергии сообщается частицам материала в процессе взаимодействия их с пламенем смеси горючий газ — кислород. Пламя образуется в результате сгорания горючей смеси в камере воздушного сопла аппарата. При использовании в качестве горючего газа МАФ температура струи достигает 2900 °С, а скорость ее истечения — 750–1200 м/с. Шнуровой материал подают вдоль оси струи, в которой частицы плавятся или пластифицируются и приобретают скорость 100–300 м/с. Скорость частиц зависит от соотношения кислорода и горючего газа в смеси, расхода воздуха, количества вводимого в пламя шнура, гранулометрического состава и плотности материала частиц и других факторов.



В 2010 г. для ОАО «Щучинский завод автопровод» разработана технология восстановления изношенной поверхности барабана отжига медной проволоки МСС 80/8/21, высокоскоростным газопламенным напылением керамического покрытия шнурами производства ТЦ «СП ТЕХНИКОРД» (Россия), аппаратом ТЕНА-Уэ. В соответствии с требованиями чертежа толщина напыленного и обработанного шлифованием слоя покрытия должна быть не менее 0,3–0,5 мм. Размеры барабана: $d = 200$ мм, $L = 300$ мм.

Основные операции процесса: струйноабразивная обработка в установке ТЕНА-УСАО-1300, подогрев детали и напыление шнурового покрытия аппаратом ТЕНА-Уэ (рис. 4, см. обложку). Время напыления покрытия — 1 ч. Толщина слоя покрытия — 0,5 мм. Подслой — шнур «Nialide», основной слой покрытия «Корунд белый». Шлифование — алмазным кругом. На рис. 13 представлен процесс нанесения покрытия на барабан и деталь с покрытием.

Барабан, напыленный в соответствии с разработанной технологией, был установлен на установке отжига медной проволоки и отработал ресурс, равный новому. В настоящее время ведутся работы по напылению отдельных партий барабанов.

В 2003 г. для упрочнения штоков компрессора 5Г-600/42-60 ОАО «НАФТАН», контактирующих с сальниковым уплотнением из коксофторопласта Ф4К20, была разработана технология газопламенного высокоскоростного напыления керамического покрытия шнуром. Основные операции процесса: струйноабразивная обработка, подогрев детали, напыление аппаратом ТЕНА-Уэ подслоя сцепления шнуром «Nialide» и основного слоя покрытия шнуром «Корунд черный», производства ТЦ «СП ТЕХНИКОРД» (Россия).

На рис. 14 представлен процесс напыления покрытия и напыленные детали после механической обработки. Технологические режимы процесса напыления представлены в таблице.

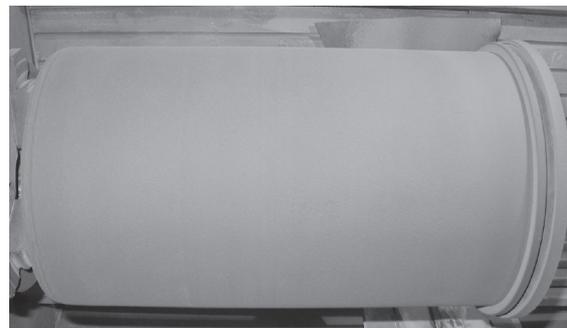
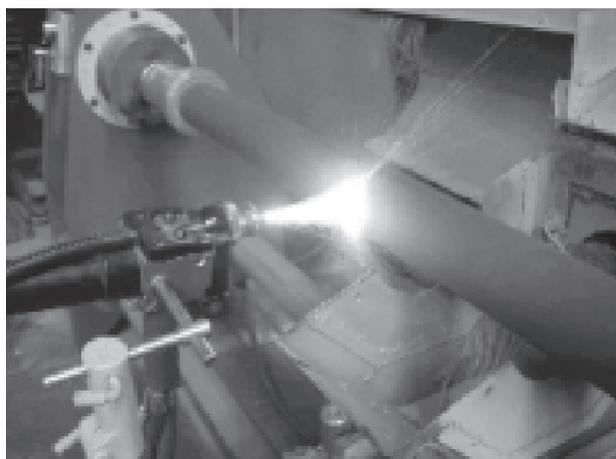
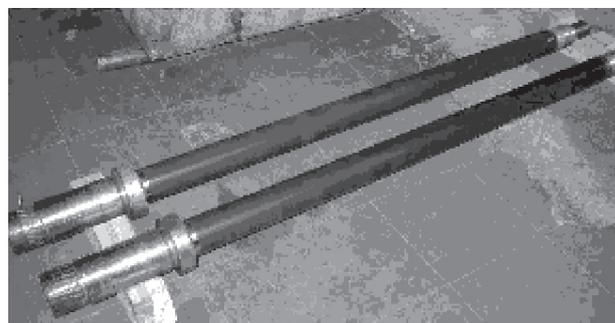


Рис. 13. Процесс напыления покрытия (а); барабан с покрытием (б)



а



б

Рис. 14. Процесс напыления керамического покрытия (а) и штоки с покрытием (б)

Таблица

Технологические режимы напыления

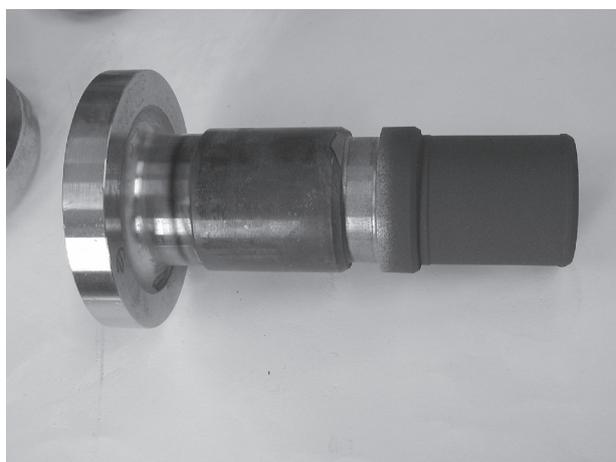
Марка шнура «Сфекорд»	Диаметр шнура, мм	Скорость подачи шнура, см/мин	Давление воздуха, МПа	Давление го- рячего газа кгс/см ² МПа	Давление кислорода МПа кгс/см ²	Расход газов, л/ч	
						МАФ	O ₂
«Ниалид»	4,75	40	0,4	0,15	0,35	1500	4000
«Корунд черный»	4,75	25	0,4	0,15	0,35	1500	4000

Упрочненные таким образом штоки показали увеличение срока службы в условиях предприятия более, чем в 4 раза, по сравнению с хромированными деталями.

В 2010 г. разработана еще одна технология высокоскоростного газопламенного напыления аппаратом ТЕНА-Уэ износостойкого оксидно-ке-

рамического покрытия шнуром «Корунд черный» на быстроизнашивающиеся рабочие поверхности валов СООО «Фидмаш». Напыленные валы приведены на рис 15. Валы с керамическим покрытием отработали требуемый ресурс времени.

В 2011 г. изготовлена опытная партия деталей и передана заказчику.



а



б

Рис. 15. Вал с керамическим покрытием (а) и опытная партия деталей (б)

В 2009–2011 гг. создана новая технология изготовления композиционного порошка на основе оксида алюминия (50–80 об. %) и Полиамида-11 с содержанием 0,5–2,5 % наноразмерных частиц оксида алюминия [11], и метод высокоскоростного газопламенного напыления покрытий с использованием этого порошка. На рис. 16 приведены снимки топографии порошков.

Расположенный на частицах полимера плотный слой из частиц оксида алюминия позволил снизить окисление и улучшить условия нагрева полимерного ядра в высокотемпературной струе распылителя за счет передачи тепла через слой-оболочку из частиц оксида алюминия и благодаря этому повысить качество покрытия. Кроме того, форма частиц, близкая к сферической, обеспечивает достаточно равномерную подачу порошка в высокотемпературную струю распылителя.

При нанесении покрытия полученный композиционный материал подают в струю газопламенного распылителя ТЕНА-Ппм, движущуюся

со скоростью 300–500 м/с, энергией которой производят перенос композитных частиц на поверхность детали, оплавление полимерной составляющей, осаждение и монолитизацию покрытия на предварительно подогретой до температуры, на 5–40 °С выше температуры плавления полимера поверхности детали. Монолитизацию покрытия производят в течение 1–30 с.

В результате напыления получены непроницаемые, прочные и твердые покрытия для защиты рабочих поверхностей деталей (импеллеров смесителей, рабочих колес вентиляторов), работающих в условиях совместного воздействия интенсивной коррозии и износа, технологического оборудования солеперерабатывающих предприятий (рис. 17, см. обложку).

Результаты испытаний, проведенные ООО «Технологии металлополимерных материалов» в производственных условиях Солигорского калийного комбината, показали увеличение срока службы деталей с покрытием в 2–3 раза.

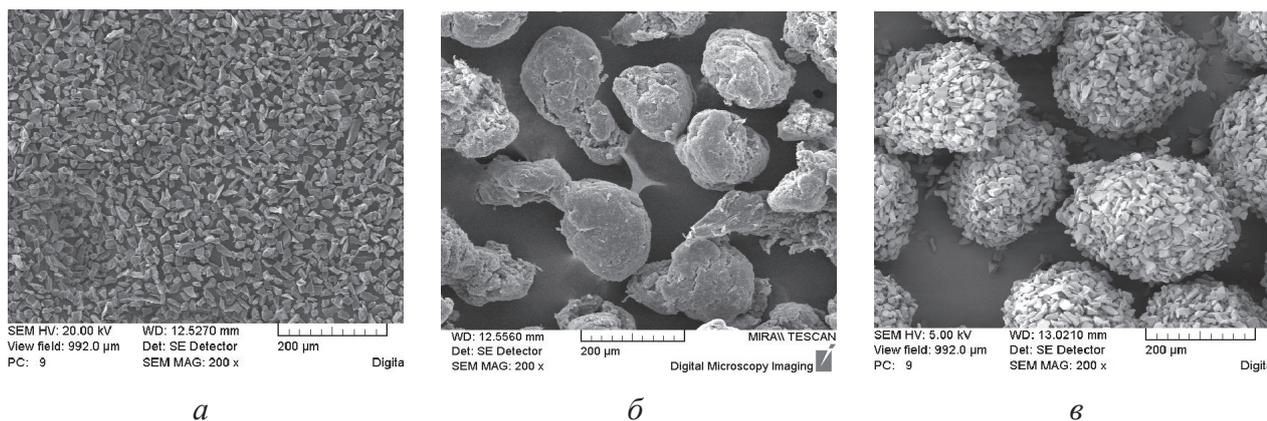


Рис. 16. Топография порошков:
а — оксид алюминия; б — Полиамид-11; в — композиционный

Литература

1. Порошковая металлургия и напыление покрытия / В.Н. Андиферов [и др.]. — М.: Металлургия, 1987. — 792 с.
2. Ingham, H.S. Flame spray hand-book / H.S. Ingham, A.P. Shepard // Powder process. — Vol. II. — Published by Metco Inc., Westbury, Long Island, New York, 1967. — P. 131.
3. Манойло, Е.Д. Оборудование и аппаратура для газопламенного напыления покрытий / Е.Д. Манойло // Технологии. Оборудование. Качество: 12-й Междунар. симпозиум: сб. докладов. — Минск, 2009. — С. 105–108.
4. Манойло, Е.Д. Восстановление и упрочнение плунжеров насосов газопламенным напылением защитных покрытий из самофлюсующихся никелевых сплавов / Е.Д. Манойло // Порошковая металлургия. — Вып. 29. — 2006. — С. 257–262.
5. Манойло, Е.Д. Упрочнение и восстановление плунжеров насосов газопламенными методами напыления и наплавки / Е.Д. Манойло // Сварка и родственные технологии: материалы докладов Международного симпозиума 24 марта 2010 г. — Минск, Ковчег, 2010. — С. 137–143.
6. Исследование количества структурных составляющих в наплавочных сплавах Ni – Cr – B – Si / А.Г. Сбрижер [и др.] // Порошковая металлургия. — № 5. — 1996. — С. 84–89.
7. Манойло, Е.Д. Упрочнение ножей кормоуборочной техники / Е.Д. Манойло, Н.Ф. Соловей, Ф.Е. Онащенко // Инженерия поверхности. Новые порошковые композиционные материалы. Сварка : матер. Междунар.

- симп., провод. в рамках 13-й междунар. выставки «Порошковая металлургия-2011», 22–25 марта 2011: в 2 ч. Ч. 2.: — Минск, 2011. — С. 62–69.
8. Упрочнение ножей кормоуборочных комбайнов высокоскоростным газопламенным напылением покрытий из самофлюсующихся никелевых сплавов с карбидом вольфрама / Е.Д. Манойло [и др.] // Сварка и родственные технологии: Республ. межведомств. сб. науч. трудов. — № 10. — Минск, 2008. — С. 104–111.
9. Патент РБ №14178 С1. 2011.04.30. МПК (2009). С 23С 4/06, С 22С 9/01. Порошок для высокоскоростного газопламенного напыления покрытий / Е.Д. Манойло, Ф.Е. Онащенко, А.П. Корженевский (ВУ) // ГНУ «Институт порошковой металлургии» (ВУ).
11. Патент РБ №14389 С1. 2011.06.30. МПК (2009). С 23С 4/04. Композиционный порошкообразный материал для газопламенного напыления покрытий / Е.Д. Манойло, Ф.Е. Онащенко (ВУ) // ГНУ «Институт порошковой металлургии» (ВУ).

ВОЗМОЖНОСТИ ПОВЫШЕНИЯ РАБОТОСПОСОБНОСТИ БАШЕННЫХ КРАНОВ С НИЖНИМ РАСПОЛОЖЕНИЕМ ОПУ

*К.т.н. Наталевич А.Н., к.т.н. Нестеренко Н.Л.,
к.т.н. Горбаиш В.Г., к.т.н. Делендик М.Н.*

В 2010 г. строительными организациями г. Гомеля были отмечены неоднократные случаи преждевременного выхода из строя нижних секций башни башенных кранов, изготавливаемых РПУП «Могилевский завод «СТРОММАШИНА».

В частности, башенный кран КБМ-401П зав. № 102, рег. № 8624 (владелец ОАО «СМТ № 27» УМ-238), введенный в эксплуатацию 18.05.2009, был остановлен 21.09.2010 для демонтажа и изъятия вышедших из строя четырех нижних секций башни. Характерной особенностью крана является нижнее расположение ОПУ, что обуславливает массу поворотной части 100 т, т. е. 85 % от массы крана.

Возможными причинами выхода секций башни из строя, по мнению завода-изготовителя, являются многочисленная недопустимая перегрузка крана (на 21.09.2010 регистратором параметров ОНК-160Б зафиксировано 218 случаев перегрузки) и ветровая нагрузка.

Владелец крана считает, что возможными причинами может быть несоответствующее качество металла, сварных швов и (или) несоблюдение технологии при сборке и сварке.

Для определения причин преждевременного выхода секций крана из строя научными сотруд-

никами МИПК и ПК БНТУ была проведена работа по определению химического состава материала раскосов, микроструктуры стали, механических характеристик стали, проведены расчеты напряженного состояния и усталостной выносливости элементов башни крана.

Характер повреждения секций

Вышедшие из строя четыре нижние секции № 740, 748, 764, 779 имели один–два поврежденных раскоса, (труба 60×4 сталь 20В), причем установлено два вида повреждений: наличие усталостных трещин в околосшовной зоне и погнутости (изгибы), расположенные примерно посередине раскоса (рис. 1, 2). Погнутость раскосов различна при стрелке от 40 до 65 мм (рис. 1).

На 4 указанных секциях имеются 5 раскосов с трещинами на концах, находящимися в начальной стадии развития, но без изгиба. В то же время не обнаружено раскосов, которые имели бы изгиб, но не имели трещин в местах соединения с поясом. Это показывает, что первичным признаком разрушения является зарождение и развитие трещины (рис. 2, 3). Изгиб раскосов происходит после достаточной степени развития одной или двух трещин.



Рис.1. Вид погнутого раскоса



Рис.2. Зарождение усталостных трещин

Один из вышедших из строя раскосов секции № 748 имеет не один, а два изгиба, причем, если один изгиб расположен в вертикальной плоскости секции, то второй (ближе к концу раскоса) расположен в плоскости, перпендикулярной к вертикальной. Это свидетельствует о сжатии раскосов значительным усилием, когда раскос теряет устойчивость сначала в одной плоскости, а затем во второй.

Причины возникновения усталостных трещин в раскосах

Установлено, что возникновение усталостных трещин в околошовной зоне раскосов при имеющей место незначительной наработке крана, в первую очередь обусловлено тем, что в качестве материала раскосов использована сталь, значение предела текучести σ_T которой выше на 37 % предусмотренных ГОСТ 8731-87, ГОСТ 1050-88 и на 27 % выше указанных изготовителем в паспорте крана.

В то же время браковочные значения механических характеристик прокатной стали в соответствующих стандартах определяются (например, согласно СНиП II-23-81*) значением коэффициента надежности по материалу $\gamma_m = 1,025$. Иначе говоря, отклонение прочностных характеристик стали от стандартных значений, имея обеспеченность 95 %, должны соответствовать $\pm 2,5$ %.

Указанное превышение предела текучести выбранного материала для раскосов, уменьшая пластичность, снижает сопротивление усталости, тем самым ускоряя процесс возникновения трещин.

Отметим, что для сварных крановых конструкций используют пластичные низкоуглеродистые стали, у которых максимальное отношение величины предела текучести σ_T к пределу прочности не превышает 0,6, т. е. $\sigma_T / \sigma_B \leq 0,6$.

Вторым фактором, инициирующим появление усталостных трещин при выбранной стали для раскосов, является сплющивание концов раскосов, привариваемых к поясам, следствием которого являются следующие обстоятельства:

- ослабление жесткости раскосов в вертикальной плоскости ввиду уменьшения момента инерции сечения в местах сплющивания;
- концентрация напряжений в околошовной зоне из-за сплющивания (малый угол подхода сплюснутых концов раскосов к поясам усложняет наложение сварных швов, приводя к неравномерности катетов швов и повышает вероятность непроваров). Это является также причиной появления эксцентриситета при действии продольного усилия в раскосе и изгибающего момента в сварном соединении, увеличивающего рабочее напряжение до 10 % сверх допускаемых.

Зависимость рабочих напряжений, возникающих в раскосах от вида

укрепления концов раскосов к поясам

Устойчивость сжатых стержней в значительной мере определяется коэффициентом μ приведения геометрической длины к расчетной. Значение коэффициента μ различно для разных видов закрепления концов стержня (в нашем случае трубы 60×4).

При наличии сплюснутых концов, привариваемых к поясам, коэффициент $\mu_1 = 1$ (шарнирное закрепление).

Если отказаться от этого вида закрепления и заменить жестким с разделкой концов раскосов к поясу (труба 140×12) с последующей приваркой, то коэффициент $\mu_2 = 0,5$ (жесткое закрепление).



Рис.3. Развитие усталостной трещины, предшествующее разрушению сварного соединения

Во втором случае при $\mu_2 = 0,5$ гибкость λ раскоса будет в 2 раза меньше ввиду того, что $\lambda = l\mu$ (l — длина раскоса).

Напряжения в сжатом стержне определяются известной зависимостью

$$\sigma = \frac{Q}{\varphi \cdot A},$$

где Q , — продольное усилие; A — площадь сечения раскоса; φ — коэффициент продольного изгиба, выбираемый по таблицам в зависимости от гибкости λ и расчетного сопротивления R_y стали.

Согласно приведенной зависимости, для варианта жесткого закрепления концов раскосов получим снижение величины напряжения в 2 раза, т. к. величина коэффициентов φ_1 и φ_2 , выбранных по таблицам СНиП II-23-81*, составляет $\varphi_1 = 0,332$ и $\varphi_2 = 0,665$.

Соответственно этому получаем весьма существенное (в 3–5) раз повышение сопротивления усталости сварного соединения.

Оценка рабочих напряжений, возникающих в раскосах и поясах секций от действия вертикальных сил (масса крана и груза) и опрокидывающего момента

За время эксплуатации крана длительностью около года, соответствующей числу циклов нагружения $N = 2,5 \cdot 10^4$, регистратором зафиксировано 218 случаев перегрузки при загрузке крана от 105 до 255 %.

По мнению изготовителя эти перегрузки являются причиной преждевременного выхода секций башни из строя.

Для подтверждения или опровержения этого сравним значения рабочих напряжений в раскосах и поясах от действия вертикальных сил (масса крана и груза) и опрокидывающего момента.

Проведенные с использованием программного комплекса «ЛИРА» расчеты показывают, что при загрузке крана на 100 % напряжения в раскосах составляют 2–3 МПа, в поясах — 75 МПа.

При загрузке 255 % (максимальная перегрузка 155 %, имеющая место в 8 случаях за время эксплуатации) те же напряжения составляют: в раскосах — 10 МПа, в поясах — 183 МПа.

Сравнивая приведенные значения напряжений, можно видеть, что, во-первых, рабочие напряжения меньше $\sigma_T = 335$ МПа, предела текучести материала раскосов и поясов; во-вторых, напряжения в раскосах ничтожно малы.

С учетом приведенного следует считать, что вышеуказанные зафиксированные регистратором ОНК-160Б перегрузки не являются причиной выхода секций башни из строя.

Регистрируемый прибором опрокидывающий момент не вызывает существенного нагружения раскосов, а загружает пояса секций (труба 140×12). Пояса секций являются несущими элементами секций и не имеют повреждений.

Раскосы же, несмотря на то, что не являются несущими, выходят из строя при весьма незначительной наработке, что свидетельствует о силовом воздействии невыявленного фактора.

Причины появления остаточных изгибов раскосов и усталостного разрушения

Наличие остаточных изгибов вышедших из строя раскосов свидетельствует о действии продольного сжимающего усилия, величина которого достигает критической, когда раскосы теряют устойчивость.

В то же время выше было отмечено, что вертикальные силы от веса крана с грузом и опрокидывающий момент не являются причиной изгиба раскосов.

Следует считать, что единственной причиной возникновения критической величины сжимающего усилия в раскосах является действие крутящего инерционного момента, скручивающего башню при повороте крана.

При отсутствии соответствующего ограничения скорости поворота башни крана с учетом массы поворотной части крана 100 т и влияния ветровых нагрузок величина инерционного момента может достигнуть, как показали расчеты, значения 118 кНм (11,8 тм).

При таком значении момента знакопеременные усилия сжатия-растяжения будут равны 85 кН (8,5 т), что близко к критическому значению, когда раскосы теряют устойчивость.

Наличие остаточных выгибов в раскосах является реальным подтверждением действия указанного момента. Наличие не одного, а двух выгибов во взаимноперпендикулярных плоскостях на одном из вышедших из строя раскосов свидетельствует также о наличии изгибно-крутильной формы потери устойчивости, когда раскосы теряют устойчивость и работают не как центрально-сжатые, а как внецентренно-сжатые элементы.

Такой характер деформации раскосов, указывая на действие крутящего инерционного момента, показывает, что установленный на кране регистратор ОНК-160Б не выполняет функцию защиты от инерционного момента, контролируя только величину опрокидывающего момента.

Характеризуя процесс разрушения раскосов заметим, что одновременно с возрастающей деформацией изгиба раскосов от циклического действия продольных сил, сжимающих и растягивающих раскосы при каждом повороте крана, происходит усталостное разрушение металла в зоне примыкания раскосов к поясам.

Последнее начинается с момента возникновения трещин (рис. 2) в местах расположения концентраторов напряжений и сопровождается ростом трещины вплоть до отделения раскосов от поясов (рис. 4).



Рис. 4. Разрушение сварного соединения

Механизм разрушения раскосов

В результате проведения химанализа материала раскосов секций башни крана, испытаний образцов, вырезанных из раскосов, определения

механических параметров стали, проведенных расчетов напряженного состояния раскосов и усталостной выносливости установлен следующий механизм разрушения:

1) фактическое соотношение характеристик материала раскосов $\sigma_T / \sigma_B = 0,675 > 0,6$, снижая пластичность, повышает склонность стали к усталостному разрушению и чувствительность к концентрации напряжений;

2) ускорение усталостного разрушения происходит ввиду наличия концентраторов напряжений, которыми являются:

- местный наклеп в результате сплющивания концов раскосов (труба 60×4), когда сталь имеет пониженную пластичность;
- трещины, надрывы, образующиеся при сплющивании внутри раскосов в местах малых радиусов;
- дефекты сварки (подрезы, непровары) располагающиеся вдоль границ сварных швов;
- нарушение структуры стали в зоне термовлияния при сварке;

3) в результате возникновения и роста трещины имеет место снижение жесткости сварного соединения и при действии значительных по величине сжимающих сил от действия инерционного момента происходит постепенная потеря устойчивости раскосов;

4) по мере развития усталостных трещин и снижения жесткости соединения происходит отрыв раскосов от поясов и их изгиб до величины стрелки 65 мм.

Заключение

Повышение работоспособности секций башни крана КБМ-401П может быть достигнуто за счет следующего:

- использования для раскосов пластичной стали с соотношением $\sigma_T / \sigma_B \leq 0,6$;
- перехода на жесткое крепление раскосов с поясами с разделкой раскосов под пояса и последующей приваркой;
- настройки регистратора ОНК-160Б, изготавливаемого в РФ, на соответствующее ограничение скорости поворота башни;
- повышения качества исполнения сварных швов.

СИЛОВЫЕ УСТАНОВКИ МАЛОРАЗМЕРНЫХ БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ (БЛА)

Калиниченко В.Г.

В настоящее время на различных БЛА находят применение следующие силовые установки: поршневые двигатели внутреннего сгорания (в т. ч. роторно-поршневые), газотурбинные, прямоточные, а также электродвигатели. При скоростях полета $M < 0,5$ преимущественно применяются винтомоторные группы (ВМГ) с поршневым двигателем (ПД), т. к. они позволяют достигать наиболее высокого показателя экономичности — удельной тяги (табл. 1). Весовая удельная тяга $I_{уд}$ (удельный импульс) — это отношение получаемой тяги к весовому расходу топлива, измеряется в секундах ($c = кгс \cdot с / кгс$). Массовая удельная тяга получается умножением весовой удельной тяги на ускорение свободного падения и измеряется в метрах в секунду. Физический смысл удельного импульса — время в секундах, в течение которого в данном двигателе сгорает 1 кг топлива, создавая тягу в 1 кг. Тем самым он является обратной величиной удельного расхода топлива для получения тяги. Удельную тягу в метрах в секунду применяют в реактивной технике и называют также эффективной скоростью истечения.

Электросиловые установки значительно проигрывают поршневому и реактивному двигателям по запасенной удельной энергии на единицу массы аккумулятора в отношении к единице массы углеводородного топлива. Для батареи аккумуля-

торов, собранной из серийных Li-Ion-элементов, можно получить энергоемкость 200 Вт·ч/кг. Для сравнения — на бензине имеем 12 600 Вт·ч/кг для самого топлива в теории и 3600 Вт·ч/кг на практике с учетом реального КПД $\eta_e = 0,28$ ПД. С использованием в качестве источников питания лучших топливных элементов возможно увеличить показатель удельной энергии до 560 Вт·ч/кг. Удельная масса самих бесколлекторных электродвигателей может составлять 0,18–0,2 кг/л.с. Стоимость комплекта мотор – аккумулятор – зарядное устройство – регулятор гораздо выше, чем у аналогичной по мощности силовой установки на базе ПД. Электросиловые установки имеют и ряд преимуществ — простота автономного управления, бесшумность, отсутствие вибрации, теплового следа и т. п.

ПД с кривошипно-шатунным механизмом и роторно-поршневой двигатель Ванкеля работают на принципе объемного неполного расширения, при котором изменение объема, создаваемого рабочим телом в цилиндре, производит соответствующее перемещение передающего энергию механического органа, при этом кинетическая энергия рабочего тела не оказывает существенного влияния. ПД создает тягу с помощью движителя винта и представляет двигатель не прямой реакции. Основной его характеристикой является эффективная мощность N_e .

Таблица 1

По данным для двигателей больших ЛА

Тип двигателя	ВМГ с ПД	ВРД		РкД	
		ТРД	ПВРД	ЖРД	РДТТ
Параметры					
$I_{уд}, c$	5000–8000	2000–3000	1000–1600	280–450	230–310
$P_{max}, МН$ (кгс)	0,05–0,06 ($5 \cdot 10^3$ – $6 \cdot 10^3$)	0,05–0,10 ($5 \cdot 10^3$ – $10 \cdot 10^3$)	0,02–0,04 ($2 \cdot 10^3$ – $4 \cdot 10^3$)	2–8 ($2 \cdot 10^5$ – $8 \cdot 10^5$)	16 ($16 \cdot 10^5$)
$\gamma_{дв}, кг/кН$ (кгс/кгс)	60–80 (0,6–0,8)	15–50 (0,15–0,50)	7–15 (0,07–0,15)	0,8–40 (0,008–0,040)	3–4 (0,03–0,04)

В турбореактивных (ТРД) и других реактивных двигателях прямой реакции способом преобразования энергии рабочего тела в механическую энергию является полное необъемное расширение, при котором энергия рабочего тела преобразуется в кинетическую энергию. Их основной характеристикой является реактивная тяга P .

Можно видеть, что самый экономичный двигатель — это тот, который использует силу давления расширяющегося газа до полного его расширения, а не тот, который использует давление струи газа на лопатки турбины. Платой за этот принцип является большая удельная масса (вес) $\gamma_{дв}$ для получаемой от него тяги.

Наиболее известные производители двигателей внутреннего сгорания для малоразмерных ЛА следующие: O.S. Max, Saito, Fuji, Zenoah, Jamada (Япония); Desert Aircraft, BME, First Place (США); 3W (Германия); Taurus (Англия); Brison, Quadra-Aerrow (Канада); ZDZ (Чехия); Evolution (Нидерланды); DLE, DLA, ASP, Magnum (Китай). Указанные фирмы производят большой ряд 2-тактных (далее 2Т) и 4-тактных (далее 4Т) моторов, работающих как на метаноле (калильные), так и на бензине. Среди них имеются одноцилиндровые, оппозитные 2- и 4-цилиндровые, многоцилиндровые звездообразные и рядные.

Малоразмерные роторные двигатели Ванкеля производят: O.S. Max, Nitto MFG. Works (Япония); Cubevano Ltd (Англия).

На рис. 1 приведены сравнительные характеристики веса ПД нескольких производителей от их мощности. Здесь и на последующих рисунках зависимости выражены линиями тренда, построенным по паспортным или другим данным. Бензиновые 2Т-двигатели по возрастанию удельной массы от мощности располагаются в последовательности: DA, ZDZ, 3W. Видно также существенное отличие по данному параметру 2Т и 4Т калильных двигателей в пользу первых. Значения удельной массы от мощности для приведенных бензиновых ПД нахо-

дятся в диапазоне 0,23–0,27 кг/л.с. Необходимо отметить, что для компактности этого и других рисунков характеристики по наиболее широкой номенклатуре производимых 3W-двигателей приведены не для всего их ряда. Характеристики двигателей ряда 3W имеют линейное продолжение до объема цилиндров $V = 684 \text{ см}^3$ и мощности $N_e = 60 \text{ л.с.}$

Зависимости мощности от объема цилиндров ПД некоторых производителей для их сравнения, построенные подобным образом, приведены на рис. 2. Приведенные данные, в частности по калильным двигателям, показывают, что 4Т существенно проигрывают по литровой мощности 2Т.

Важной характеристикой экономичности ПД является удельный расход топлива C_e , выражаемый в килограммах на киловатт-час (кг/л.с.ч). В паспортных данных малоразмерных двигателей расход топлива указывается редко и обычно приводится в миллилитрах в минуту для режима максимальной мощности. На рис. 3 приведены сравнительные характеристики по расходу топлива для ПД производителей, для которых имеются такие данные. Из приведенных данных для бензиновых двигателей видно, что 4Т выигрывают по экономичности у 2Т при одинаковом объеме цилиндров.

В табл. 2 приведены данные по удельной массе конструкции и удельному расходу топлива также некоторых малоразмерных роторно-поршневых двигателей.

Удельный расход топлива ПД имеет большое значение для достижения максимума дальности или продолжительности полета ЛА. Эту связь иллюстрирует известное уравнение Бреге дальности горизонтального полета ЛА:

$$L = -\frac{KN_e \eta_B}{\mu g} \ln(1 - \bar{m}_T) = -\frac{K}{C_y} \ln(1 - \bar{m}_T), \quad (1)$$

где $K = Y / X$ — аэродинамическое качество для режима полета со скоростью V как отношение подъемной силы к силе сопротивления ЛА; N_e — эффективная мощность ПД, Вт; η_B — КПД винта;

Таблица 2

Производитель	Рабочий объем V , см ³	Вид топлива	Удельная масса $\gamma_{дв}$, кг/л.с	Мощность N_e , л.с.	Удельный расход топлива C_e , кг/л.с.ч
O.S.	5	Метанол	0,27	1,27	1,03
Nitto MFG. Works (3 модели)	20	Метанол	1,0	1,8	1,0
		Бензин	0,82	1,8	0,94
			0,8	1,8	0,49
Cubevano Ltd (3 модели)	30	Многотопливные	0,6	2,0	0,4
			0,5	5,0	0,36
			0,47	7,5	0,36

m_T — относительный запас топлива в начальной общей массе ЛА; μ — секундный расход топлива, кг/с; g — ускорение земного притяжения, м/с²; $C_y = \mu g / N_e \eta_B$ — удельный расход топлива. Если учесть, что дальность L и время полета T при постоянной или средней скорости V связаны соотношением $L = VT$, то уравнение Бреге позволяет производить ориентировочные расчеты L_{\max} и соответствующее ему T .

При небольших рабочих объемах (менее 20–30 см³) ПД, работающих на бензине, существенно падает их КПД по причине недостаточной удельной энергоёмкости топлива. Более энергоёмким заменителем является метиловый спирт с возможной добавкой до 10–15% нитрометана в калильных двигателях. Дело в том, что для сгорания 1 весовой части метилового спирта требуется 6,5, а у бензина — 14,7 весовых частей воздуха. Меньшая удельная теплота сгорания (19,6 МДж/кг у спирта и 42–44 МДж/кг у бензина) требует большего расхода сжигаемого топлива. В итоге теплотворная способность бензиновой и спиртовой смеси с воздухом составляет соответственно 2,96 и 3,446 Дж/л. Отсюда понятно, почему ПД на метиловом спирте развивают большие мощности. При этом указанное увеличение расхода метанола по отношению к бензину в значительной степени компенсируется увеличением оборотов, степени сжатия и обеспечением более полного сгорания.

У спирто-воздушной смеси почти в 2 раза большая скорость горения по сравнению с бензином, что позволяет увеличить оборотистость, в частности, 2Т ПД. Все моторы развивают самую

большую мощность на оборотах, близких к максимальным, что следует из выражения

$$N_e = \frac{M_{кр} n}{716,2}, \quad (2)$$

где $M_{кр}$, кг·м; n , об./мин; 716,2 — эмпирический коэффициент.

А так как 2Т мотор по принципу работы более быстроходен, чем 4Т, то и обороты (как и мощность) у него выше. Существенно и то, что метиловый спирт в 3,5 раза лучше охлаждает детали двигателя вследствие большей теплоты испарения по сравнению с бензином (1100 и 310 кДж/кг).

В табл. 3 приведены для сравнения технические характеристики 2Т и 4Т ПД одинакового рабочего объема. Из последних трех строк таблицы можно сделать вывод, что по удельному крутящему моменту, литровой массе и литровой мощности 4Т уступают 2Т. В связи с тем, что у 4Т меньше обороты и в 2 раза меньшая равномерность хода, чем у 2Т, то они работают с пропеллерами большего диаметра для получения оптимальной тяги и выполнения роли маховика. Из-за большей неравномерности $M_{кр}$ у 4Т также выше уровень вибраций (существенно для фото и видеокамер).

При выборе ПД практический интерес представляет соответствие взлетной массы и создаваемой силовой установкой тяги, которая зависит от мощности двигателя.

Установившийся горизонтальный полет ЛА при $H = \text{const}$, $G = \text{const}$ и скорости $V_x = \text{const}$ обеспечивается при потребных тяге $P_{ГП}$ и мощности $N_{ГП}$:

$$P_{ГП} = \frac{G}{K}; \quad N_{ГП} = P_{ГП} V_x, \quad (3)$$

Таблица 3

Тип и марка ПД	4-тактные				2-тактные			
	калильные		бензиновые		калильные		бензиновые	
	FS 120S-SP	FA-220A	FG-20	FG-36	120AX	BGX-1	ZG20	MLD35
V , см ³	20	36,3	20,5	36,3	19,96	35	20	35
m , г	1030	1096	690	1389	892	1340	1179	1220
N , л.с.	2,5	3,5	2,1	3,0	3,1	4,1	1,73	4,0
n , 1/мин	10000	8100	8700	8700	9000	10000	9500	9000
$n_{\min} - n_{\max}$, 1/МИН	2000–11000	1900–10000	1800–9500	1700–9000	1800–9500	1500–10000	1400–10000	1500–9500
$M_{кр.уд}$, кг·см/см ³	0,89	0,85	0,84	0,68	1,23	0,84	0,65	0,91
$m_{уд}$, г/см ³	51,5	30,2	33,7	38,3	44,6	38,2	59,0	35,0
$N_{уд}$, л.с./см ³	0,12	0,096	0,10	0,083	0,155	0,12	0,09	0,114

где H — высота полета; G — вес ЛА; K — аэродинамическое качество, зависящее от угла атаки α ЛА. Можно показать, что мощность, потребная для горизонтального полета, пропорциональна V^3 , а потребная тяга пропорциональна V^2 .

Установившийся подъем ЛА с $V_y = \text{const}$ возможен при избытке тяги ΔP над $P_{\text{ГП}}$ и избытке мощности ΔN над $N_{\text{ГП}}$:

$$\Delta P = G \sin \theta,$$

где θ — угол подъема;

$$\Delta N \approx G V_y. \quad (4)$$

Применение последней приближенной формулы оправдано для скоростей движения до 250–350 км/ч при наборе высоты и вертикальных скоростей $V_y \leq 10$ –20 м/с.

При выраже без снижения потребные тяга и мощность силовой установки определяются выражениями

$$P_{\text{в}} = P_{\text{ГП}} n_{\gamma}; N_{\text{в}} = N_{\text{ГП}} \sqrt{n_{\gamma}^3}, \quad (5)$$

где $n_{\gamma} = 1 / \cos \gamma$, нормальная перегрузка; γ — угол крена.

По формуле (5) при крене 20° мощность $N_{\text{в}}$ больше мощности $N_{\text{ГП}}$ на малую величину; при крене, равном 50° , — в 2 раза; при крене, равном 60° , — в 3 раза, а при крене, равном 70° , — в 5 раз больше.

В определенной степени возможности винтомоторной силовой установки характеризует развиваемая ею статическая тяга. На рис. 4 приведены результаты статистического обобщения данных статической тяги с оптимально подобранным винтом для силовых установок с некоторыми ПД небольшой мощности. При этом использованы данные, приводимые производителями двигателей, а также результаты измерений посредством динамометра, имеющиеся на форуме авиамodelистов www.forum.rcdesign.ru.

Аналитическую взаимосвязь статической (максимально достижимой) тяги винта, работаю-

щего на месте, и мощности двигателя отражает формула Вельнера – Жуковского:

$$P_0 = (33,25 \eta_{\text{в}} N_{\text{в}} D_{\text{в}})^{2/3}, \quad (6)$$

где $D_{\text{в}}$ — диаметр винта, м; $\eta_{\text{в}}$ — относительный КПД винта; $N_{\text{в}}$ — мощность двигателя на валу винта, л.с.

В полете тяга P , развиваемая воздушным винтом, уменьшается с увеличением скорости полета V , что следует из выражения (3).

Статическую тягу критерием качества в полном смысле считать нельзя, т. к. винт должен развивать достаточную тягу при выполнении полета. Для ЛА с заданной скоростью полета V существует оптимальный размер винта (диаметр и шаг), при котором тяга P и КПД $\eta_{\text{в}}$ будут максимальными. Тяга (КПД) винта с малым шагом монотонно уменьшаются с увеличением скорости полета, а у винта с большим шагом его статическая тяга может быть меньше, но с ростом скорости тяга (КПД) увеличиваются и при крейсерской скорости имеют наибольшие значения, а затем с ее ростом также уменьшаются.

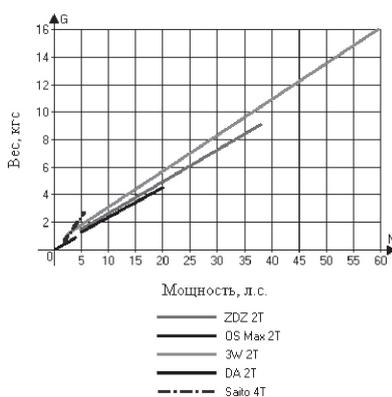


Рис. 1

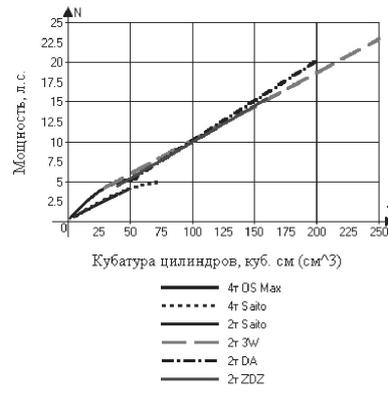


Рис. 2

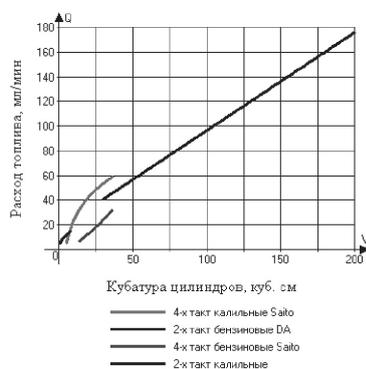


Рис. 3

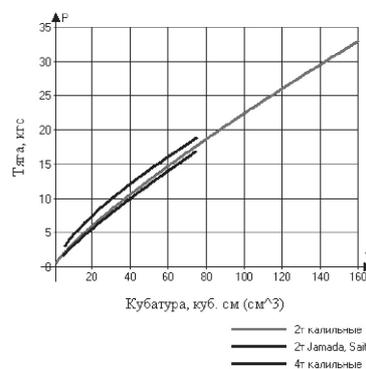


Рис. 4

Источники

1. Паспортные характеристики модельных двигателей из Интернет.
2. Gierke, D. Airplane Engine Guide / D. Gierke. — 2005.



СТРУЙНО-НИШЕВАЯ ТЕХНОЛОГИЯ СЖИГАНИЯ ТОПЛИВА

*3 сентября в Киеве прошла Международная выставка
«Энергетика в промышленности»*

Лидер топливно-энергетического комплекса Украины 2006, 2009 и 2010 гг. — холдинг компаний СНТ (Научно-производственное объединение «СНТ», Научно-технический центр «Флогистон» и Национальный технический университет Украины «КПИ») осуществляет разработку, серийное изготовление и внедрение (проект, монтаж, наладка) сертифицированных энергоэффективных горелок типа СНТ, созданных на базе струйно-нишевой технологии сжигания топлива (патенты Украины №№ 54616, 51884 и Евразийский патент №005471), с использованием которых производится малозатратная модернизация «под ключ» котлов всех типов (ВК, НИИСту-5, ДКВР, КВГ, ТВГ, КПА, КВН, Е, ДЕ, КВГМ, ПТВМ, ОП, ГМ, БКЗ), металлургических и промышленных печей, сушил, камер сгорания и т. п. Так, например, модернизация старых (возраст более 20 лет) котлов типа КВГМ, ПТВМ повышает их КПД на 1,5–3 % выше паспортных, для НИИСту-5 достигается КПД до 90 %. Блочные горелочные устройства СНТ успешно эксплуатируются на новых котлах КВН, ВК, Е, ДЕ и др.

Научно-производственное объединение «СНТ» является единственным лицензионным изготовителем горелочных устройств СНТ на основе струйно-нишевой технологии сжигания топлива.

На этот момент с использованием СНТ модернизировано на объектах национальной экономики Украины, России, Беларуси и Польши более 700 котлов около 40 типов, мартеновские печи ОАО «Запорожсталь», теплотехническое оборудование спиртовых и сахарных заводов, комбинатов строительных материалов, большое количество печей и сушиек в разных отраслях промышленности.

Горелочные устройства типа СНТ, произведенные на базе СНТ, приняты в государственных программах по энергосбережению Кабинета Министров Украины и Министерства жилищно-коммунального хозяйства Украины как базовые для возрождения теплового хозяйства Украины.

Технология СНТ

Струйно-нишевая технология сжигания газообразного топлива (СНТ) базируется на создании стойких вихревых структур, генерирующихся взаимодействием системы струй топлива в сносном потоке окислителя с циркуляционным течением за плохообтекаемым телом с учетом теплотехнических особенностей объекта. На основе СНТ создан типоряд горелочных устройств, которые используются практически во всех известных типах огнетехнических объектов (котлы, печи, сушила, камеры сгорания и т. п.).

За 15 лет нашей деятельности накоплен уникальный опыт малозатратной модернизации морально-устаревшего парка огнетехнического оборудования (ЖКХ, промышленность, сельское хозяйство и т. д.) с экономией от 5 % до 15 % топлива, до 50 % электроэнергии, увеличением межремонтного периода, снижением уровня экологического влияния и т. п. Как заслуженный итог — СНТ трижды получила звание «Лидер топливно-энергетического комплекса Украины»: в номинации «Лучший энергосберегающий проект» в 2006 г., в номинации «Лучшая научно-техническая разработка» в 2009 г., в номинации «Лучшее предприятие в сфере энергосбережения» в 2010 г.

До сегодняшнего дня продолжается создание новых более совершенных горелочных устройств. В результате исследовательских работ были созданы горелочные устройства СНГ, СНТ и последние на сегодня в этом ряду горелочные устройства ВРАД СНТ, реализующие новую ступень развития струйно-нишевой технологии — технологию сжигания газа в газодинамических «вихревых реакторах» Абдулина-Дворщина (ВРАД).

Во ВРАД используется так называемый «эффект Абдулина-Дворщина» (патент Украины № 44082), заключающийся в выделении энергии в особенных областях топочного объема огнетехнического объекта, благодаря комбинации специальных конструктивных особенностей горелочного устройства, режимных факторов, обеспечения в этой области необходимого температурного уровня и адаптации рабочего процесса горелочного устройства к конструктивным и газодинамическим особенностям огнетехнического объекта.

ВРАД является логическим результатом исследований и развития «вихревых» технологий в сжигании топлива (например, струйно-нишевой технологии сжигания топлива СНТ) для огнетехнических объектов с разным уровнем температур рабочего тела, объемной теплонапряженности топочного пространства, полем скоростей потока, аэродинамики объекта и т. п.

Горелочные устройства СНТ

Горелки СНТ — это:

- горелочные устройства единичной мощности от 50 кВт до 50 МВт;
- возможность работы котлов на полной нагрузке при низком (до 500 мм в. ст.) и среднем (до 2500 мм в. ст.) давлении газа;
- снижение удельных затрат газа для котлов от 5 до 15 %;
- снижение затрат электроэнергии от 20 до 50 % на привод тягодутьевых средств;
- соответствие современным экологическим стандартам;
- безопасность эксплуатации горелок (разжигаются при давлении газа до 5 мм в. ст.);
- адаптация к существующей автоматике объекта;
- расширение рабочего диапазона регулирования мощности (от 10 до 130 %);
- возможность блочного исполнения (газовая арматура, блок автоматики регулирования и безопасности, вентилятор и др.)
- для реализации современных требований к автоматизации;
- оборудование, сертифицированное на территории Украины, России, Беларуси;
- оборудование, которое имеет разрешение на использование от ведущих производителей котельного оборудования Украины, России и Беларуси;
- окупаемость модернизации объекта — до одного года.

Горелочное устройство СНТ в блочном исполнении комплектуется оборудованием ведущих мировых производителей: клапана и датчики фирм Honeywell и Kromschroder, вентиляторы ведущих заводов Испании, Италии, Германии, Польши, электротехнические изделия АВВ. Используемые блоки автоматики имеют эксклюзивное отечественное программное обеспечение, учитывающее технологические особенности конструкции и работы конкретного типа теплотехнического оборудования (котла, печи, теплогенератора и т. д.);

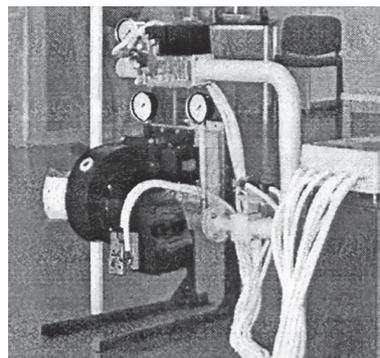
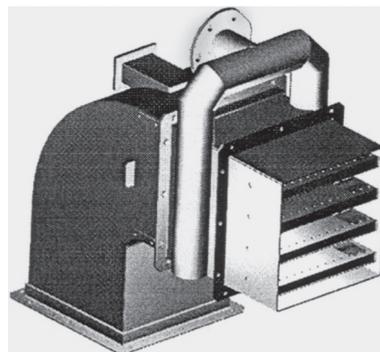
Автоматика, устанавливаемая на горелочное устройство СНТ, является сложным и надежным комплексом, решающим задачи автоматизации и безопасности работы теплотехнического оборудования в целом. Так, например, при установке горелки СНТ в блочном исполнении на блок автоматики заводятся сигналы от всех датчиков безопасности объекта и горелки, а также сигналы, по которым проходит управление теплотехническим оборудованием; это позволяет после замены горелки либо в комплексе автоматизировать оборудование, либо заменить устаревшую систему автоматики регулирования и безопасности на новую отвечающую современным требованиям. Такой подход к автоматизации не практикуется даже ведущими мировыми производителями вследствие того, что продается две системы — автоматика регулирования и безопасности горелки и автоматика регулирования и безопасности теплотехнического объекта.

Для разных объектов при использовании данной системы есть возможность проводить регулирование по суточному, месячному графику нагрузки, температуре окружающего воздуха либо по реальному потреблению теплоносителя (пара). Система автоматики позволяет произвести подключение к более сложной, например общекотельной либо общезаводской автоматике управления.

Горелка СНТ в блочном исполнении комплектуется системой регулирования, которая использует последние достижения науки и техники. Все регулирующие устройства горелки имеют электрический, а не механический локальный привод (механика подвержена разбалансировке, что приводит к сбиванию настройки). Горелка имеет плавное регулирование на всех нагрузках. Одной из главных отличительных особенностей системы автоматики регулирования является то, что электронная настройка блока управления не боится изменения давления газа в сети за счет того, что используются сверхчувствительные дифференциальные датчики давления, корректирующие регулирование по реальному давлению в данный момент. Такие системы не устанавливаются серийно на импортных горелках как в виду постоянного давления газа в зарубежных системах газоснабжения, так и в виду их значительной стоимости.

Горелочное устройство СНТ в блочном исполнении хорошо адаптировано к отечественным условиям эксплуатации (падение давления газа и т. д.). Имеет гарантийное и послегарантийное обслуживание, а также авторский надзор за эксплуатацией в течении года после установки.

Сравнительный анализ горелочных устройств СНТ с оборудованием зарубежного производства показывает, что горелка СНТ не уступает, а по многим параметрам и превосходит существующие аналоги.



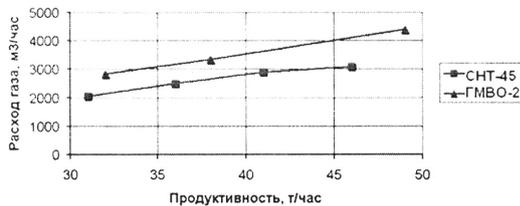
Технические характеристики горелочного устройства СНТ

Показатель	Значение
Диапазон рабочих мощностей горелок СНТ (СНТ-21–СНТ-88), МВт	0,05–50
Количество типоразмеров ГУ, шт.	80
Коэффициент рабочего регулирования (k_p)	>10
Диапазон изменения к-та избытка воздуха в ГУ (A)	1,01–20
Диапазон рабочих давлений газа в горелке (DPr), Па	10–30000
Уровень эмиссии вредных выбросов:	
оксида углерода (CO), мг/м ³	0
окислов азота (NO _x), мг/м ³	<160

Струйно-нишевая технология (снт)

Экономия, экология, безопасность

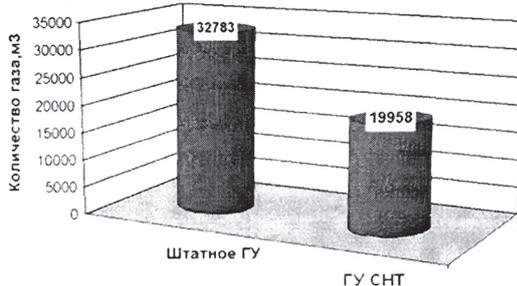
Расход газа до и после модернизации котлоагрегата ОП-50



Модернизация котлов малой и средней мощности позволяет:

- снизить удельный расход газа от 5 до 15 %;
- снизить потребление электроэнергии от 20 до 50 %;
- снизить эмиссию вредных выбросов не менее 30 %;
- увеличить коэффициент рабочего регулирования свыше 10;
- повысить безопасность работы котла;
- существенно увеличить межремонтный срок эксплуатации;
- обеспечить эффективную работу на низком давлении газа.

Расход газа до и после модернизации мартеновской печи за одну плавку (8,5 часа)

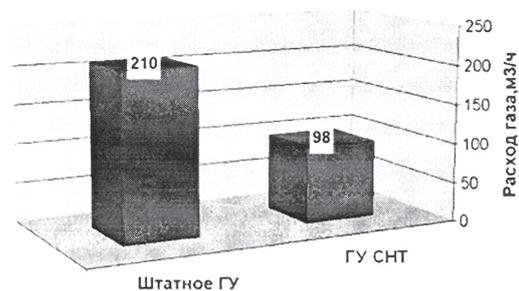


Годовая экономия газа составляет 7 млн м³

Модернизация печей позволяет:

- снизить потребление газа на 30–50 %;
- увеличить межремонтный срок эксплуатации в 1,2 раза.

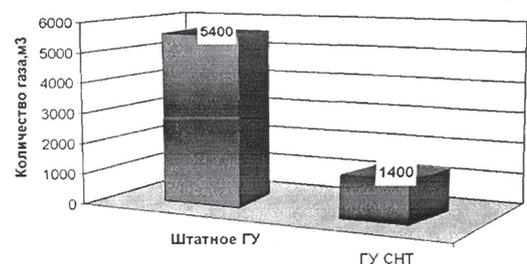
Расход газа до и после модернизации миксера Мартеновского цеха



Модернизация сушил позволяет:

- снизить удельный расход газа от 15 до 50 %;
- снизить эмиссию вредных выбросов;
- повысить безопасность работы объекта;
- существенно увеличить межремонтный срок эксплуатации.

Расход газа до и после модернизации поста сушки сталерозливочных ковшей за 1цикл (8 ч.)



Время сушки сокращается в 1,5 раза.

Годовая экономия газа составляет 3 млн м³

+380444625262
+380445037061
+380445037534

г. Киев, ул. Фрунзе, 53
e-mail: nposnt@i.ua
http://www.nposnt.com

ИЗ СТУДЕНТОВ-НЕДОУЧЕК — В ГЛАВНЫЕ КОНСТРУКТОРЫ

Часть вторая

(Продолжение. Начало см. № 3(52))

Клеванец Ю.В.

В столицу

26 марта 1912 г. в Москве была открыта Вторая международная выставка воздухоплавания и вместе с ней съезд воздухоплавателей России. Среди приглашенных были члены правительства и генералитет. Был приглашен и Сикорский со своим С-6А, который сразу стал «гвоздем» выставки и предметом споров. Профессора Н. Жуковский, К. Боклевский, Г. Ботезат дали об этом аэроплане весьма лестные отзывы, а известный летчик М. Ефимов отзывался об С-6А весьма кисло.

Надо заметить, что и в дальнейшем творчество Сикорского далеко не всегда принималось на «ура». Чем большим был успех, тем сильнее было сопротивление и конкурентная борьба.

А пока Сикорский получил золотую медаль выставки. Ему же была представлена честь открыть съезд воздухоплавателей, на котором присутствовало 300 делегатов.

Во время, когда многие еще думали о том, как бы оторвать свой аппарат от земли, Сикорский предложил в своем докладе построить многоместный и многомоторный аэроплан для применения как в «цивильном», так и в военном деле. 23-летний конструктор выступил также против тестирования летчиков на так называемый «птичий инстинкт», о чем, повторяя братьев Райт, еще говорили некоторые выступающие. Мнение Игоря Сикорского таково: «птичий инстинкт» нужен летчику не больше, чем моряку — «инстинкт рыбий». На самом деле нужны не чувства и инстинкты, а навыки и знания.

По результатам выставки с Игорем Сикорским был заключен контракт Русско-Балтийским вагонным заводом (или «Руссо-Балтом»). Согласно контракту, молодой конструктор обязывался быть консультантом авиационного производства на заводе в течение пяти лет.

Завод «Руссо-Балт» был крупнейшим машиностроительным предприятием страны. Находился он в Риге, в его 50 цехах работали 4000 человек персонала. По нашим меркам это был не завод, а концерн — в него входили сталелитейное, чугунолитейное, метизное производства, он выпускал пассажирские и грузовые вагоны, сельскохозяйственные машины, автомобили (350 штук в 1910 г.) и самолеты (по лицензии).

Совет акционерного общества «Руссо-Балта» возглавлял Михаил Владимирович Шидловский, бывший морской офицер.

Расположение завода в Риге было несчастливым: в огромной и богатейшей России слишком много материалов и комплектующих как для вагонов, так и для другой техники не производилось, их приходилось завозить из-за границы.

В то время, когда был заключен контракт с Сикорским, авиационное отделение завода переводилось из Риги в Петербург. Кроме Сикорского, контракты на должность консультанта по авиационной технике были заключены с конструкторами: князем А.С. Кудашевым, Я.М. Гаккелем, И.И. Воловским. Каждый из консультантов обязывался организовать на заводе изготовление опытного самолета своей конструкции. Затем по результатам производства и испытаний должно было приниматься решение — какой из самолетов запускать в серию. Испытания были оформлены заказчиком — военным ведомством в виде широкого конкурса, где кроме самолетов, построенных на «Руссо-Балте», могли бы участвовать и другие машины.

Кроме опытных самолетов русских конструкторов, авиационное отделение «Руссо-Балта» в 1912 г. было загружено производством французских лицензионных аэропланов — «Соммера», а затем «Блерио-11» и «Фармана-7». Весной посту

пил заказ на изготовление 37 «Ньюпоров». Такая картина была результатом компромисса: военное ведомство настаивало на копировании иностранных машин, а Шидловский пытался доказать, что русские конструкции ничуть не хуже.

Замечу, что начало пути авиационного отделения «Руссо-Балта» не было усыпано розами: уже первый изготовленный «Соммер» был разбит в катастрофе. Погиб летчик-испытатель.

Но вернемся к нашему герою. Подписав контракт с «Руссо-Балтом», Игорь Сикорский возвращается в Киев, продает свою мастерскую Александру Карпеке, а сам вместе со своими друзьями-подчиненными уезжает в Петербург.

На новом месте он начинает постройку сразу трех самолетов: С-6Б, С-7 и С-8.

С-6Б и С-8 в целом повторяли самолет С-6А. В отличие от варианта «А» С-6Б по требованию военных был, во-первых, сделан двухместным, а во-вторых — четырехколесным (было поставлено условие взлета и посадки на вспаханное поле).

На шасси дополнительно крепился крюк-тормоз, выпускаемый во время посадки. В результате его применения пробег при посадке составлял всего 36 м.

С-8 был уменьшенным С-6А, трехстоечным бипланом под французский звездообразный ротативный двигатель «Гном» в 80 л. с. Этот двигатель вместе с винтом вращался относительно места крепления, что, по мысли разработчиков, облегчало его охлаждение, снабжение топливом и маслом.

Надо заметить, что тогдашние двигатели, как правило, «не дотягивали» до того значения мощности, которое было записано в документе. Так, 100-сильный (по документам) «Аргус» тянул реально на 92 л. с., а 80-сильный «Гном» — на 68 л. с.

В связи с установкой более «широкого» мотора пришлось уширить и фюзеляж. Игорь Сикорский

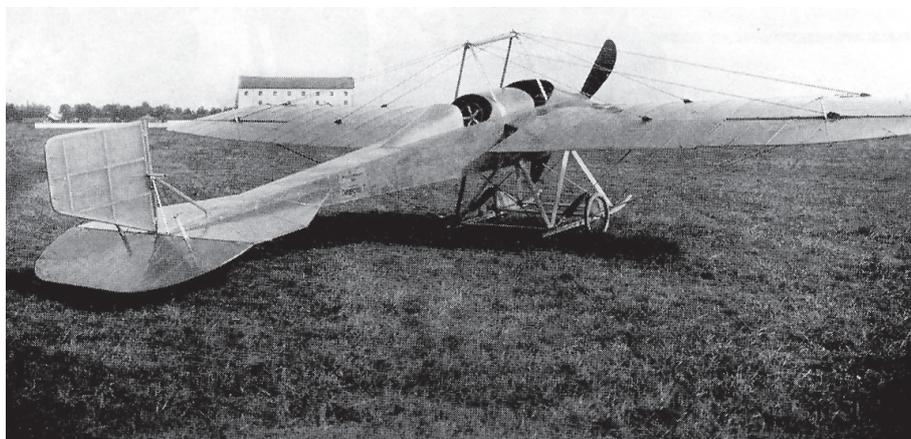
воспользовался этим обстоятельством, разместив сиденья экипажа рядом, бок-о-бок. Штурвал на С-8 можно было перекинуть от одного пилота другому по рельсу. Таким образом, получилась учебная машина. Ее называли «Малютка».

С-7 был двухместным монопланом под тот же двигатель «Гном». Он предлагался армии в качестве легкого разведчика и самолета связи. Таким образом, в соответствии с представлениями того времени о возможности использования аэропланов на войне, Сикорский постарался «закрыть» все потребности армии, предложив ей легкий разведчик, тяжелый разведчик и учебный самолет. Он по-прежнему добивался своей цели: получить крупный заказ от военного ведомства. Теперь эту же цель преследовал и «Руссо-Балт».

Дело в том, что авиационная общественность была в 1912 г. оповещена об очередном, втором по счету конкурсе на лучший самолет для нужд армии. Конкурс 1911 г. был пробным и положительного результата не дал.



Самолет С-6Б (биплан)



Самолет С-7 (моноплан)

Акционерное общество «Руссо-Балт», пригласив к себе нескольких известных конструкторов, стремилось выиграть это состязание как лотерею, т. е. закупить как можно больше билетов. Основную конкуренцию питерцам составлял московский завод «Дукс», который так же, как и «Руссо-Балт», стремился захватить как можно большую часть рынка машин. Он выпускал велосипеды, мотоциклы, автомобили и аэропланы — иностранные, так же, как и главный соперник. Таким образом, уже в 1912 г. определились основные игроки на самолетостроительном поле в Империи, и эти игроки были весьма серьезными компаниями. Каждый из «солидных» претендентов на денежные заказы военного ведомства стремился заручиться сотрудничеством с лучшими специалистами в избранной области.

Впрочем конкурс, повторюсь, был открытым, на него были заявлены и другие, в т. ч. и самодеятельные самолетостроители.

Условия, выставленные для участников военным ведомством, были довольно жесткими.

1. Аэроплан должен быть построен в России, однако допускаются иностранные комплектующие.

2. Полезная нагрузка 180 кг плюс бензин и масло на 3 ч полета из расчета, что расход будет 340 г бензина и 70 г масла на 1 л. с. в час.

3. Время подъема на высоту 500 м — не более 15 мин.

4. Макс. скорость полета — не менее 80 км/ч.

5. Продолжительность полета — не менее 1,5 ч.

6. Разбег не более 120 м, пробег не более 80 м.

7. Самолет должен взлетать со вспаханного (но не свежевспаханного) и засеянного поля и садиться на это поле без поломок.

8. В кабине должно быть 2 места.

9. Необходимо обеспечить хороший обзор как для пилота, так и для наблюдателя, а также возможность применения как стрелкового, так и бомбового вооружения.

10. Должна быть возможность мелкого полевого ремонта.

11. Транспортировка — на обычной платформе по железной дороге, время на половинную разборку для перевозки на небольшое расстояние не более 1 ч, время на полную разборку и упаковку в ящик — не более 3 ч (тогдашний самолетный ящик имел размеры 7,5×2×2,9 м).

12. Двигатель должен иметь не менее 4 цилиндров.

Руководство акционерного общества довольно быстро определилось, какой из приглашенных конструкторов-консультантов является самым

перспективным. В июне во время подготовки к конкурсу Сикорсткий получил от нанимателя предложение пересмотреть контракт с тем, чтобы стать управляющим авиационным отделением «Руссо-Балта». Совет общества и его председатель Шидловский не просчитались. К августу все три аэроплана Сикорского были построены и облетаны, при том что сам конструктор и его группа теперь занимались и производством лицензионной техники.

Но вот пришло время конкурса. Самолеты Сикорского сразу же заняли лидирующие позиции. При этом на С-6Б летал сам конструктор, а на моноплане С-7 — заводской летчик Янковский. О напряжении конкурентной борьбы говорит такой факт: Игорь Сикорский жил во время конкурса прямо на летном поле, в ящике от самолета. Из Киева приехала сестра Ольга, чтобы ухаживать за братом.

Быстро пройдя значительную часть тестов, Сикорский попал в аварию: на посадке подломил шасси из-за того, что створ взлетно-посадочной полосы в этот момент перебежала группа людей. Шасси было восстановлено, но уже пришел сентябрь, полились дожди, что увеличило сложность испытаний, добавило интриги. Игорю пришлось повторять всю программу заново. 28 сентября он, используя заморозок, выполнил последнее и самое сложное условие: взлетел со вспаханного поля и сел на него. Через день, 30 сентября, был объявлен вердикт комиссии: С-6Б объявлялся победителем конкурса, С-7 занял второе место. Победителям — Сикорскому и «Руссо-Балту» причиталось 30 тыс. руб. призовых.

Между прочим, вторую премию получили и конкуренты из фирмы «Дукс», выставившие на конкурс биплан «по мотивам» Фармана.

Последние дни конкурса Игорь был в состоянии горения: председатель АО «Руссо-Балт» Шидловский одобрил его идею строительства большого самолета и назначил главным конструктором.

Полученных 15 тыс. руб. хватило на то, чтобы рассчитаться с основной частью прежних долгов. Сикорский смог полностью расплатиться с кредиторами только в 1914 г.

Несколько слов о конкурсных самолетах. Осторожные чиновники военного ведомства все-таки не стали заключать с «Руссо-Балтом» столь желанный договор на поставку самолетов, хотя и оба конкурсных аэроплана Сикорского, и не участвовавшие в конкурсе С-6А и С-8 были закуплены для армейских испытаний.

Дальнейшая судьба этих аэропланов была разной. С-6Б действительно на тот момент являлся лучшим в России и самым крупным из представленных на конкурсе. Во время конкурсных полетов он показал скорость 113 км/ч с грузом 327 кг (без топлива, воды и масла). Длина разбега его укладывалась в требуемые 120 м, пробег же составлял 36 м: Сикорский ввел в конструкцию, как уже говорилось, специальные крючья — тормоза, цепляющиеся за землю. Подъем на высоту в 500 м С-6Б выполнял за 6,4 мин. Размах крыла — 14,9 м, длина — 9,4 м.

Бипланы вариантов А и Б эксплуатировались в течение года без замечаний. В литературе говорится, что они нравились летчикам.

Дело в том, что конструктор сразу угадал правильную центровку своих первых аппаратов. Затем на последующих машинах с увеличением размеров центр тяжести оставался на прежнем месте. Все самолеты конструкции Сикорского были весьма устойчивы, что выгодно отличало их от аппаратов-конкурентов, даже и от иностранных. Летавшие на аэропланах типа С-5 и С-6 удивлялись «плавности» и «ровной линии» полета.

Но через год во время следующего авиационного конкурса С-6Б, пилотируемый военным летчиком, был разбит в катастрофе из-за растрескивания покрытия обшивки крыла и разрывов ткани. Летчик погиб. Вина в катастрофе была возложена и на Сикорского, что, по-видимому, изрядно подпортило ему триумф, связанный со строительством тяжелого самолета. Впрочем, в оправдание конструктору нужно сказать, что ни

один его аэроплан не эксплуатировался столь долго и интенсивно, да к тому же еще и посторонними людьми, как С-6Б. В литературе называют и еще одну причину, которую молодому самодеятельному конструктору было трудно предусмотреть заранее, — влажный морской воздух Петербурга. У него просто неоткуда было взяться сомнениям в правильности использования выбранных лаков и пропиток. В дальнейшем же Игорь Сикорский просто исключил из своих пропиточных составов мездровый клей или пользовался импортным эмалитом.

Итак, С-6Б был разбит, С-6А выведен из эксплуатации и списан, военное ведомство отказалось от приобретения серии этих самолетов. Зато двухместный «Малютка» С-8 эксплуатировался в качестве учебного несколько лет и закончил карьеру от старости уже в Советской России.

Моноплан С-7 был куплен Болгарией и принял участие в Балканской войне с Турцией в том же 1912 г. В учебниках истории приводится фото этого самолета на фронте.

Данные этого аэроплана были тоже по-своему выдающимися: размах — 10 м, длина — 8,2, скорость 103 км/ч с нагрузкой (кроме бензина, масла и воды) 259 кг.

А пока, т. е. осенью 1912 г., наш герой совершенно поглощен строительством совершенно небывалого до того большого самолета. Бытом конструктора по-прежнему занималась сестра Ольга.

Уже к ноябрю был готов фюзеляж и крыльевая коробка.