

# МАТЕРИАЛЫ СОВРЕМЕННОЙ ТЕХНИКИ

(Хроника вклада белорусских ученых)

С.А. Астапчик, академик НАН Беларуси

Всегда тенденция развития и создание новых материалов диктовались требованиями практики. Современные машины и механизмы в энергетике, на транспорте работают при все возрастающих силовых нагрузках, повышении рабочих температур, воздействии агрессивных сред. Комплекс этих факторов потребовал в начале 20-го века изысканий специальных сталей и сплавов, твердых и сверхтвердых, жаропрочных, жаростойких и коррозионостойких. Вторая мировая война и послевоенный период гонки вооружений, создание ядерного и термоядерного оружия, ракетно-космической техники, авиации, подводного флота еще в большей мере стимулировали эту гонку как в бывшем СССР, так и в странах антигитлеровской коалиции. Без новых конструкционных материалов, способных выдерживать температурные режимы работы в тысячи градусов, обладать способностью сопротивляться статическим и динамическим нагрузкам, износу, коррозии и др. воздействиям, невозможен научно-технический прогресс. На наш взгляд в Белоруссии были сделаны серьезные научные открытия, накоплен «свой» научный и практический опыт, выросли профессиональные кадры и соответствующие производства, которые и в конверсионном плане (переход на мирную продукцию) обеспечивают существенную перспективу в народно-хозяйственном комплексе Республики.

Крупнейшим, выдающимся событием 20 века стало синтезирование искусственных алмазов. Придя на смену быстрорежущим инструментальным сталям сверхтвердые композиционные сплавы и металлообрабатывающий инструмент на основе искусственных алмазов и алмазоподобных материалов произвели буквально революцию в обработке металлов резанием и в бурении горных пород — стойкость инструмента повысилась в десятки и сотни раз.

Трудно перечислить все отрасли промышленности, в которых в настоящее время используются алмазы, поэтому отметим только основные:

- заточка и доводка твердосплавных режущих инструментов, обработка деталей машин и измерительных инструментов из твердых сплавов и легированных сталей, хонингование и суперфиниширование деталей из чугуна и стали;
- обработка (резка, шлифование и сверление) изделий из высокопрочных материалов — различного вида керамики, корунда, стекла и др. неметаллических материалов;
- обработка полупроводников (резка) и ферритов (резка и шлифование);
- обработка (резка, шлифование, полировка и сверление) строительного и поделочного камня, бетона;
- точение цветных металлов и сплавов, а также точение различного вида пластмасс;
- волочение проволоки из меди, вольфрама, молибдена и проволоки для металлокорда;

Мировое производство синтетических алмазов (млн. карат)

	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999
Белоруссия						30	25	25	25	25	25	25
Китай	15	15	15	15	15	15,5	15,5	15,5	15,5	16	16,5	16,5
Чехия						5	5	5	5	5	5	3
Франция	4	4	5	4	3,5	3,5	3,5	3	3	3,5	3	3
Греция	1	1	1	1	1	1	1	1	0,75	0,75	0,75	0,75
Ирландия	60	60	60	60	60	65	65	60	60	60	60	60
Япония	25	25	25	30	30	32	32	32	32	32	32	32
Польша						0,098	0,271	0,256	0,250	0,250	0,21	0,20
Румыния	5	5	3	3	5	5	5	5	5	5	3	3
Россия					80	80	80	80	80	80	80	80
Словакия	5	10	10	10	10	5	5	5	5	5	5	3
ЮАР	55	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	
Швеция	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25
Украина						10	8	8	8	8	8	8
США				90	90	103	104	115	114	125	140	208
Всего	241	325	329	423	418	440	434	440	439	451	463	467

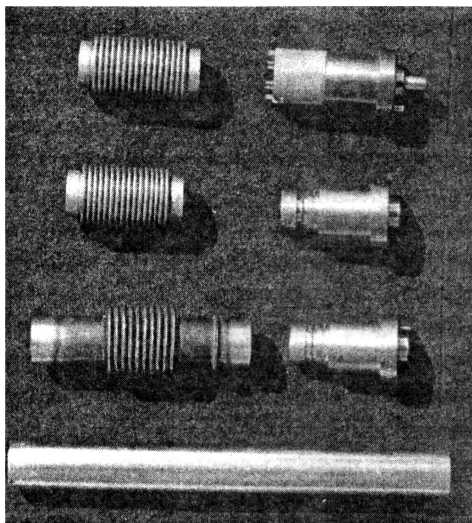


Рис. 1. Сильфоны и тензопреобразователи, изготовленные из титана и его сплавов с применением скоростных методов термообработки

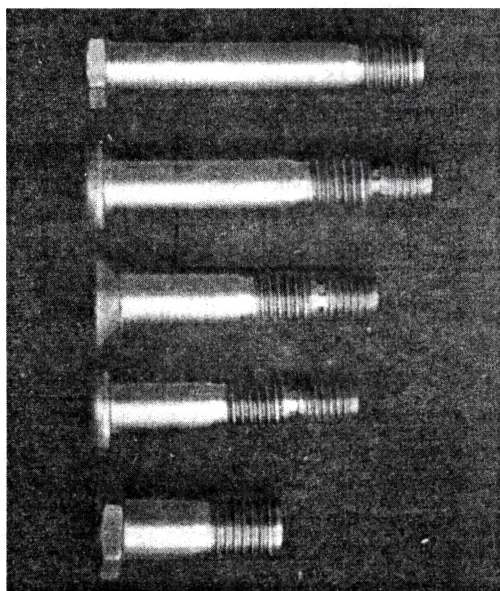


Рис. 2. Метизные изделия, изготовленные из закаленных титановых прутков с применением скоростного нагрева

Физико-техническим институтом НАН Беларуси совместно с ВИЛСом разработан способ электротермической обработки прутков высокопрочных титановых сплавов, позволяющий повысить способность материала к холодному деформированию и сохранить на требуемом уровне прочностные свойства.

Фундаментальные исследования по скоростной термической обработке послужили теоретической базой при выполнении правительственного задания, которое было поручено Физико-техническому институту и НИИ Стали по освоению и организации серийного выпуска титанового крепежа для авиации, защитных титановых элемен-

тов для бронежилетов. Исходя из результатов ранее выполненных работ был теоретически обоснован выбор марки серийного титанового сплава, скорректирована технология прокатки и термической обработки листовых полуфабрикатов. Исследовано влияние параметров индукционного нагрева, скорости охлаждения на механические и технологические свойства термоупрочненных титановых элементов. Изучено влияние толщины упрочненных слоев и их твердости на ударную вязкость, напряжение среза и противоположную стойкость. Для успешного выполнения задания был разработан принципиально новый непрерывный технологический процесс поверхностной электротермической обработки и специальное оборудование для его реализации.

По постановлению директивных органов СССР в 80-90-х годах Физико-техническому институту НАН Беларуси было поручено разработать принципиально новые градиентные материалы на основе высокопрочных титановых сплавов, защищающих от автоматического стрелкового оружия (автомат АКМ, АК-74, М-16). Базируясь на многолетних фундаментальных исследованиях в институте был разработан новый технологический процесс, спроектирована и изготовлена серия оригинальных высокопроизводительных установок для изготовления защитных элементов. В соответствии с решением Госплана СССР на площадях института было организовано массовое производство броневого титановых элементов для принципиально новых конструкций бронежилетов. За период с 1983 по 1992 год было обработано около 2000 тонн титанового листа, изготовлено около 4 млн. защитных элементов, позволивших изготовить около 300 тыс. бронежилетов для оснащения Вооруженных сил и органов правопорядка. Бронежилеты, оснащенные титановыми защитными элементами, были приняты на вооружение, широко применялись в Афганистане и в настоящее время являются основными защитными средствами армий стран СНГ (рис. 3). За комплекс научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ по разработке технологических процессов и оборудования для серийного производства бронежилетов в 1988 году сотрудникам института присуждена Государственная премия БССР и премия Совета Министров СССР.

За пять последних лет по заказу МВД, Службы безопасности и др. организаций Республики выпущено более 5000 изделий на общую сумму около одного миллиона долларов США.

- правка шлифовальных кругов;
- бурение скважин.

Впервые порошки искусственных алмазов были получены в Швеции (1953-57 гг.), а затем в 60-х годах в США и СССР (Институт высоких давлений) Верещагиным А.Ф., в Украине (Институт сверхтвердых материалов) В.Н. Бакуловым и в Институте физики твердого тела и полупроводников НАН Беларуси Сиротой Н.Н., Мазуренко А.М., Шипило В.Б. и др.

Сегодня в результате целенаправленной политики и финансовой поддержки Государства, в рамках ГНТП «Алмазы» (инициатор и научный руководитель Витязь П.А.) в Беларуси сформировалась целая наукоемкая отрасль производства сверхтвердых материалов и продукции на их основе, обеспечивая на 35-40% внутренний рынок, ранее импортировавшихся в объеме 20-22 млн. карат в год из стран ближнего и дальнего зарубежья. Созданы мощности и адаптированы к промышленному производству известные и новые технологии синтеза порошков алмаза и нитрида бора, получения инструмента на их основе, разработаны образцы нового оборудования. Объем выпуска товарной продукции за 1996-2003 гг. составил более 14 млрд. рублей, в т.ч. на экспорт в сумме 8 млрд.

Усилиями академических институтов ФТТП, Физико-технического, концерна порошковой металлургии — главных идеологов этого направления, а также РАУП «Гомельское ПО «Кристалл» — основного производителя алмазной продукции в Республике, и УП КБТМ-СО (концерн Планар), специализирующегося в области оборудования для массового производства алмазной продукции, РБ способно обеспечить внутренний рынок и поставки на экспорт.

Среди конструкционных материалов последних лет широкое применение в различных отраслях промышленности получили титан и сплавы на его основе. Высокая удельная прочность, коррозионная стойкость и достаточная жаропрочность позволяет ему успешно конкурировать с другими материалами. Тенденция повышения механических, технологических и эксплуатационных характеристик требует разработки и совершенствования технологических процессов изготовления и обработки. Важное место в технологическом процессе производства титановых сплавов принадлежит операциям нагрева. Использование традиционных приемов нагрева в печах сопротивления сопровождается интенсивным окислением и газонасыщением. Элементы азот, кислород, водород, проникая в кристаллическую решетку титана, образуют окалину и твердые растворы внедрения, характеризующиеся высокой твердостью и хрупкостью. Об-

разование твердого альфирированного слоя на поверхности снижает механические свойства титановых деталей, усложняет дальнейшую механическую обработку, а также увеличивает расход металла из-за необходимости удаления этого слоя.

В настоящее время существует множество приемов, позволяющих в той или иной мере предотвратить окисление и газонасыщение. Для этой цели применяются вакуумные печи, печи с защитной атмосферой, защитные обмазки. Однако, использование вакуумного нагревательного оборудования или печей с защитными атмосферами повышает и без того высокую стоимость титановой продукции и не позволяют в полной мере варьировать температурно-временными параметрами нагрева. Вместе с тем следует иметь в виду, что при температурах ниже границы  $\alpha+\beta \rightarrow \beta$  превращения титановые сплавы имеют низкую пластичность и высокое сопротивление деформированию, а нагрев и деформация в  $\beta$ -области не всегда обеспечивают необходимый уровень механических свойств. Это связано с тем, что при нагреве в  $\beta$ -область в течение нескольких минут формируется крупнозернистая  $\beta$ -превращенная структура.

Первые опыты по применению индукционного нагрева в СССР для термической обработки технического титана и сплавов ВТ5-1 и ВТ3-1 были проведены сотрудниками ГНУ «Физико-технический институт НАН Беларуси» под руководством профессора М.Н. Бодяко. Экспериментально установлены зависимости механических свойств сплавов от температуры и скорости нагрева. Большой объем исследований процессов разупрочнения, протекающих в холоднодеформированных титановых сплавах в условиях высоких скоростей нагрева, и их теоретический анализ были выполнены в 70-80 годах. Установлено смещение температурных границ рекристаллизации, показана принципиальная возможность формирования мелкозернистой зеренной структуры за счет активизации скорости зарождения новых зерен и подавления скорости их роста. Выявлена возможность снижения в 10-20 раз окисления и газонасыщения поверхностных слоев титановых сплавов при ускоренном нагреве в  $\beta$ -область.

Совместно с Днепропетровским трубным институтом разработаны режимы скоростного отжига титановых труб и тонкостенных труб для изготовления сильфонов (рис. 1). С применением процессов моделирования на образцах совместно с ВИЛСом разработаны режимы непрерывного отжига листовых материалов, фольги из технического титана и титановых сплавов.

Весьма эффективным оказалось применение скоростных методов нагрева при изготовлении крепежных изделий (рис. 2).

В 1992-1994 гг. по решению Кабинета Министров Беларуси в институте разработаны принципиально новые конструкции легких бронежилетов 2-го уровня защиты с применением высокопрочных синтетических тканей типа СВР, КЕВЛАР и защитных титановых элементов для оснащения органов правопорядка Беларуси. Взамен многоэлементной конструкции разработаны титановые и стальные моноблоки с градиентной структурой, обеспечивающие 3-й уровень защиты.

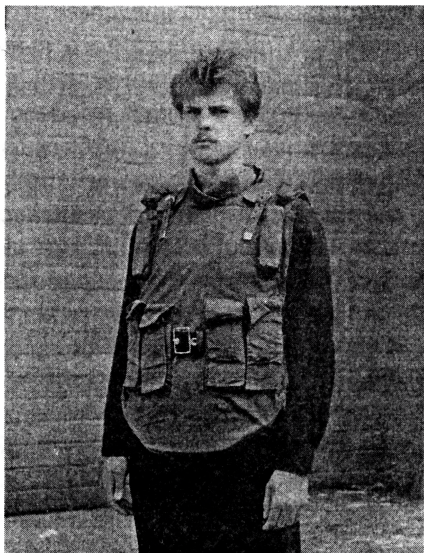


Рис. 3. Бронежилет серийный для офицерского состава

Серийное производство бронеизделий по заказу МВД Республики Беларусь и других силовых структур было организовано в 1994 году на малом государственном предприятии «ТЕХНОМАГ» ФТИ НАН Беларуси.

В настоящее время на научно-производственном республиканском унитарном предприятии «ТЕХНОМАГ» Физико-технического института НАН Беларуси организовано расширенное производство бронежилетов всех классов защиты, не уступающих, а зачастую и превосходящих по качеству зарубежные аналоги. Разнообразие выпускаемых изделий способно удовлетворить запросы представителей всех профессий, чья деятельность сопряжена с необходимостью обеспечения личной безопасности.

УП «ТЕХНОМАГ» может производить до 1000 единиц высококачественных изделий в месяц. За десять лет работы внедренческого предприятия за счет импортозамещения сэкономлено более 2 млн. долларов

На предприятии и в институте в настоящее время активно проводятся работы по разработке и организации изготовления нового массового армейского бронежилета.

Сплавы алюминия, также как и титановые сплавы, обладают высокой удельной прочностью, кор-

розионной стойкостью и успешно применяются в авиации, ракетной технике, прецизионном машиностроении. И те и другие (титановые и алюминиевые) имеют существенный недостаток — низкую контактную прочность, и тем не менее сегодня машины десантников изготавливаются из титановой и алюминиевой брони, обеспечивая мобильную переброску вооружения и мотострелков, и надежную пулевую защиту, т.к. любая стальная броня уязвима против кумулятивных и других современных средств поражения, которые прожигают эту броню толщиной до 700 мм.

Физико-технический институт внес заметный вклад в разработку и создание порошковых алюминиевых сплавов на основе системы алюминий-графит, полученных из отходов алюминиевых сплавов, разработав патентованную технологию. Получен диплом международной выставки «Гений 96». За период 1997-2000 гг. институт совместно с Минским моторным заводом поставил на сборку двигателей Д-243 ММЗ более 15 тонн подшипников скольжения (втулок) взамен бронзы, сэкономив более 500 тыс. долларов США. Отлил из вторичных сплавов поршень с нирезистом практически на всю программу завода (диплом и Премия Минпрома РБ) (рис. 4).

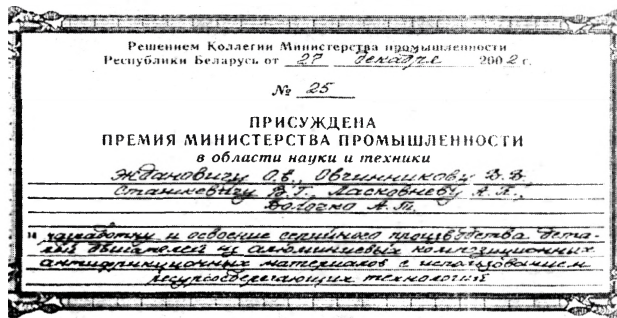


Рис. 4. Свидетельство о присуждении Премии Минпрома

УП «ММЗ» и его смежники нуждаются в переработке до 500 тонн алюминиевой стружки и более 100 тонн шлака. На заводе создан и отлаживается комплекс по переработке стружки, обеспечивающий получение биметаллических поршней с нирезистовой вставкой (Fe-Cu-Ni сплав) и поставку первичных алюминиевых сплавов для основного производства с максимально допустимыми процентами примесей по железу для АК5М4 до 1%, АК9 не более 0,8%, АК12М2МгН — 0,7%. Разработаны технология получения материала на основе шамота и магнезита (содержащих 40-45% Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) и ноу-хау-технологии изготовления футеровок плавильных печей, элементов литниковых систем форм, огнеупорных обмазок и покрытий.