

решетки. В результате наблюдение за координатами источника излучения, находящихся в зоне наблюдения, можно вести в режиме реального времени.

### Литература

1. Марпл-мл. С.Л. Цифровой спектральный анализ и его приложения // Пер. с англ. - М.: Мир, 1990.
2. Кей С.М., Марпл-мл. С.Л. Современные методы спектрального анализа: Обзор// ТИИЭР, 1981, т.69, №11.
3. Дрогалин В.В. и др. Алгоритмы оценивания угловых координат источников излучений, основанные на методах спектрального анализа. Успехи современной радиоэлектроники, 1998, №2
4. Hua Y., Sarkar T. Matrix Pencil method for estimating parameters of exponentially dumped/undumped sinusoids in noise, IEEE Trans. on Acoust., Speech., Signal Process, 1990, vol.38, pp. 814-824

© БРУ

## МОДИФИЦИРОВАНИЕ ОДНОКАРБИДНЫХ ТВЕРДЫХ СПЛАВОВ ОБРАБОТКОЙ ТЛЕЮЩИМ РАЗРЯДОМ

**M.A. БЕЛАЯ, В.М. ШЕМЕНКОВ**

The paper gives the results of the investigation into the depth of the modified layer, the morphology of the face surface and the wear resistance of plates made of VK8 hard alloy in the initial state and after their being subjected to the treatment at different energy characteristics of the glow discharge

Ключевые слова: тлеющий разряд, твердый сплав, стойкость

### 1. ВВЕДЕНИЕ

Твердые сплавы как инструментальные материалы эффективно применяются в металлообработке. Твердосплавным инструментом снимается до 70 % всей стружки [1]. Однако качественные изменения в металлообработке последних лет повышают требования к работоспособности и надежности твердосплавного инструмента.

Резервы повышения износостойкости инструментальной оснастки за счет создания новых материалов в значительной степени уже исчерпаны или связаны со значительными материальными затратами. Поэтому особое значение в настоящее время приобретают вопросы, связанные с внедрением технологических процессов модификации рабочих поверхностей.

Одним из перспективных способов повышения износостойкости инструментов является модифицирующая обработка изделий тлеющим разрядом [2]. Устройство для его реализации представлено на рисунке 1. Оно представляет собой вакуумную камеру 1, в которой расположен анод 2 и стол катод 3 с изделием 4. При помощи откачного поста 5 и блока измерения 6 создается и контролируется разряжение в камере. Энергетические характеристики тлеющего разряда поддерживаются и контролируются при помощи высоковольтного блока управления 7.

Особенность обработки заключается в том, что она осуществляется тлеющим разрядом постоянного тока, возбуждаемом в среде остаточных атмосферных газов давлением от 1,33 до 13,33 Па, напряжением горения 1...5 кВ при плотности тока от 0,15 до 0,35 А/м<sup>2</sup>, частоте импульсов 100 Гц ± 20% и отношении площади анода к площади катода от 0,01 до 0,05.

Разработанный метод по сравнению с существующими обладает рядом преимуществ. Метод позволяет повысить износостойкость всей гаммы инструментальных материалов. Отсутствуют традиционные для аналогичных видов обработки операции подогрева, нагрева и охлаждения изделий, предварительной термообработки, что приводит к повышению производительности процесса. В процессе обработки изделие нагревается до температуры 423 К, что обеспечивает сохранность его конструктивных и геометрических параметров. Отсутствие специальных устройств для подготовки рабочей среды экономически выгодно отличает предложенный метод от аналогов. Процесс модифицирующей обработки тлеющим разрядом не токсичен и отвечает самым жестким требованиям по защите окружающей среды [3].

Механизмы, приводящие к модифицирующей обработке инструментальных материалов тлеющим разрядом, сходны с процессами, протекающими при низкоэнергетической ионной имплантации, с разницей, в том, что изменение свойств поверхностных слоев твердых сплавов происходит за счет бомбардировки ионами и атомами остаточных газов, таких как азот (N<sub>2</sub>), кислород (O<sub>2</sub>), водород (H<sub>2</sub>), аргон (Ar), а также распыленных атомов элементов твердого сплава. Это приводит к изменению эксплуатацион-

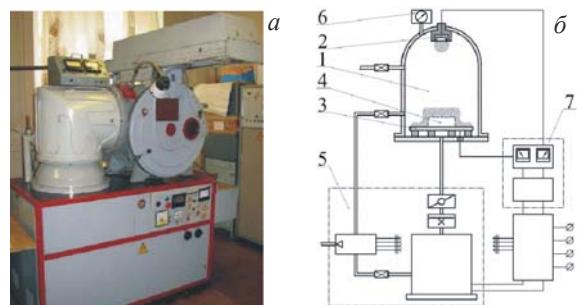


Рис. 1–Вид (а) и схема (б) установки для осуществления модифицирующей обработки

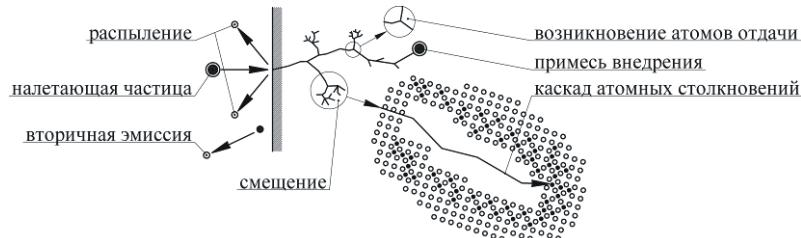


Рис. 2 – Схема процессов, имеющих место при обработке тлеющим разрядом

но-фазовых состояний в поверхностных слоях способствующих изменению эксплуатационного поведения изделий в условиях трибомеханического и трибохимического воздействия.

Ниже представлены исследования партии многогранных неперетачиваемых пластин из твердых сплавов ВК8 и ТН-20 в исходном состоянии и подвергнувшихся обработке, при различных энергетических характеристиках тлеющего разряда.

## 2. РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Проведенный металлографический анализ свидетельствует о том, что твердые сплавы являются гетерогенными материалами, состоящими из твердой фазы и связки. Так, в качестве твердой фазы исследуемого твердого сплава ВК8 в состоянии поставки используется карбид вольфрама (WC), а в качестве связующего компонента выступает кобальт (Co) (рисунок 3, а). В качестве твердой фазы сплава ТН-20 выступает карбид титана (TiC), а в качестве связующего компонента выступает никель-молибденовая связка (рисунок 4, а). Границы зерен карбидной фазы являются размытыми, а зерна имеют сложную форму.

Модифицирующая обработка твердого сплава ВК8 приводит к уменьшению размера зерен карбидной фазы. Помимо изменения размеров зерен карбида вольфрама и возникновению новых границ деления зерен твердой фазы особенно после обработки в тлеющем разряде с удельной мощностью горения 0,50 кВт/м<sup>2</sup> (рисунок 3, в), обработка также приводит к размытости межфазных границ вызванных сложным взаимодействием кобальтового и карбидного скелетов (рисунок 3, г).

Модифицирующая обработка твердого сплава ТН-20 приводит к появлению четких границ зерен карбидной фазы, особенно при обработке с удельной мощностью горения тлеющего разряда W, равной 0,20 и 0,88 кВт/м<sup>2</sup> (рисунок 4, б и 4, г), что может быть вызвано образованием по границам зерен твердого раствора TiC+Mo2C [4], перераспределением никеля вдоль границ зерен твердой фазы и частичным переходом молибдена из твердой фазы в связующую.

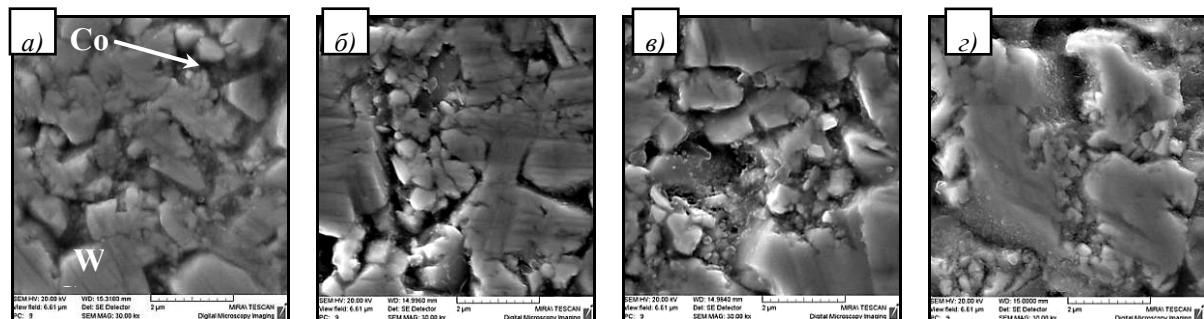


Рис. 3. Структура твердого сплава ВК8: а – в состоянии поставки б – после обработки тлеющим разрядом с удельной мощностью горения разряда 0,20 кВт/м<sup>2</sup>; в – 0,50 кВт/м<sup>2</sup>; г – 0,88 кВт/м<sup>2</sup>

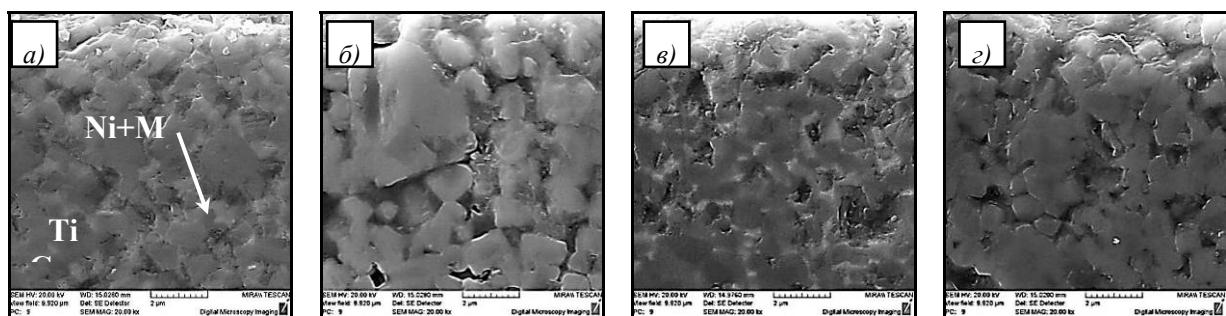


Рис. 4 – Структура твердого сплава ТН-20: а – в состоянии поставки б – после обработки тлеющим разрядом с удельной мощностью горения разряда 0,20 кВт/м<sup>2</sup>; в – 0,50 кВт/м<sup>2</sup>; г – 0,88 кВт/м<sup>2</sup>

ных свойств твердых сплавов в условиях трибомеханического и трибохимического воздействия [4, 5].

Взаимодействие заряженной частицы с поверхностью модифицируемого материала приводит к активации процессов (рисунок 2), приводящих к формированию уникальных структур-

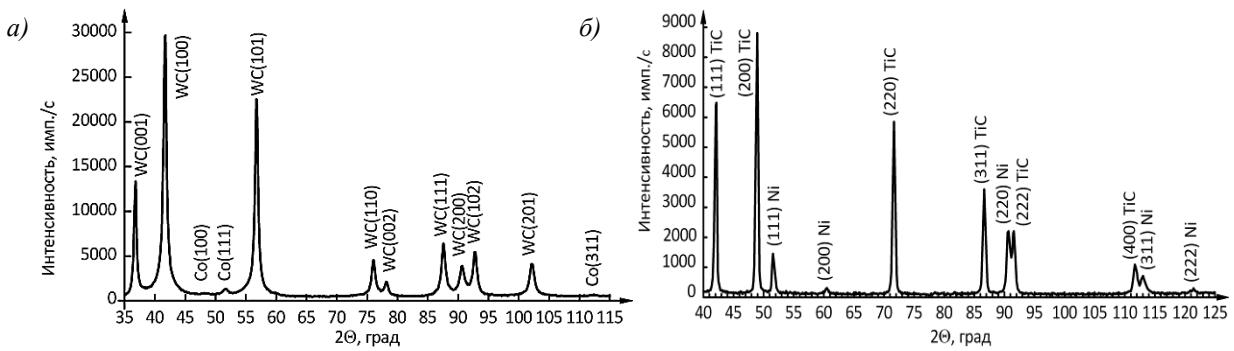


Рис. 5 – Фрагменты дифрактограмм твердого сплава ВК8 (а) и ТН-20 (б) в исходном состоянии

С целью получения информации о воздействии модифицирующей обработки на структуру отдельных составляющих твердого сплава было проведено изучение дифракционных отражений карбидов вольфрама, титана, кобальта, молибдена и никеля, полученных при помощи автоматизированного рентгеновского комплекса на базе дифрактометра ДРОН-3М. Фрагменты дифрактограмм представлены на *рисунке 5*.

При анализе полученной дифрактограммы исходного образца сплава ВК8 (рис. 3, а) видно, что она содержит две системы отражений, одна из которых принадлежит карбиду вольфрама (WC), другая – кобальту (Co). Межплоскостные расстояния и распределение интенсивности регистрируемых линий WC, за исключением отражения (101), соответствуют данным стандартной картотеки PDF.

При анализе полученной дифрактограммы исходного образца сплава ТН-20 (*рисунок 5, б*) видно, что фазовый состав сплава представлен карбидом титана (TiC) и никелем (Ni). Отсутствие отражений от молибдена (Mo) в исследуемом интервале углов рассеяния связано с тем, что молибден растворен в карбидной фазе [4].

В связи с малым содержанием кобальтовой связки в твердом сплаве ВК8 его дифракционные линии, характеризуются низкой интенсивностью (*рисунок 6, а*), что приводит к определенным трудностям при выявлении механизмов протекающих при модифицирующей обработке. В результате этого был проведен рентгеноструктурный анализ сплава GIALLOY PACO-CR (EN ISO 6871-1/6871-2) с массовой долей Со 64%, в исходном состоянии и подвергнутый модифицирующей обработке (*рисунок 6, б*). За счет большого содержания кобальта механизмы структурно-фазовых превращений, протекающие в нем, будут более явными.

Характер изменения параметров дифракционных линий (002), (111) и (200) кобальта свидетельствует о протекании в процессе модифицирующей обработке полиморфного превращения  $\alpha$ -Со  $\rightarrow$   $\beta$ -Со и  $\beta$ -Со  $\rightarrow$   $\alpha$ -Со, а изменение интенсивности дифракционных линий (002), (110) и (112) – о переориентации кристаллов  $\alpha$ -Со.

Изменение физического уширения и интенсивности дифракционных линий Co, WC и Cr подтверждает, что воздействие тлеющего разряда приводит к уменьшению искажений, как в связующем материале, так и в твердой фазе сплавов.

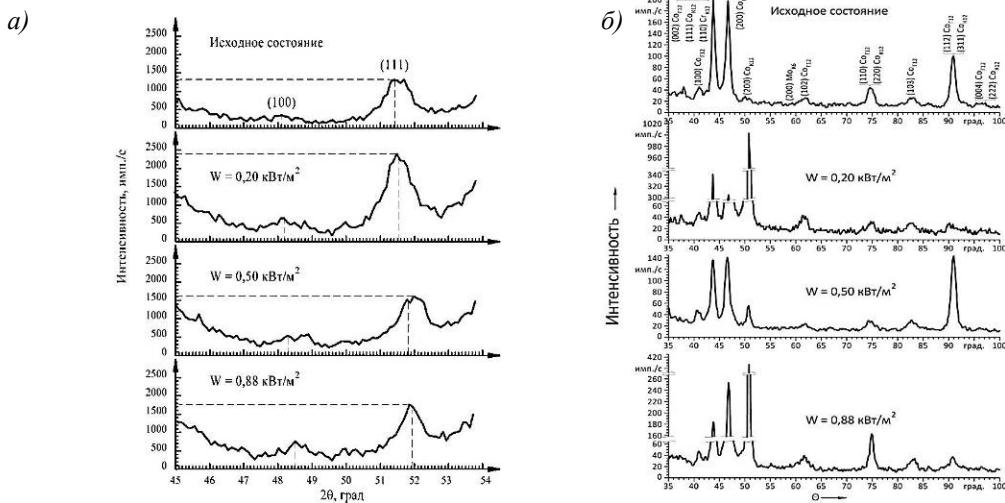


Рис. 6 – Фрагменты рентгенограмм твердого сплава ВК8 (а) и сплава GIALLOY PACO-CR (EN ISO 6871-1/6871-2) (б) в исходном состоянии и после модифицирующей обработки

**Таблица 1 – Межплоскостное расстояние  $d/n$ , интегральная интенсивность  $J$ , физическое уширение  $\beta$  дифракционных линий никеля, размер фрагментов  $D$  в его поверхностных слоях**

Образец	Линия (111)				Линия (220)				Линия (222)		
	$d/n$ , нм		$J$ , имп	$\beta$ , $\times 10^{-3}$ рад	$D$ , нм	$d/n$ , нм		$J$ , имп	$d/n$ , нм		$J$ , имп
	эксперимент	эталон [7]				эксперимент	эталон [7]		эксперимент	эталон [7]	
Исходный	0,2060		1317	12,7	16	0,1257		1472	0,1026		438
0,20 кВт/м <sup>2</sup>	0,2049		981	18,9	11	0,1258		246	0,1026		384
0,50 кВт/м <sup>2</sup>	0,2054		3850	5,2	38	0,1257		710	0,1027		606
0,88 кВт/м <sup>2</sup>	0,2053		8103	4,1	50	0,1253		202	0,1027		522

**Таблица 2 – Соотношение интенсивности линий никеля для различных образцов**

Образец	Интенсивность дифракционных линий, %		
	(111)	(220)	(222)
Эталон	100	40	10
Исходный	100	100	16
0,20 кВт/м <sup>2</sup>	100	18	21
0,50 кВт/м <sup>2</sup>	100	15	18

Обработка тлеющим разрядом твердого сплава ТН-20 оказывает влияние на тонкую структуру никеля, на что однозначно указывают изменения профиля дифракционных линий и соотношение их интенсивностей (*таблица 1*).

Вместе с тем межплоскостные расстояния, рассчитанные по отражениям линий никеля (220) и (222), близки к литературным [7]. Это позволяет сделать однозначный вывод, что в исходном состоянии сплав характеризуется анизотропией свойств, и наибольшая степень искажения кристаллической решетки никеля происходит по плоскостям (111), (220), для которых соотношение интенсивностей отличается от эталона (*таблица 2*).

Сопоставление представленных в *таблице 2* результатов свидетельствует о том, что воздействие тлеющего разряда оказывает значительное влияние на поверхностные слои сплава, на что указывает изменение профиля и интенсивности линии (111) никелевой связки.

### 3. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

При обработке твердого сплава ВК8 в тлеющем разряде с удельной мощностью горения от 0,20 до 0,88 кВт/м<sup>2</sup> происходит ряд структурно-фазовых изменений, заключающихся в формировании блочно-фрагментированной структуры карбидной фазы WC, в увеличении размера фрагментов кобальтовой связки, в изменении соотношения фаз  $\alpha$ -Со и  $\beta$ -Со, а также в граничной и объемной диффузии Со в WC.

Обработка твердого сплава ВК8 в тлеющем разряде с удельной мощностью горения от 0,20 до 0,88 кВт/м<sup>2</sup> приводит к уменьшению искажений как в связующих материалах (Ni + Mo), так и в твердой фазе (TiC); перераспределению TiC по глубине; образованию по границам зерен карбидной фазы твердого раствора TiC+Mo<sub>2</sub>C.

Указанные выше изменения, протекающие в поверхностных слоях твердосплавного инструмента, приводят к повышению поверхностной твердости от 10 до 15 % и износостойкости от 2 до 3 раз [8].

### Литература

- Металлообрабатывающий твердосплавный инструмент: справочник / В. С. Самойлов [и др.]; редкол.: И. А. Ординарцев (пред.) [и др.]. – М.: Машиностроение, 1988. – 368 с.: ил.
- Пат. РБ № 14716 BY, У С 21 D 1/78. Способ упрочнения изделий из металла или сплава, или сверхтвердого или графитсодержащего материала / В. М. Шеменков, А.Ф. Короткевич; заявитель и патентообладатель Государственное учреждение высшего профессионального образования «Белорусско-Российский университет». – № 20091136; заявл. 27.07.2009. опубл. 30.08.2011. – 3 с.
- Белая, М.А. Структурно-фазовое модифицирование кобальтсодержащих твердых сплавов обработкой в тлеющем разряде / М.А. Белая, Е.С. Ахрапович // 46-я студенческая научно-техническая конференция: материалы конф.: тез. докл. 27 мая 2010 г. – Могилев, 2010. – С. 24.
- Шеменков, В.М. Влияние тлеющего разряда на механические и эксплуатационные свойства поверхностного слоя однокарбидных твердых сплавов / В.М. Шеменков, Ф.Г. Ловшенко, Г.Ф. Ловшенко // Вестн. Белорусского университета, - 2011. – №4(33). С. 117-128.
- Шеменков, В.М. Влияние тлеющего разряда на структуру и свойства безвольфрамовых твердых сплавов / В.М. Шеменков, Ф.Г. Ловшенко, Г.Ф. Ловшенко // Современные методы и технологии создания и обработки материалов: VI Междунар. науч.-техн. конф. (Минск, 14-16 сентября 2011 г.): сб. материалов. В 3 кн. Кн. 1. Конструкционные и функциональные материалы в современной технике, методы их получения. Материалы для микро- и наноэлектроники / ред. коллегия: С.А. Астапчик (гл. ред.) [и др.]. – Минск: ФТИ НАН Беларуси, 2011. с. 396 – 406.
- Панов, В.С. Технология и свойства спеченных твердых сплавов и изделий из них: учеб. пособие для вузов / В. С. Панов, А. М. Чувилин, В. А. Фальковский. – 2-е изд., доп. и перераб. – М.: МИСИС, 2004. – 464 с.: ил.

7. Горелик, С.С. Рентгенографический и электронно-оптический анализ : учеб. пособие для вузов / С. С. Горелик, Ю. А. Скаков, Л. Н. Растворгусев. – 4-е изд., доп. и перераб. – М. : МИСИС, 2002. – 360 с. : ил.
8. Шеменков, В.М. Влияние тлеющего разряда на эксплуатационные свойства твердых сплавов / В.М. Шеменков, Ф.Г. Ловшенко, Г.Ф. Ловшенко // Современные методы и технологии создания и обработки материалов: VII Междунар. науч.-техн. конф. (Минск, 19-21 сентября 2012 г.): сб. материалов. В 3 кн. Кн. 1. Конструкционные и функциональные материалы в современной технике, методы их получения. Материалы для микро- и наноэлектроники / ред. коллегия: С.А. Астапчик (гл. ред.) [и др.]. – Минск: ФТИ НАН Беларусь, 2012. с. 396 – 406.

БНТУ

## РАЗРАБОТКА МОДУЛЬНЫХ ПОДВИЖНЫХ СРЕДСТВ ВОССТАНОВЛЕНИЯ АВТОМОБИЛЬНОЙ ТЕХНИКИ НА БАЗЕ ПРОДУКЦИИ ОТЕЧЕСТВЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ

*A.В. БЕЛОВ, П.Н. ТАРАСЕНКО*

A modular mobility aid for recovering techniques was proposed, including: MAZ-631705-261car, equipped with car-go-handling mechanism MPR-3; swap body container «Midivisana» Ltd., equipped with new installations; inflatable tent; devices for transporting techniques by half-lifting

Ключевые слова: подвижные средства восстановления, автомобильная техника, кузов-контейнер

Анализ подвижных средств восстановления (ПСВ) автомобильной техники (АТ) механизированной бригады свидетельствует о том, что они смонтированы на автомобильных базовых шасси (АБШ) советского производства, оснащены кузовами-фургонами и технологическим оборудованием, которые морально и технически устарели, находятся на хранении более 20 лет и не могут в полном объеме выполнять ремонт новых автомобилей. Поэтому назрела необходимость в разработке модульных ПСВ на базе отечественных предприятий.

В результате выполнения работы были рассмотрены и решены следующие задачи:

1. Проведен анализ ПСВ нового поколения Вооруженных Сил России и стран дальнего зарубежья, который показал, что изготавливаемые в зарубежных странах и разрабатываемые образцы ПСВ на отечественных предприятиях позволяют повысить производительность эвакуационных и ремонтных подразделений и частей, но не способствуют снижению количества техники и личного состава используемого для восстановления поврежденных машин.

2. Предложено модульное ПСВ ВВТ включающее:

2.1. Трехосный автомобиль повышенной проходимости МАЗ-631705-261.

2.2. Легкосъемный кузов-контейнер производства ООО «Мидивисана», снимаемый (устанавливаемый) с АБШ собственными гидравлическими опорами, либо погрузочно-разгрузочной системой МПР-3, основными преимуществами которого являются возможность:

- быстрой перестановки кузова-контейнера с одного АБШ на другое, а также использование народнохозяйственных автомобилей для его транспортировки;
- автономность использования кузова-контейнера и АБШ в мирное и военное время;
- использования АБШ, после снятия кузовов-контейнеров для других целей (доставка боеприпасов, эвакуации поврежденной техники, имущества), что позволит сократить количество машин в воинских частях и уменьшить затраты на их эксплуатацию.

2.3. Автономную дизель-электрическую установку мощностью от 16 до 30 кВт для обеспечения электроэнергией технологического оборудования кузова-контейнера.

Кроме того, мастерские ПСВ ВВТ предлагается оснастить:

- новым высокопроизводительным технологическим оборудованием;
- палатками с надувными каркасами из современных непромокаемых материалов (вместо существующих каркасных палаток П20 и П38) для размещения в них выносного технологического оборудования и ремонтируемых машин, позволяющими сократить время их развертывания (свертывания) и улучшения условий работы личного состава.

2.4. Устройство для транспортирования техники, позволяющее после снятия кузова-контейнера мастерской в районе развертывания ремонтного подразделения использовать шасси для эвакуации поврежденной техники полуподъемом вблизи расположения СППМ. А также оборудовать шасси автомобиля МАЗ-631705-261 гидравлической лебедкой усилием до 10 т с длиной троса 60 м для вытаскивания застрявшей техники.

Оснащение Вооруженных Сил Республики Беларусь модульными ПСВ ВВТ обеспечит:

повышение эффективности использования ПСВ ВВТ; объединение разрозненных эвакуационных и ремонтных подразделений в единый орган, производящий ремонт и обеспечение себя ремонтным фондом; снижение количества автомобилей для обеспечения функционирования системы восстановления ВВТ.