



*The new directions and developments, which are more perspective for the development of the wiredrawing instrument, possessing necessary complex of physical-mechanical characteristics, are examined.*

А. Н. САВЕНОК, Д. Г. САЧАВА, Т. Н. ЛИПАТКИНА, РУП «БМЗ»

УДК 669.

## ПЕРСПЕКТИВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ РАЗВИТИЯ ТВЕРДОСПЛАВНОГО ИНСТРУМЕНТА ДЛЯ ВОЛОЧЕНИЯ ПРОВОЛОКИ

Волоочильный инструмент заслуживает тщательного изучения с точки зрения качества и потенциальных возможностей, которыми он обладает, так как именно этот сверхтвердый инструмент фактически определяет конечный успех или неудачу в любом процессе волочения проволоки.

Качество волок во многом определяет экономические показатели процесса волочения и свойства готовой проволоки. Для достижения максимальной экономической эффективности необходимы, главным образом, правильный выбор материала для изготовления волоочильного инструмента, правильно рассчитанная геометрия профиля волокни и полировка ее поверхности в соответствии с предназначенным для волочения материалом. Все это приведет к оптимальному увеличению срока службы инструмента и положительно скажется на производственных и экономических показателях предприятия.

В данной статье рассматриваются новые направления и разработки, которые являются наибо-

лее перспективными для развития волоочильного инструмента, обладающего необходимым комплексом физико-механических свойств, в первую очередь высокой трещиностойкостью и износостойкостью (рис. 1).

Большое значение в исследованиях, направленных на создание материалов, имеют работы по безвольфрамовым твердым сплавам, которые в ряде случаев с успехом заменяют вольфрамосодержащие материалы.

Особый интерес представляют работы по новым тенденциям в области сверхтвердых материалов на основе нано- и ультрадисперсных порошков алмаза и кубического нитрида бора.

### Легированные вольфрамовые твердые сплавы

Легирование сплавов WC-Co другими тугоплавкими металлами оказывает сложное влияние на структуру и свойства сплава (рис. 2, 3). Основными легирующими элементами являются карбиды ниобия, тантала, титана.

Легирование должно рассматриваться прежде

всего как средство, препятствующее росту зерна карбида вольфрама в процессе спекания, т.е. как ингибитор роста зерна. Однако, образуя с основной карбидной фазой сложные карбиды или растворяясь в твердом растворе на основе кобальта, легирующие элементы так или иначе влияют на механические и эксплуатационные свойства сплава.

Таким образом, введение легирующих добавок, помимо торможения роста зерна, будет повышать твердость сплава и снижать его вязкость.

На РУП «БМЗ» исследовали легированный сплав марки TSM05. Состав и свойства вольфрамовых сплавов приведены в табл. 1.



Рис. 1. Направления развития твердосплавного инструмента

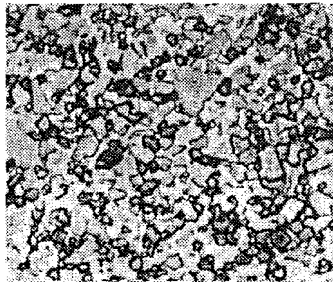


Рис. 2. Легированный сплав

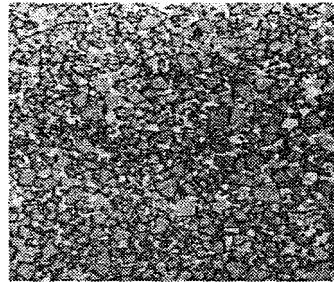


Рис. 3. Серийный сплав

Таблица 1

Марка сплава	WC	Co	TiC/TaC	Твердость HV	Размер зерна α-фазы, мкм
	%				
Легированный	93,7	4,8	1,5	1931	0,7
Серийный	96,5	3,5	–	1832	1,2

В марте–июне 2004 г. на РУП «БМЗ» в сталепроволочном цехе проведены испытания семи маршрутов при волочении проволоки диаметром 0,30 НТ, в которых первые семь волок изготовлены из волок-заготовок марки TSM05 (легированный твердый сплав). Для сравнения одновременно испытаны маршруты, в которых все волокна изготовлены из применяемых на РУП «БМЗ» твердых сплавов.

Контроль качества поверхности рабочего канала волок после эксплуатации показал, что волокна из легированного сплава отличались пониженным износом по сравнению с волокнами из применяемых сплавов.

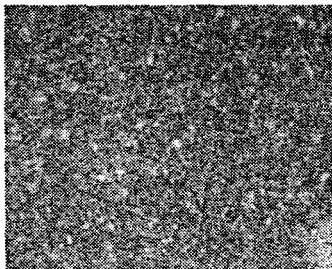


Рис. 4. Субмикронный сплав

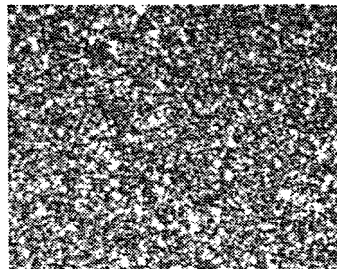


Рис. 5. Серийный сплав

### Субмикронные твердые сплавы

Данные сплавы отвечают современным требованиям по износостойкости, но обладают повышенной хрупкостью.

Использование твердых сплавов с мельчайшим зерном в процессах волочения проволоки постепенно увеличивается. Это происходит из-за того, что износ истиранием (т.е. систематическая потеря цельных зерен или только какой-то части зерна) снижается при уменьшении размера зерна. Износ протекает медленней, к тому же большая площадь поверхности всех мельчайших зерен гарантирует и оптимальное соединение с кобальтом.

Необходимую величину зерна карбида вольфрама получают производители твердосплавных смесей, изменяя температуру и условия получения исходных вольфрама и карбида вольфрама (рис. 4, 5).

Состав и свойства субмикронных сплавов приведены в табл. 2.

Таблица 2

Марка сплава	Содержание химических компонентов		Физико-механические свойства	
	Co	WC	твердость HV	средняя величина зерна α-фазы, мкм
KCR 04	3,0	97,0	2320	0,4–0,6
CR 05	3,0	97,0	2102	0,5–0,8
UF6 S–P	6,0	94,0	2077	0,6
Серийный	3,5	96,5	1832	1,2

В мае 2006 г. на РУП «БМЗ» поступила опытная партия смеси UF6 S–P. Твердосплавные волокна-заготовки, изготовленные из смеси, имели твердость значительно выше, чем из НЗМ, а содержание Co (6%) повышает трещиностойкость. Однако спеченные волокна-заготовки имели в

структуре скопления крупных зерен α-фазы, что не соответствует требованиям РУП «БМЗ». Поэтому работа в этом направлении была приостановлена.

В феврале 2006 г. в ЛПМиВ исследовали опытные образцы волок-заготовок из твердосплавных материалов марок CR и KCR. Резуль-

таты входного контроля показали, что волокни-заготовки имеют высокую твердость 2100–2300 HV. Изготовленные волокни (последние 10-го маршрута) были опробованы при волочении сверх-высокопрочной проволоки диаметром 0,35 НТ. При волочении опытные волокни показали высокую износостойкость, отсутствие трещин, выкрашиваний и расколов.

#### Сплавы с износостойкими покрытиями

Целью нанесения на твердые сплавы покрытия является повышение эксплуатационной стойкости инструмента за счет более высокой износостойкости слоя, чем основы.

В настоящее время у нас и за рубежом ведутся работы, направленные на изыскание новых материалов для покрытий, способа и технологии нанесения их, конструкции оборудования.

Многими работами установлено, что процесс упрочнения поверхности твердого сплава после обработки связан в значительной степени с изменениями тонкой кристаллической структуры, происходящими в поверхностных слоях при раз-

личных методах термического воздействия, а именно: возникновение микроискажений решетки, изменение напряженного состояния поверхностного слоя, изменение напряжений в карбидной фазе.

В декабре 2005 г. исследовали опытные образцы твердосплавных волокон-заготовок с упрочненными поверхностными слоями. На ООО «Нагорный» для упрочнения использовали метод газобарического легирования готовых изделий из твердых сплавов. При этом полезные свойства (износостойкость) должны увеличиваться в 2–3 раза.

В результате проведения входного контроля было обнаружено, что (рис. 6):

- упрочненный слой нанесен не по всему периметру канала волокни-заготовки;
- толщина упрочненного слоя неравномерная;
- твердость в упрочненном слое ниже, чем в материале;
- в структуре выявлен углерод, который является дефектом твердого сплава.

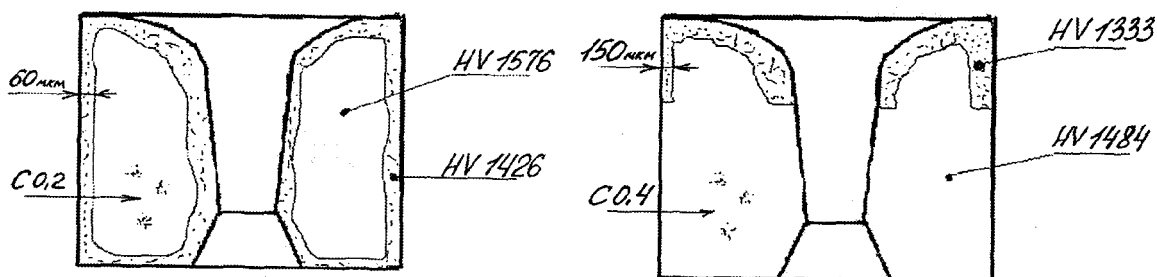


Рис. 6. Твердосплавные волокни-заготовки с износостойким упрочненным покрытием

Работа была приостановлена, так как изначально твердосплавные вставки волокон-заготовок признаны непригодными для использования.

В 2000 г. в лаборатории порошковой металлургии и волокон проводили исследования стойкости твердосплавных волокон после проведения химико-термической обработки специалистами ОИМ НАН Беларуси. Волокни были подвергнуты химической обработке в растворе неорганических кислот, в ходе которой происходит растворение оксидных пленок, создание более однородного напряженного состояния, выравнивание микрорельефа и повышение класса чистоты поверхности.

Работу по определению стойкости опытного маршрута диаметром 1,77–0,30НТ проводили в сравнении с рядовым маршрутом. В процессе работы осуществляли контроль качества поверхности тонкой проволоки. Поверхность проволоки была удовлетворительной. Таким образом, сопротивление износу волокон, подвергнутых обработке, несколько выше по сравнению с волокнами стандартного исполнения.

В настоящее время работа продолжается. Проводится исследование твердосплавных волокон после термохимического упрочнения.

#### Волокни из композиционных материалов (безвольфрамовые материалы)

В июне 2002 г. БНТУ предоставил шесть опытных волокон-заготовок. Волокни отлиты из железоуглеродистого сплава, упрочненного карбидами хрома (рис. 7).

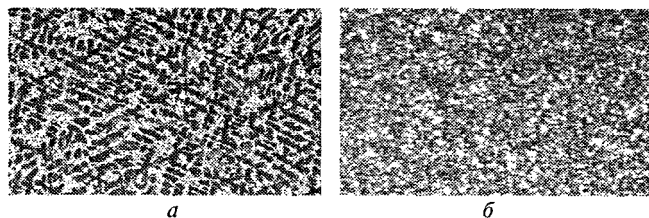


Рис. 7. Дендритная структура монолитных, отлитых из железоуглеродистого сплава, упрочненного карбидами хрома, волокон (а); серый сплав (б)

В результате контроля качества в ЛПМиВ в волоках-заготовках обнаружены поры и раковины. Измерения показали очень низкие значения твердости материала – 736 HV. После эксплуатации в

течение 14 ч опытная волока вышла из диаметра. Отрицательный результат был предсказуем из-за очень низкой объемной доли карбида хрома в данном сплаве, а его твердость намного ниже твердости карбида вольфрама.

В августе 2002 г. в ЛПМиВ исследовали шесть опытных волок-заготовок, предоставленных БНТУ.

Исследуемый композит в зоне рабочего канала армирован проволокой из высокомарганцовистой стали Гатфильда (рис. 8).

В состоянии поставки рабочие каналы представляли собой отверстия различной формы, требуемые для волоки элементы канала не сформированы, структура материала вставки отличается высокой пористостью и количество настолько велико, что не поддается оценке.

В принципе эта сталь используется в качестве износостойкого материала, но для изготовления волок она неприемлема из-за недостаточной износостойкости и плохой полируемости. Продолжать работу в части композитов, армированных стальной проволокой, нецелесообразно.

#### Сверхтвердые материалы. Алмазные волокна

Впервые синтез алмаза был осуществлен только в 1953 г. в Швеции. На сегодняшний день синтез сверхтвердых материалов включен в первую десятку приоритетных направлений в научно-технической деятельности в мире.

К отличительным особенностям инструментов из сверхтвердых природных материалов и синтетических алмазов, кубического нитрида бора относятся наивысшая твердость, высокая износостойкость, низкий коэффициент трения (следовательно, малый износ), долговечность, большой рабочий ресурс, инструментальная стойкость.

В ноябре 2005 г. французская фирма BALLOFFET предоставила РУП «БМЗ» для опробования алмазные волокна (рис. 9).

Алмазные волокна французской фирмы BALLOFFET испытывали в СтПЦ-2 при волочении сверхвысокопрочной проволоки диаметром 0,175 мм. Волокна имеют высокую износостойкость, расход волок при использовании алмазных волок в 2,5 раза ниже, чем при использовании твердосплавных. После эксплуатации волок в течение 40 ч на их рабочей поверхности обнаружены раковины.

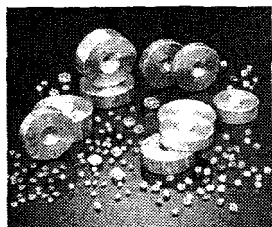


Рис. 9. Алмазные волокна французской фирмы BALLOFFET

В 2001 г. была проведена работа по исследованию опытной партии волок из искусственного алмаза, изготовленных ОАО «Полтавский алмаз-

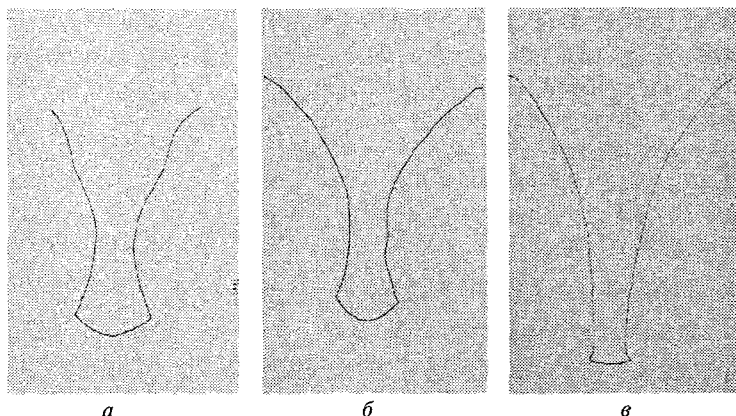


Рис. 8. Волокна из композиционных материалов (безвольфрамовые материалы): а, б – профиль волок в зоне рабочего канала, армированных проволокой из высокомарганцовистой стали Гатфильда; в – профиль волок, используемых на РУП «БМЗ»

ный завод» (ОАО «ПАЗ»). ОАО «ПАЗ» для изготовления синтетических поликристаллических алмазных волок использует алмазный порошок зернистостью 5 мкм. Проведенные исследования выявили крайне низкий уровень качества по геометрическим параметрам алмазных волок, изготовленных ОАО «Полтавский алмазный завод». За 40 ч волочения со скоростью 4,5 м/с сверхвысокопрочной проволоки номинальным диаметром 0,175 мм диаметр алмазных волок не изменился. Качество поверхности удовлетворительное.

Целесообразно использовать алмазные волокна для чистовых групп маршрута, но использовать субмикронный алмазный порошок и соблюдать требования по геометрическим параметрам.

#### Изготовление волок из нитридов и боридов тугоплавких металлов

Из природных материалов к сверхтвердым относится только алмаз. К настоящему времени синтезировано большое количество других сверхтвердых материалов. Механические свойства сверхтвердых материалов приведены в табл. 3. Самым твердым из них долгое время оставался кубический нитрид бора. В природном состоянии такой материал не обнаружен. Прямым превращением твердого раствора кубического нитрида бора была получена новая сверхтвердая фаза – кубический карбонитрид бора.

Исключительную твердость трех основных сверхтвердых материалов (алмаз, кубический карбонитрид бора и кубический нитрид бора) связывают с симметричным направлением атомных связей в кристалле (рис. 10).

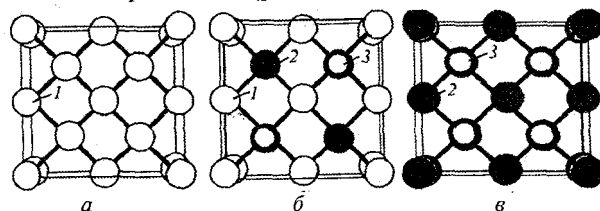


Рис. 10. Кристаллические решетки: алмаза (а), карбонитрида бора (б), кубического нитрида бора (в): 1 – атомы углерода; 2 – атомы азота; 3 – атомы бора

Таблица 3

Фаза	H <sub>v</sub> , ГПа
c-BN (кубический нитрид бора)	62
c-BC <sub>2</sub> N (кубический карбонитрид бора)	76
Алмаз	115

Работа в этом направлении находится в области теоретических исследований.

### Выводы

В настоящее время в мире уже достаточно широко изучены и используются на практике вольфрамкобальтовые сплавы. Легированные, субмикронные, сплавы с упрочненными покрытиями находятся только в стадии разработки. При использовании и выборе волоочильного инструмента с упрочненным покрытием необходимо учитывать ряд факторов: функциональную пригодность покрытия в течение длительного срока эксплуатации, возможность получения равномерного покрытия, способности к восстановлению, экологичность и энергоемкость производства и др.

В отношении композиционных материалов дальнейшую работу необходимо проводить только

на композитах, сопоставимых с применяемым в настоящее время твердым сплавом по величине зерна, пористости и другим основным характеристикам. Кроме того, необходимо обеспечить отсутствие в материале дефектов макроструктуры (раковин и др.), а также повысить точность геометрии и качество поверхности канала волок-заготовок.

Алмазные волокна являются дорогостоящим волоочильным инструментом, поэтому необходимо рассматривать экономическую эффективность их применения.

Накопленный объем исследований позволяет реально оценить возможность применения новых материалов и дает возможность обоснованно прогнозировать дальнейшее развитие волоочильного инструмента исходя из потребностей предприятия.