

## Лабораторная работа

### ТВЕРДЫЕ СПЛАВЫ

#### 1 Цель работы

Ознакомиться с классификацией, свойствами, микроструктурой, применением и технологией изготовления твердых сплавов.

#### 2 Основные сведения

Порошковые твердые сплавы впервые появились в 1923-1925 гг., что позволило увеличить скорости резания в 5-10 раз. При эксплуатации инструмента выяснилось, что дорогостоящий вольфрам, используемый при изготовлении твердых сплавов, даст гораздо больший эффект, чем, например, в составе быстрорежущей стали. Так. инструментом с одной и той же массой вольфрама в случае применения твердосплавного инструмента можно обработать в 6 раз больше металла, чем инструментом из быстрорежущей стали.

13 нашей стране промышленное производство твердых сплавов было начато на Московском электростроительном заводе в 1929 г. выпуском вольфрамкобальтового твердого сплава марки ВК10 ("Победит").

Большая часть твердых сплавов предназначена для обработки резанием различных материалов, в том числе чугунов, нержавеющей стали, жаропрочных и специальных сталей и сплавов. Твердые сплавы в основном производят в виде пластин, которыми оснащают режущий материал. Важной областью применения твердых сплавов является их использование для волочения и калибрования проволоки, прутков, труб и т.д. Штамповый твердосплавный инструмент высокой прочности и износостойкости применяют для работы в условиях ударных нагрузок и для высокопроизводительного горного инструмента.

Твердые сплавы представляют собой сплавы на основе карбидов тугоплавких металлов (WC, TiC, TaC) и металлической связки (кобальт или никель). Твердые сплавы обычно содержат 70-97 % тугоплавких карбидов. Они обладают высокой твердостью (86-92 HRA), теплостойкостью (800-1000 °C) и износостойкостью при меньшей прочности по сравнению с быстрорежущей сталью ( $\sigma_b < 2500$  МПа). Недостаток - высокая хрупкость.

#### 2.1 Классификация и маркировка твердых сплавов

Твердые сплавы условно делят на четыре группы:

- однокарбидные вольфрам-кобальтовые, состоящие из карбида вольфрама и кобальта (WC-Co);
- двухкарбидные титано-вольфрам-кобальтовые, состоящие из карбида вольфрама (основа), карбида титана и кобальта (WC-TiC-Co);

- титано-танталовольфрам-кобальтовые сплавы, в состав входят карбиды вольфрама (основа), титана, тантала и кобальта (WC-TiC-TaC-Co);
- безвольфрам-кобальтовые твердые сплавы, состоящие из карбида или карбонитрида титана, связки Ni или сплава Ni-Mo: TiC-Ni-Mo (сплавы ТН); TiC-TiN-Ni-Mo (сплавы КНТ).

Вольфрам-кобальтовые сплавы маркируют буквами ВК и цифрой, указывающей процентное содержание кобальта, например, сплав ВК6 содержит 6 % кобальта, остальное (94 %) - карбид вольфрама. К этой группе относятся сплавы ВК3, ВК4, ВК6, ВК8, ВК10, **ВК15**, **ВК20**, ВК25. Чем больше кобальта в твердом сплаве, тем выше прочность, но ниже твердость и износостойкость. Теплостойкость их - до 800 °C. Для сплава ВК8, например, предел прочности при изгибе  $\sigma_{0.2} = 1717$  МПа, твердость 87,5 HRA, а для сплава ВК25:  $\sigma_{0.2} = 2452$  МПа, 83 HRA.

Буква М в марке сплава обозначает, что сплав мелкозернистый (ВК6-М), буква К - крупнозернистый (ВК20-К), буква В указывает, что изделие спеклось в атмосфере водорода (ВК6-В). Сплавы с крупным зерном отличаются повышенной ударной вязкостью. Чем меньше зерно карбидной фазы, тем выше износостойкость твердого сплава.

Титано-вольфрам-кобальтовые твердые сплавы маркируют буквами ТК и цифрами, стоящими после каждой цифры, которые указывают конкретное содержание карбида титана и кобальта. Так, сплав Т15К6 содержит 15 % карбида титана, 6 % кобальта, остальное - карбид вольфрама. Теплостойкость сплавов группы ТК - до 900-1000 °C.

Титано-танталовольфрам-кобальтовые сплавы маркируют буквами ТТК и цифрами: ТТ7К12 - карбидов титана и тантала - 7 %, кобальта 12 %. остальное - карбид вольфрама. Теплостойкость сплавов группы ТТК - до 1000 °C.

Безвольфрам-кобальтовые твердые сплавы отличаются высокой окислительной стойкостью, отсутствием дефицитного вольфрама, вдвое меньшей плотностью по сравнению со сплавами группы ВК, однако уступают им по прочности, ударной вязкости и теплопроводности.

Химический состав безвольфрам-кобальтовых твердых сплавов:

карбидтитановые - 70-80 % TiC, 20-40 % Ni-Mo (сплавы ТН-20, ТН-30, ТН-40);

карбиднитридтитановые - 25-45 % TiC, 25-45 % TiN 30-35 % Ni-Mo (КНТ16 и др.)

При обработке сталей используются сплавы группы ТК, а чугунов - группы ВК. Сплавы группы ТТК более универсальные, их применяют для обработки сталей и чугунов при наиболее тяжелых условиях резания (черновая обработка слитков, отливок, поковок). Безвольфрам-кобальтовые твердые сплавы рационально использовать при полуконтактной и контактной обработке углеродистых сталей и цветных металлов.

### 3 Технология изготовления твердосплавных материалов

Твердосплавные материалы изготавливают методом порошковой металлургии: холодным прессованием заготовок из смеси порошков карбидов и связующего металла с последующим спеканием прессовок, а также прессованием пористых заготовок из порошков карбидов с последующей пропиткой прессовок жидким связующим металлом. Применяется также метод изготовления изделий из пластифицированных твердосплавных заготовок.

Типовая технологическая схема производства спеченных твердых сплавов предусматривает получение порошков вольфрама, соответствующих карбидов и кобальта; приготовление смеси карбидов с кобальтом, прессование заготовок из смесей и последующее спекание (рисунок 13.1).

#### 3.1 Получение порошка вольфрама

Порошок вольфрама получают восстановлением водородом или сажей вольфрамового ангидрида  $WO_3$ . Вольфрам водородного восстановления обеспечивает лучшее качество твердых сплавов из-за повышенной чистоты, регулируемой и более однородной зернистости, чем вольфрам углеродного восстановления. Цвет порошка изменяется в зависимости от зернистости: от черного (мелкозернистый) до серого (крупнозернистый). Восстановление  $WO_3$  водородом ведут, как правило, в две стадии:  $WO_3 \rightarrow WO_2$  при 600-800 °С и  $WO_2 \rightarrow W$  при 800-950 °С.

Для некоторых твердых сплавов специальных марок применяют одностадийное восстановление при 1200 °С. Режим восстановления (температура по зонам нагрева, скорость движения  $WO_3$  через печное пространство, количество  $WO_3$  в лодочке, расход, влажность и направление подачи водорода) определяет зернистость получаемого порошка вольфрама. Восстановление вольфрамового ангидрида сажей в графитотрубчатых печах проводят при 1400-1800 °С. Мелкозернистый порошок получают при 1400 °С и некотором избытке сажи в шихте, крупнозернистый - при 1800-2000 °С.

Образующиеся брикеты слегка спекшихся частиц вольфрама измельчают, чаще всего в шаровых мельницах, просеивают, после чего вольфрам направляют на карбидизацию.

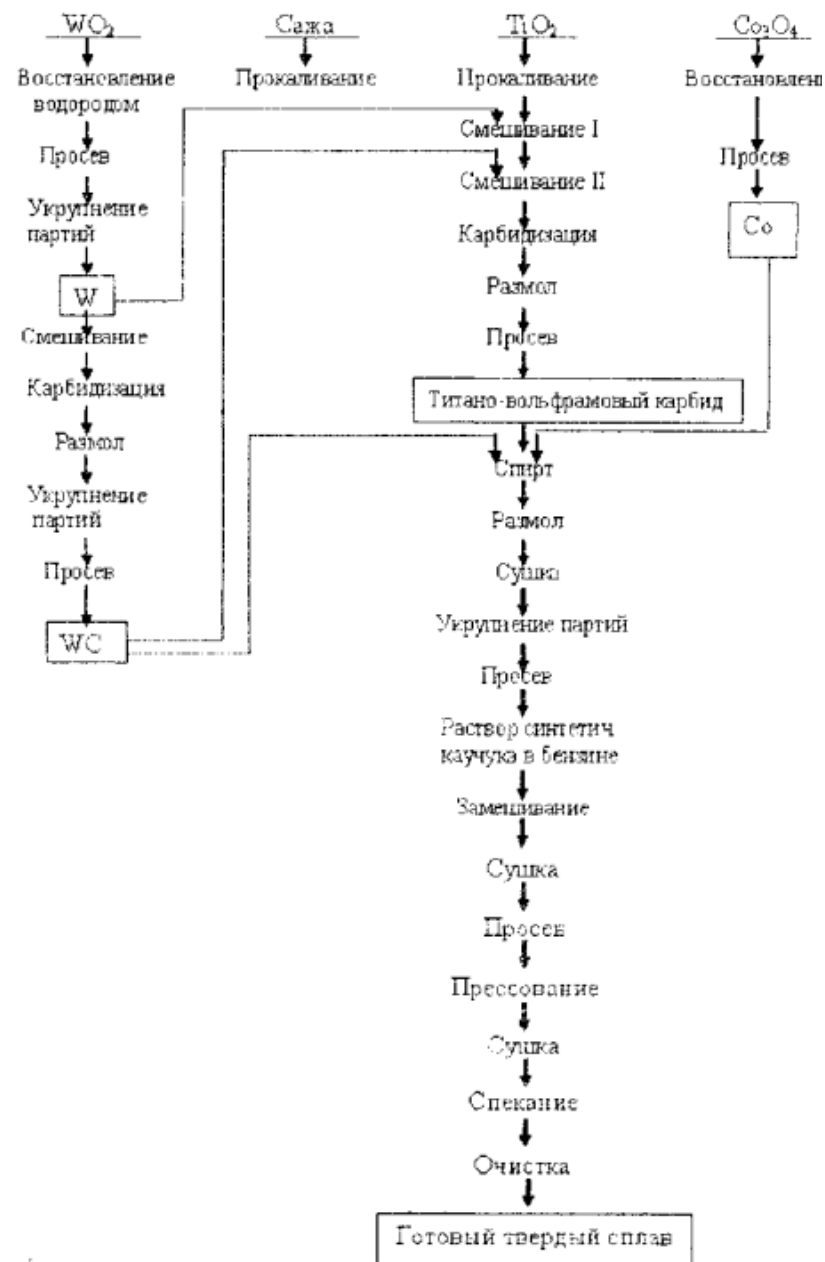


Рисунок 13.1 - Технологическая схема изготовления твердых сплавов типа ТВК

### 3.2 Получение порошка карбида вольфрама WC

Для науглероживания частиц вольфрама используют сажу и атмосферу углеродосодержащих газов:  $W + C \rightarrow WC$ .

Порошок вольфрама требуемой зернистости смешивают с сажей в смеси-теле из расчета ее содержания в смеси 6,1 %. Приготовленную для карбидизации смесь прокаливают в электропечах с графитовой трубой или алундовым муфелем в лодочках из графита (загрузка 8-12 кг), время пребывания лодочки в зоне нагрева печи составляет 1-2 ч.

Науглероживание идет тем быстрее, чем меньше размер частиц вольфрама и выше температура карбидизации. Так, мелкозернистые порошки вольфрама подвергаются карбидизации при 1350-1450 °С, среднезернистые - при 1450-1500 °С и крупнозернистые - при 1600-1650 °С. Размеры частиц карбида могут превышать размеры исходных частиц вольфрама, быть одинаковыми с ними или существенно меньше их. Примеси натрия и кальция в вольфраме способствуют получению более мелких частиц карбида, а сера даже в количестве 0,05 % вызывает укрупнение зерен WC. Температура карбидизации, влияя на размер частиц, содержание в них примесей и степень несовершенства кристаллической решетки, изменяет пластичность WC и соответственно твердого сплава в целом.

После карбидизации спекшиеся и достаточно прочные брикеты WC размалывают (при высокотемпературной карбидизации брикеты сначала дробят на шеховых дробилках) в шаровых вращающихся мельницах стальными шарами диаметром 15-50 мм в течение 2-3 ч. Порошок карбида вольфрама просеивают.

### 3.3 Получение двойного карбида TiC-WC

Твердый раствор готовят, совмещая его получение с одновременным образованием карбида титана либо карбида титана и карбида вольфрама. Чаще всего смесь карбидизации состоит из диоксида титана, сажи и карбида вольфрама или вольфрама. Смесь  $TiC_2 + C + WC$  или  $TiO_2 + C + W$  рассчитывается на получение твердого раствора с соотношением  $TiC:WC = 30:70$ . В этом случае при спекании заготовок не происходит ни распада твердого раствора, ни дополнительного растворения в нем WC. Смешивание компонентов проводят в шаровых вращающихся мельницах в течение 14-24 ч, в том числе  $TiO_2 + C$  - 4-8 ч, а после добавления WC или W - 6-18 ч. Карбидизацию проводят в графитотрубчатых печах при 2000-2300 °С в среде водорода. Время пребывания лодочки в печи 3,5-4 ч, в том числе в горячей зоне - около 0,5 ч. С повышением температуры и длительности прокаливания смеси, а также количества примесей (металлов железной группы) зерна (Ti, W)C укрупняются. Спекшиеся брикеты светлого цвета измельчают в мельницах стальными шарами в течение 3-20 ч.

### 3.4 Получение тройного карбида TiC-TaC -WC

Смесь для карбидизации состоит из  $TiO_2$ , сажи, WC и TaC. Режимы карбидизации и размола сложного карбида идентичны получению порошка двойного карбида TiC-WC.

### 3.5 Получение порошка кобальта

Порошок кобальта получают восстановлением оксидных соединений кобальта ( $Co_3O_4$ ) водородом в трубчатых или муфельных электропечах при 520-570 °С в течение 4-5 ч. Мягкие, легко рассыпающиеся брикеты при растирании и просеве на вибросите превращаются в порошок кобальта с размером частиц 1-5 мкм.

### 3.6 Приготовление смесей

Приготовление твердосплавных смесей, состоящих из порошков карбидов и металлов, обычно сочетается с измельчением исходных порошков. В практике наиболее распространено механическое смешивание порошков в шаровых вращающихся мельницах. Шаровые мельницы, используемые при размолу, представляют собой стальной барабан, футерованный твердым сплавом. Размер твердосплавных шаров от 6 мм до 18 мм. Интенсивность размола повышается с увеличением диаметра шаровой мельницы, а также с уменьшением диаметра размольных шаров, что благоприятно сказывается на свойствах спеченных твердых сплавов. Длительность размола составляет 24, 48, а иногда и 120 ч. Такое смешивание (совместный размол) можно проводить в газовой атмосфере (воздух, инертный газ), в вакууме или жидкой среде (этиловый спирт, циклогексан в количестве 220 г/кг смеси сплавов BK и 500 г/кг смеси при размолу сплавов на основе карбида титана). Мокрый размол предпочтителен, так как обеспечивает лучшее распределение кобальта между карбидными частицами. Условия размола (смешивания) порошков существенно влияют на конечные свойства спеченного твердого сплава.

В дальнейшем смесь процеживается через сито и подвергается сушке при температуре 80 °С в вакуумных сушильных шкафах для удаления спирта. Высушенные смеси протирают через сито.

### 3.7 Прессование

Для улучшения условий прессования, устранения расслоя и повышения прочности прессовок в твердосплавную смесь вводят пластификатор - раствор синтетического каучука в бензине. Эти растворы добавляют к порошковой смеси из расчета массовой доли добавки 1-1/25 % после испарения бензина. В зарубежной практике в качестве пластификаторов используются парафин, а также полиэтилен-гликоль, вводимые в смесь в процессе размола.

При прессовании в пресс-формах давление ограничивают значением 130 МПа, так как при более высоких давлениях возникает опасность появления расщелинных трещин. Качество прессовок заметно улучшается с повышением выдержки под давлением, особенно для крупногабаритных изделий, однако излишне большие выдержки резко снижают производительность прессования. Твердосплавные заготовки затем подвергаются сушке при 150-200 °С.

### 3.8 Спекание

Твердосплавные заготовки спекаются исключительно в присутствии жидкой фазы. Это обуславливает необходимость применения высоких температур и достаточно длительных выдержек. Спекание заготовок твердых сплавов проводится, как правило, в две стадии.

На первой низкотемпературной стадии процесс спекания ведут в среде водорода при температурах до 900-1150 °С. На этой стадии нагрев до температуры 300 °С ведут медленно во избежание растрескивания изделий; в процессе подъема температуры происходит удаление пластификатора. При 900-1150 °С происходит предварительное упрочнение изделий перед механической обработкой и окончательным спеканием.

Окончательное спекание в присутствии жидкой фазы проводят для вольфрамовых сплавов в среде водорода или вакуумных печах при температурах 1340-1480 °С в течение 3-5 ч. Температура их спекания зависит от содержания в сплаве кобальта (чем его больше, тем ниже температура изотермической выдержки), например, для сплава ВК15 - 1390±10 °С; для сплава ВК8 - 1480±10 °С. Окончательное спекание карбидтитановых, карбонитридтитановых сплавов проводят только в вакууме. Температура спекания сплавов группы ТК практически не зависит от марки твердого сплава и составляет 1450-1480 °С. Сплавы группы ТТК спекают только в вакууме; сплав ТТ17К12 - при 1490 ± 10 °С\ ТТ20К9 - при 1450 °С.

### 4 Пример изготовления твердосплавных пластин в условиях цеха машиностроительного предприятия

Берут готовую смесь сплава ВК8 в количестве 4 кг, которую поставляют комбинаты твердых сплавов, добавляют пластификатор - раствор синтетического каучука в бензине Б70 (примерно 1 л 4 % раствора каучука), перемешивают, сушат, протирают через сито, затем прессуют в изделия необходимой формы. Спекание заготовок производится в печах с молибденовыми нагревателями в защитной среде водорода. Заготовки укладываются в графитовые лодочки, пересыпаются засыпкой из порошка белого электрокорунда.

Предварительное спекание ведут медленно: нагрев до 100 °С проводится ориентировочно со скоростью 100 град/ч, затем до 950 °С - со скоростью 200 град/ч. Нагрев до температуры окончательного спекания с выдержкой 1ч - со скоростью 300-400 град/ч.

В процессе спекания происходит диффузионное растворение карбида вольфрама в частицах твердого кобальта с образованием жидкой фазы, через которую происходит перекристаллизация карбида вольфрама. Жидкая фаза заполняет поры и капилляры и обеспечивает усадку. Объемная усадка при спекании составляет 25-30 %. Допустимая степень пористости спеченного твердого сплава 0,2 %.

После спекания изделия очищают от засыпки в пескоструйных аппаратах. От партии спеченных изделий отбирают необходимое количество образцов для проверки плотности, твердости HRA, макро- и микроструктуры, режущих (или буровых) свойств. Внешнему осмотру и контролю геометрических размеров подвергают каждое изделие. Предел прочности при поперечном изгибе определяют на специально приготовленных образцах, имеющих форму бруска прямоугольного сечения 5x5 мм, длиной 35 мм.

Для характеристики эксплуатационной пригодности твердых сплавов в соответствии с их назначением оценивают режущие (или буровые) свойства. Под режущими свойствами понимают стойкость резца, определяемую продолжительностью в минутах его работы до заданной величины износа при условиях испытания. Сравнивают стойкость испытываемых образцов со стойкостью образцов-эталонов для соответствующей марки твердого сплава. После проведения контроля свойств парши твердых сплавов их упаковывают, к ним прикладывают паспорт. Ниже приводится примерный паспорт на твердосплавные изделия.

Марка сплава	ВК8
Партия №	8370
Форма	0137
Количество	74 шт
Плотность	14,6 г/см <sup>3</sup>
Твёрдость	88,5 HRA
Прочность при изгибе	1630 МПа
Коэффициент стойкости	1,33
Микроструктура	годная

#### 13,5 Микроструктура твердых сплавов

Для исследования микроструктуры твердых сплавов необходимо приготовить микрошлифы. Шлифование образцов проводят на алмазных кругах зернистостью 100 мкм и 40 мкм, полируют на алмазном круге зернистостью 3 мкм, затем проводят травление. Поскольку механическое полирование твердых сплавов - процесс весьма трудоемкий и длительный, применяют электролитическое полирование и травление (таблица 13.1). Электролитом является смесь ортофосфорной и серной кислот в соотношении 6:1.

Таблица 13.1 - Режимы электролитического полирования и травления твердых сплавов

Сплав	Напряжение на ванне, В	Плотность тока, А/см <sup>2</sup>	Время, мин
Электрополирование			
ВК	20	0,5 – 1,8	5
ТК	30	0,1 – 1,5	1 - 2
Электролитическое травление			
ВК	20	0,5	5
ТК	10	1 - 1,2	1 - 2

Толщину кобальтовых прослоек и характер распределения кобальтовой фазы определяют на нетравленном шлифе или после его травления в перексиде водорода.

Микроструктура вольфрамовых сплавов двухфазная: светлые угловатые и шпалообразные кристаллы WC и протравленные темные участки твердого раствора WC в кобальте (рисунок 13.2).



Рисунок 13.2- Микроструктура твердого сплава BK8

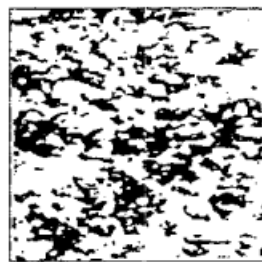


Рисунок 13.3 - Микроструктура твердого сплава T15K6

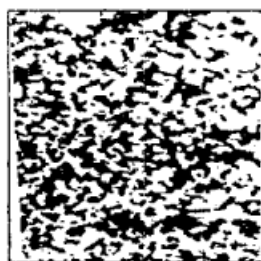


Рисунок 13.4 - Микроструктура твердого сплава KHT-16

Светлые зерна очень твердые, в режущем инструменте они служат элементарными режущими частицами. Твердый раствор WC в кобальте - менее твердый, но более вязкий, служит связкой (цементом).

Микроструктура титановольфрамовых сплавов T5K10, T15K6, T14K8, T5K12 - трехфазная: WC, (Ti, W)C и кобальтовая фаза:

а) светлые зерна карбида вольфрама WC;

б) темная фаза располагается вокруг светлых зерен WC, состоит из кобальта, в котором растворено некоторое количество карбидов вольфрама и карбидов титана;

в) серая титановая фаза твердого раствора карбида вольфрама в карбиде титана (в карбиде титана может раствориться до 7 % карбида вольфрама), (рисунок 13.3).

Сплав T30K4 - двухфазный.

Структура сплавов ТК идентична структуре сплавов группы ТК с той лишь разницей, что в состав сложного карбида входит также карбид тантала. Зёрна тройного карбида также имеют округлую форму, а цементирующая кобальтовая фаза представляет собой твердый раствор карбидов в кобальте.

Микроструктура сплава KHT-16 приведена на рисунке 13.4.

## 6 Пайка пластин из твердых сплавов

Для крепления твердосплавных пластин к стальным державкам инструмента или деталям конструкций применяют пайку. В качестве припоя для указанных случаев используют медь, латунь, бронзу (приложение Г). Во избежание окисления изделия нагревают в защитной атмосфере. Материал припоя в виде фольги помещается в стыке между торцами соединяемых заготовок. Быстрый нагрев шва и прилегающих к нему участков до температуры, лишь немного превышающей температуру расплавления припоя, с одновременным приложением небольшого внешнего давления, и последующее быстрое охлаждение позволяют избежать растекания припоя и получить хорошую прочность соединения.

Наиболее экономичными являются способы пайки с электроконтактным нагревом (на машинах контактной сварки) и с индукционным нагревом (на установках ТВЧ), (приложение Д). Для предохранения поверхности, на которую напаивается твердосплавная пластина, рекомендуется применять флюсы.

## 7 Литые и наплавочные твердые сплавы

Эти твердые сплавы применяют для изготовления, защиты и восстановления изношенных деталей машин и механизмов, подвергающихся интенсивному абразивному или эрозионному износу, особенно в металлургии, нефтяной, угольной промышленности и т.п.

В настоящее время производятся следующие литые твердые сплавы:

- а) типа сормайт на основе железа, содержащие 1,5-5,5 % С; 27,0- 32,0 % Cr; 1,0-4,0 % Si; 1,0-2,0 % Mn; 1,0-5,0 % Ni; 0,1-1,0 % Mo и 0,2-0,4 % W;
- б) типа стеллита на основе кобальта, содержащие 0,8-3,0 % С; 25,0-35,0 % Cr; 0,5-3,0 % Si; до 2,5 % Mn; 4,0-18,0 % W; 2,0-2,5 % Ni; 0,1-0,3 % V; 0,1-0,3 % B и до 3,0 % Fe;
- в) типа колмоной на основе никеля, содержащие 0,5-1,0 % С; 15,0-40,0 % Cr; 2,0-4,0 % Si; 1,5-5,0 % B и до 5,0 % Fe.

Точным литьем из них получают малогабаритные износостойкие фасонные детали.

Для использования в качестве наплавки такие сплавы выпускают в виде литых прутков диаметром 3-12 мм и длиной 300-500 мм (исходные материалы плавят в индукционных тигельных печах и расплав заливают в формы) или в виде гранулированных порошков с размерами частиц 0,02-1,40 мм (литье с распылением и последующим дроблением или размолом получаемого порошка).

Защиту и восстановление изношенных деталей осуществляют любым из видов ручной дуговой, автоматической дуговой под слоем флюса, вибродуговой, электрошлаковой дуговой, электроискровой и ацетилено-кислород-люй наплавкой, плазменным напылением.

Износостойкими наплавочными материалами также являются литые или спеченные карбиды, выпускаемые в виде трубчатых электродов, зёрен (например, литые карбиды вольфрама - смесь WC и W<sub>2</sub>C - релит) и спеченных прутков, стержней, лент; порошкообразные смеси металлов, ферросплавов с графитом, карбидами, боридами и другими элементами и химическими соединениями (сталинит, смеси KBX, BX и др.), засыпаемые или запрессовываемые в стальную оболочку, а также прокатываемые в ленту. Например, состав порошковой смеси KBX: 60-75 % феррохрома, 5-6 % карбида хрома, 5-6 % бориды хрома, 6-7 % графита, остальное - порошок железа, флюс, жидкое стекло.

Слои, образующиеся при наплавке, имеют структуру карбидного класса и обладают высокими механическими и эксплуатационными свойствами: твердость более 50 HRC, высокая износостойкость.

## 8 Порядок выполнения работы

- 8.1 Ознакомиться с классификацией твердых сплавов и процессом их изготовления.
- 8.2 Рассмотреть микроструктуру твердых сплавов.
- 8.3 Измерить твердость HRA твердосплавных пластин.
- 8.4 Определить, согласно индивидуальному заданию (приложение А), требуемую марку сплава, вид инструмента, материал державки, способ пайки (приложения Б-Д).

## 9 Содержание отчёта

- 9.1 Цель работы.
- 9.2 Краткие сведения о классификации, маркировке, свойствах и применении твердых сплавов.
- 9.3 Схема микроструктуры сплава с указанием фаз,
- 9.4 Техпроцесс получения твердосплавных изделий.
- 9.5 Ответ на индивидуальное задание.
- 9.6 Выводы.

## 10 Контрольные вопросы

- 10.1 Как подразделяются твердые сплавы?
- 10.2 Каковы характерные особенности твердых сплавов?
- 10.3 Состав сплавов BK8, T15K6, KИТ-16.
- 10.4 От чего зависят прочность и твердость твердых сплавов?
- 10.5 Какие твердые сплавы используют для чернового точения чугуна?
- 11.6 Какие твердые сплавы используют для точения стали?
- 11.7 Что такое релит и где он применяется?