# Лабораторная работа №7

## ПОРОШКОВЫЕ ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ

**Цель работы:** изучить маркировку, области применения и влияние легирующих элементов на характеристики инструментальных сплавов.

**Приборы и материалы**: образцы инструментальных сплавов, металлографический микроскоп, травитель для инструментальных сплавов, фильтровальная бумага.

### Теоретическая часть.

Разработанные в настоящее время инструментальные материалы, в определенной степени отвечающие механическим, технологическим и эксплуатационным требованиям, подразделяются на следующие группы: углеродистые и низколегированные инструментальные стали; средне и высоколегированные штамповые стал; быстрорежущие стали; твердые сплавы (металлокерамика); минералокерамика и керметы; синтетические и природные алмазы; синтетические композиции из нитрида бора. Однако не все из этих перечисленных материалов изготавливаются методами порошковой металлургии. К порошковым инструментальным сплавам относятся твердые сплавы, минералокерамика и керметы, а также некоторые штамповые и быстрорежущие стали.

Твердые (металлокерамические) сплавы — это инструментальные сплавы, состоящие из карбидов вольфрама, титана и тантала, связанные кобальтом. Это не стали, так как в них нет железа. Свое название они получили из-за высокой твердости карбидов и материала в целом и по первоначальной технологии получения на основе расплавления компонентов с последующей отливкой. В дальнейшем технологию заменили на другую (порошковую металлургию), но название «сплав» сохранилось.

Различают три основные группы твердых сплавов: однокарбид-ные, вольфрамокобальтовые (группа ВК), длительное время называемые «победитами», двухкарбидные (группа ТК), или титано-вольфрамовые, и трехкарбидные, вольфрамотитанотантало-кобальтовые (группаТТК). Карбиды, т.е. химические соединения с углеродом WC, TiC, TaC, придают твердость, износо- и теплостойкость сплаву, но повышают хрупкость, а кобальт уменьшает твердость, износостойкость и допускаемую температуру резания, однако делает сплав более прочным и противостоящим ударным нагрузкам. Твердость этих сплавов выше твердости быстрорежущей стали на 11...12% и составляет по шкале А Роквелла 87...92 единицы. Теплостойкость однокарбидных сплавов равна 900... 927°C, двухкарбидных – 1000...1027 °C, трехкарбидных – 750 °C. Кратковременно двухкарбидные сплавы могут работать при нагреве до 1250 °C и обрабатывать даже закаленные стали.

Предел прочности при сжатии у твердых сплавов примерно того же уровня, что и у быстрорежущей стали, но на изгиб они работают хуже в 1,5...2 раза. Однокарбидные сплавы менее хрупки, чем двухкарбидные, но зато двухкарбидные меньше склонны к наростообразованию, что позволяет обрабатывать материалы, дающие сливную стружку.

Наиболее распространенными марками твердых сплавов группы ВК являются ВК3, ВК3М, ВК4, ВК4В, ВК6, ВК6-ОМ, ВК6М, ВК6В, ВК8, ВК8В, ВК8К, ВК10, ВК10М, ВК10-ОМ.

Сплав ВК3, например, содержит 3% Со и 97% карбидов вольфрама (WC). Индексы в конце марок сплавов указывают на зернистость порошков вольфрама:

B – крупнозернистые с величиной зерна 3...5 мкм; M – мелкозернистые (1,5 мкм); OM – особомелкозернистые (менее 1 мкм); При отсутствии индекса – 1...2 мкм.

Эта группа обладает значительной вязкостью и высокой износостойкостью при

обработке хрупких материалов, дающих стружку надлома (чугуны, цветные металлы и их сплавы, пластмассы и др.). Сплавы с малым содержанием кобальта ВК2 и ВК3, ВК3М предназна-чены для чистовых работ, ВК6, ВК8 — для черновых работ при переменных нагрузках, мелкозернистые сплавы ВК3М, ВК6М — для обработки хрупких материалов значительной твердости (отбеленных чугунов, бронзы, стекла, фарфора), так как хорошо точатся и имеют острую кромку.

Сплавы группы ТК характеризуются меньшим сопротивлением изгибу, но высокой износостойкостью при обработке вязких материа-лов, дающих при обработке сливную стружку. Например, чистовое и получистовое точение сталей, нарезание резьб, зенкерование, чистовое фрезерование рекомендуется проводить инструментами из материала Т15К6, содержащего 15% ТіС, 6% Со и 79% WC. При понижении в твердом сплаве содержания карбидов титана и повышении в нем кобальта снижается твердость инструментального материала, но возрастает сопротивление изгибу (о<sub>н</sub>).

В связи с этим сплавы марок Т5К10 могут работать с ударными нагрузками, а Т14К8 – при черновом точении с переменными нагрузками, а также строгании и фрезеровании.

Сплавы группы ТК имеют низкую теплопроводность. Это приводит к образованию трещин при быстром нагреве. Следовательно, при заточке инструмент следует обильно охлаждать.

Сплавы группы ТТК по своим физико-механическим свойствам являются промежуточными между вольфрамовыми и титановольфра-мовыми сплавами. Они имеют более высокую прочность и вязкость, чем сплавы группы ТК, но уступают им по твердости и теплостойко-сти. Благодаря высокой износостойкости и эксплуатационной прочности ударным нагрузкам и вибрациям сплавы группы ТТК эф-фективны при черновой обработке сталей и сплавов. Они широко применяются в тяжелом машиностроении.

Нашли применение следующие высокоэффективные марки твердого сплава группы ТТК: ТТ8К6, ТТ21К9 и ТТ20К9А. Стойкость сплава ТТ8К6 в 2...2,5 раза выше стойкости сплава ВК6М при чистовой и получистовой обработке легированных сталей. Сплав ТТ21К9 обладает в 3 раза большей стойкостью по сравнению со сплавом ТТ7К9 при черновом и получистовом фрезеровании легированных сталей; стойкость сплава ТТ20К9А в 2...2,5 раза превышает стойкость сплава Т14К8 при фрезеровании сталей.

Пример расшифровки сплава ТТ8К6 – 6% Со, 8% карбидов титана и тантала ТiC+ТaC и 76% карбидов вольфрама WC.

Теплостойкость сплавов группы ТТК составляет 800°C.

Безфольфрамовые твердые сплавы (БВТС) – это сплавы на основе карбида (TiC) и карбонитрида (TiN) титана, связанных ни-келемолибденовой связкой (Ni+Mo).

Разработка БВТС вызвана возрастающим дефицитом на вольфрамовую руду и кобальт, используемых в производстве обычных твердых сплавов. Безвольфрамовые твердые сплавы по сравнению с вольфрамовыми сплавами имеют меньшую прочность на изгиб, но отличаются повышенной температуростойкостью (до 1000°C) и низ-кой схватываемостью с обрабатываемыми материалами. Благодаря высокой плотности БВТС при заточке режущих инструментов можно получить острую кромку, что особенно ценно для инструмента, предназначенного для чистовой обработки. Инструменты из этих сплавов работают по сталям практически без наростообразования. Эти свойства и предопределили область их применения – чистовое и получистовое точение и фрезерование конструкционных и малоуглеродистых сталей, чугунов и некоторых цветных металлов. Сплавы БВТС обеспечивают меньшую шероховатость поверхности по сравнению с твердым сплавом, что шлифование точением и возможность заменять способствует производительности труда в 2...2,5 раза. Износостойкость БВТС в 1,2...1,5 раза выше износостой-кости сплавов группы ТК.

БВТС изготавливаются следующих марок: ТМ1; ТМ3; КТН12; КТН16; КТН20; ТН20; КХН10; КХН15 и др.

Наибольшее распространение из них получили КТН16 (ТіN-74%; Ni-19,5%; Мо-

6,5%) и TH20 (TiC-79%; Ni-15%; Mo-6%).

Минералокерамические материалы (ГОСТ 26630–85) обладают высокой твердостью (92...94 HRA) и теплостойкостью (1100...1400°С), а также износостойкостью. Они делятся на два основных вида: оксидную белую керамику, содержащую до 99,7 % окиси алюминия ( $Al_2O_3$ ) и оксидно-карбидную черную керамику, состоящую из окиси алюми-ния и одинарного карбида титана ( $Al_2O_3$ +TiC) или сложных карбидов титана, вольфрама, молибдена (до 40 %).

Керамика первого вида, например марки ЦМ 332, ВО13, имеет низкую прочность на изгиб 300...400 МПа и используется на получистовых и чистовых операциях нетермообработанных сталей, серых чугунов с высокими скоростями резания (до 800...1000 м/мин) на виброустойчивом оборудовании без охлаждения. Недостатком оксидной минералокерамики является ее низкая прочность и хрупкость. Ей не рекомендуется обрабатывать цветные металлы и их сплавы.

Повышенной (примерно в два раза) прочностью на изгиб (до 600...700 МПа) обладают керамические материалы второго вида, например ВОК-60, ВОК-63, В-3 и др. Эти материалы выпускаются в виде пластин, которые крепятся к корпусам различных инструментов.

Применяется также оксидно-нитридная керамика (картинит), например марки OHT-20 (состоит из ( $Al_2O_3$ +TiN), и керамика на основе нитрида кремния, например марки силинит-Р твердостью 94...96HRA, прочностью на изгиб 650...750 МПа (цвет коричневый). Стойкость инструмента с минералокерамикой в 5...10 раз выше стойкости инструмента, оснащенного сплавами групп ВК и ТК, при увеличении производительности в 2 раза.

Оксидно-карбидная (смешанная, черная) керамика (ВОК-60, ВОК-63, В-3, картинит ОНТ-20) предназначена для чистовой, получистовой и прерывистой обработки ковких, высокопрочных, отбеленных, модифицированных чугунов, сталей, закаленных до 30... 55HRСэ и 56...65HRСэ. Кроме того, керамика В-3 и ОНТ-20 рекомендуется для обработки цветных металлов на основе меди.

*Легированные инструментальные стали.* Они содержат один или несколько специальных легирующих элементов: хром (X), вольфрам (B), ванадий  $(\Phi)$ , молибден (M), кремний (C), марганец  $(\Gamma)$ .

*Быстрорежущие стали.* Количество вольфрама, который входит в состав многих марок быстрорежущих сталей, колеблется от 5.5 до 19.5%, углерода — от 0.6 до 1.55%, хрома — от 3.0 до 4.6%.

Вольфрам, взаимодействуя с углеродом, образует карбиды воль-фрама, благодаря этому сталь приобретает высокую твердость, температуростойкость и износостойкость, при этом теплопроводность стали несколько уменьшается.

Хром — обязательный легирующий элемент быстрорежущей стали, обеспечивает повышенную ее закаливаемость и прокаливаемость. Он способствует получению однородной мартенситной структуры одинаковой твердости по всему поперечному сечению инструмента. Его количество во всех вольфрамсодержащих быстрорежущих сталях содержится около 4%, поэтому он не отображается в маркировке стали.

Ванадий повышает твердость, сопротивление пластической деформации термообработки теплостойкость. В процессе ванадий способствует образованию мелкозернистой мартенситной структуры и несколько снижает хрупкость. Поэтому быстрорежущие стали успешно работают при обработке материалов повышенной прочности и твердости, хотя с ограниченными скоростями резания. Недостатком ванадиевых быстрорежущих сталей является склонность к появлению прижогов при шлифовании и заточке.

Молибден повышает прочность и вязкость быстрорежущей стали, что позволяет уменьшить содержание в ней дефицитного вольфрама (1% W=1,5% Mo). Присутствие молибдена способствует повышению теплопроводных свойств сталей и тем самым снижению температуры лезвий инструментов. Его содержание в быстрорежущих сталях не

превышает 5%, так как сталь становится склонной к обезуглероживанию и окислению, что требует тщательного предохранения от прижогов при заточке.

Кобальт повышает теплостойкость, твердость, шлифуемость и теплопроводность быстрорежущей стали, снижая вместе с тем ее прочность и вязкость, усиливая обезуглероживание при термообработке.

Наиболее распространенные быстрорежущие стали – P6M5, P6M5K5, P9, P12, P18, P9M4K8, P8M3, P9Ф5, P12Ф3, P14Ф4, P18Ф2 и др.

Порошковые быстрорежущие стали характеризуются повышенной шлифуемостью и пластичностью при холодной и горячей деформации, обладают повышенной (на 500... 700МПа) прочностью при изгибе и в 1,5...2,5 раза более высокой стойкостью по сравнению с быстрорежущими сталями аналогичного состава обычного производства. Высокая прочность сталей при изгибе позволяет работать на повышенных подачах с сохранением заданных характеристик.

Порошковые быстрорежущие стали P9M4K8-МП и P10M6K8-МП обладают повышенной красностойкостью, хорошо шлифуются; предназначены для обработки материалов повышенной твердости до 38...42 HRСэ и нашли применение в инструментах для станков с ЧПУ. Стойкость режущих инструментов из этих сталей в 1,5...2 раза выше, чем из сталей P6M5 и P18.

Порошковые быстрорежущие стали Р6М5Ф3-МП, Р6М5К5-МП, Р6М5Ф2К8-МП и 13Р6М5Ф3-МП при обработке труднообрабатываемых материалов обеспечивают по сравнению со сталями обычного производства аналогичного состава повышение стойкости до 4 раз, хорошо подаются шлифованию. Их применяют для изготовления раз-личных, в том числе и крупногабаритных, инструментов сложной формы с большим объемом шлифования (зуборезный инструмент, червячные фрезы, протяжки, пуансоны холодного выдавливания и т.д.).

В настоящее время имеются отдельные инструментальные сплавы в области аддитивного производства: 1.2343, 1.2367 и 1.2714.

Сплав 1.2343 (российский аналог 4X5MФС) применяется для производства поковок, различных деталей общего машиностроения; пресс-форм для литья под давлением алюминиевых, а также цинковых и магниевых сплавов; мелких молотовых штампов; крупных (толщиной или диаметром более 200 мм) молотовых и прессовых вставок при горячем деформировании конструкционных сталей и цветных сплавов в условиях крупносерийного массового производства. Химический состав сплава указан в табл. 1.

Таблица 1 Химический состав инструментальных сплавов, масс.%

Марка сплава	С	Mn	Si	Cr	Ni	W	Mo	V	P	S
1.2343	0,32-	0,2-	0,9-	4,5-	0,35		1,2-	0,3-	0,03	0,03
(4X5MΦC)	0,40	0,5	1,2	5,5	0,33	_	1,5	0,5	0,03	0,03
1.2367	0,27-	0,2-	0,1-	2,8-	0,40		2,5-	0,4-	0,03	0,03
(3X3M3Φ)	0,34	0,5	0,4	3,5	0,40	_	3,0	0,6	0,03	0,03
1.2714	0,5-	0,5-	0,35	0,5-	1,4-	0,4-			0,03	0,03
(5XHB)	0,6	0,8	0,33	0,8	1,8	0,6	_	_	0,03	0,03

Сталь 4Х5МФС (ближайший аналог 4X5MΦ1C) благодаря комплексному легированию хромом, ванадием, молибденом и кремнием, относятся к группе сталей повышенной вязкости средней теплостойкости. Сталь **4**Χ5ΜΦC сохраняет удовлетворительный уровень прочности при длительном нагреве не выше 590°С. Она характеризуется высокотемпературной вязкостью – свойством, которое позволяет избежать горячего растрескивания, т.е. трещин, возникающих вследствие напряжений, которые в первую очередь развиваются в инструментах с глубокими полостями на внутренних углах и на ребрах, и распространяются в глубину (в противоположность разгарной сетки).

Присутствие хрома и ванадия обеспечивают хорошую окалиностойкость износостойкость. Эта сталь предназначена для инструментов высокоскоростной штамповки при резком изменении температур процесса. Круги, квадраты и поковки из стали 4Х5МФС могут использоваться для изготовления пресс-форм литья под давлением, испытывающих периодический нагрев и охлаждение поверхности и действие расплавленного металла. Изделия из стали 4Х5МФС обладают высокой стойкостью к коррозии, что обусловлено повышенным содержанием в стали 4Х5МФС хрома, который увеличивает защитные свойства поверхностных оксидных пленок, препятствующих окислению металла, легированием стали кремнием, который придает стабильность структуры решетки за счет снижения диффузионной подвижности внешних окислов. Легирование молибденом прочности повышению предела стали, а также поверхностного слоя в сочетании с его азотированием. Повышенные вязкость, прочность и антикоррозионные свойства стали обуславливает популярность применения материала 4X5MФС в крупносерийном массовом производстве.

Сталь 4X5МФС склонна к вторичному твердению. Максимум твердости (50HRC) достигается при температуре отпуска 500°С. Вторичное твердение возникает за счет выделения карбидов легирующих элементов. Наиболее карбидообразующими элементами являются ванадий, молибден и хром. Вторичное твердение карбидным упрочнением сопряжено как с повышением прочностных характеристик стали, так и с понижением ударной вязкости.

Сталь *1.2367* (российские аналоги 4X5M3Ф, 3X3M3Ф). Повышенное содержание молибдена приводит к увеличению её вязкости и повышения прокаливаемости, но снижает окалиностойкость. Сталь относятся к группе сталей повышенной вязкости и повышенной теплостойкости. Химический состав стали приведен в табл. 1.

Из этих сплавов изготавливают инструмент горячего деформирования на кривошипных прессах и горизонтально-ковочных машинах, подвергающийся в процессе работы интенсивному охлаждению (как правило, для мелкого инструмента), пресс-формы литья под давлением медных сплавов, ножи для горячей резки, охлаждаемые водой.

Сплав 1.2714 (российские аналоги 5XHB, 5XHM). Эти стали применяются: для изготовления поковок деталей общего машиностроения; молотовых штампов паровоздушных и пневматических молотов массой падающих частей свыше 3 т; прессовых штампов и штампов машинной скоростной штамповки при горячем деформировании легких цветных сплавов; блоков матриц для вставок горизонтальных ковочных машин; цельнокатаных колец различного назначения. Сталь 5XHB по стойкости равноценна стали 5XHM, но имеет меньшую прокаливаемость, так как вольфрам повышает ее слабее, чем молибден.

#### Практическая часть

- 1. Познакомиться с химическим составом, свойствами, термической обработкой и применением инструментальных сплавов.
- 2. Получить у преподавателя образцы инструментальных сплавов для изучения микроструктуры.
  - 3. Сфотографировать полученные микроструктуры.
- 4. Оформить отчет с описанием фаз, присутствующих в микроструктурах инструментальных сплавов.

# Контрольные вопросы

- 1. Какие сплавы относятся к инструментальным?
- 2. На какие группы подразделяются твердые сплавы?
- 3. Дайте характеристику однокарбидным сплавам.
- 4. Отразите особенности двухкарбидных сплавов.
- 5. Какими свойствами обладают вольфрамокобальтовые сплавы?
- 6. Перечислите достоинства и область применения безвольфрамовых твердых сплавов.
- 7. Перечислите виды минералокерамических твердых материалов. Какие их особенности?
  - 8. Какие стали изготавливаются методами порошковой металлургии?
  - 9. В чем особенность быстрорежущих сталей?
- 10. Какие области применения имеют штамповые порошковые материалы? Охарактеризуйте один из них.