

Материалы для режущих инструментов

Требования к материалам режущих инструментов. Режущая часть (режущий клан) инструментов при работе подвергается истиранию, тепловым воздействиям и силовым нагрузкам, осуществляя непрерывное деформирование срезаемого слоя. Эти очень тяжелые условия работы определяют требования к материалам режущей части. Пригодность подобных материалов определяется их твердостью, теплостойкостью, механической прочностью, износостойкостью, технологичностью и стоимостью.

Понятно, что внедрение одного материалу (клина) в другой (заготовку) возможно лишь при преобладающей твердости первого. Из табл. 1 видно, что алмаз и кубический нитрид бора имеют наиболее высокую твердость, а твердые сплавы и минералокерамика значительно тверже закаленных инструментальных сталей. Твердость большинства конструкционных материалов ниже твердости соответствующего инструмента. Однако под воздействием высокой температуры при резании твердость многих материалов снижается и, в частности, твердость инструмента может оказаться недостаточной для осуществления резания. Свойство материала сохранять необходимую твердость при высокой температуре называется теплостойкостью, которая характеризуется критической температурой. Инструмент с температурой выше критической эффективно работать не будет (см. табл. 1). Очевидно, что эта температура определяет допустимую скорость резания.

Таблица 1

Материалы	Марка	Микротвердость, МПа	Теплостойкость, К	Предел прочности, МПа		Ударная вязкость, Дж/м ² ·10 ⁻⁶	Коэффициент относительной скорости резания
				на изгиб	на сжатие		
Твердые сплавы	T15K6 BK8	27500 15700	1176 1123	1130 1570	3900 4410	2,94 5,88	4 3
Быстрорежущая сталь	P18	13200	888	3530	3530	9,81	1
Минералокерамика	ЦМ332	22 500	1473	390	1470	0,98	5-7
Кубический нитрид бора	Эльбор	90700	1573	785	--	--	6-8
Цементированная сталь	ХВГ	11800	503	3430	3430	9,81	0,6

углеродистая сталь	У10Л	12800	493	2940	2940	9,81	0,4
алмазы	А	98 700	973	290	1960	--	1,5

Важность механической прочности для инструментальных материалов обусловлена особенностью нагружения режущих зубьев: консольным расположением (закреплением) зуба, возможностью ударных нагрузок, работой режущих элементов на изгиб, растяжение и сжатие. Поэтому пределы прочности на изгиб и сжатие и ударная вязкость являются основными показателями прочности инструментальных материалов.

Способность противостоять изнашиванию при трении также является важным свойством материала инструмента, так как при работе он подвергается истиранию в местах контакта с заготовкой. Износостойкость характеризуется работой трения, отнесенной к величине стертой массы материала.

Технологичность инструментального материала, т.е. степень его соответствия технологии термической обработки, обработки давлением, механической обработки и др., является свойством, определяющим возможность использования его в конструкции режущего инструмента. Так, материалы с плохой шлифуемостью будут неудобны при изготовлении и переточке инструмента; слишком узкий температурный интервал нагрева материала при термообработке может привести к браку и т. п. Технологичность материала может оцениваться и такими его свойствами, как свариваемость, припаяемость и др.

Понятно, что материал режущих инструментов не должен состоять лишь из дорогих и дефицитных элементов, поскольку это будет сказываться на его стоимости и широте применения.

Инструментальные стали. Стали применяют достаточно широко для изготовления корпусной и крепежно-присоединительной частей режущих инструментов, а во многих случаях и их режущей части. Если инструмент работает при низких скоростях резания и не нагревается свыше 200-220 °С, то его можно изготавливать из углеродистой инструментальной стали марок У7А, У8А, У10А, У13А и др. Обычно режущий инструмент для таких слесарных работ, как опилование, шабрение, рубка, нарезание резьбы (т. е. напильники, шаберы, зубила, метчики, плашки и др.), делается из этих сталей и после термической обработки может иметь высокую твердость (до *HRC* 64). Закалка (охлаждение) сталей ведется в воде. Однако и в этом случае ввиду высокой критической скорости закалки эти стали прокаливаются на небольшую глубину, и сердцевина инструмента остается

вязкой. Для снятия внутренних напряжений применяют отпуск при температуре 120-150 °С. Химический состав и марки инструментальных углеродистых сталей приведены в ГОСТ 1435-74.

Для повышения тех или иных свойств углеродистых инструментальных сталей в их состав вводят так называемые легирующие элементы, обозначаемые соответствующими буквами в марках стали. Так, никель (Н) после соответствующей термообработки стали сообщает ей тонкую структуру, определяющую высокую пластичность и вязкость, увеличивает прокаливаемость. Марганец (Г) увеличивает прокаливаемость и прочность стали, ускоряет процесс цементации и повышает износостойкость. Хром (Х) упрочняет сталь в результате его растворения в железной основе и образования карбидов. Вольфрам (В) повышает твердость путем образования сложных карбидов и сохраняет твердость сплава при отпуске, уменьшает его склонность к росту зерна при нагреве, повышает износостойкость и теплостойкость. Ванадий (Ф) резко уменьшает рост зерна при нагреве, увеличивает устойчивость против снижения твердости при отпуске, улучшает свариваемость, но ухудшает шлифуемость материала. Молибден (М) уменьшает склонность стали к отпускной хрупкости, повышает прокаливаемость, придает повышенную прочность, пластичность и вязкость. Кремний (С) улучшает прокаливаемость стали, снижает ее чувствительность к перегреву, равномернее распределяет карбиды.

Марки и химический состав инструментальных легированных сталей определены ГОСТ 5950—73. Теплостойкость их не превышает 250-300 °С, что позволяет несколько увеличить скорость резания (см. табл. I) инструментами из этих материалов. Низколегированные стали Х, В2Ф, 13Х и др. применяют для слесарных инструментов (плашек, разверток, метчиков, шаберов, зубил и др.). Высоколегированные стали ХВСГ, 9ХС, ХВГ и др. служат для изготовления разверток, фасонных резцов, сверл малого диаметра, концевых фрез, протяжек, метчиков и других инструментов, работающих при скоростях резания до 0,33 м/с. Особую группу составляют быстрорежущие стали, имеющие содержание вольфрама от 6 до 18%, ГОСТ 19265 — 73 предусматривает более десяти марок этих сталей и их химический состав. Марки образуются в зависимости от содержания кобальта (К), молибдена (М), ванадия (Ф) и вольфрама (Р), причем все эти стали имеют 3,0—4,6% хрома и 0,7—1,3% углерода. Стали Р18, Р12, Р9 относятся к вольфрамовым быстрорежущим, Р6М3 и Р6М5 — к

вольфрамомолибденовым, P18Ф2, P14Ф4, P9Ф5 — к вольфрамованадиевым, P9K5 и P9K10 — к вольфрамокобальтовым, P18K5Ф2, P10K5Ф5 и др.— к сложнoleгированным быстрорежущим.

Быстрорежущие стали отличаются высокой теплостойкостью, достигающей у лучших марок до 650°С. Они пригодны для режущей части инструментов, работающих при скоростях резания 0,8 — 1,0 м/с. Так, из стали нормальной производительности P9, P18, P6M5 делают режущую часть автоматных и фасонных резцов, сверл, зенкеров, фрез, разверток, зуборезного инструмента, а из быстрорежущих сталей повышенной производительности P18Ф2, P9Ф5, P14Ф4-И др. — аналогичные инструменты для обработки высокопрочных и труднообрабатываемых материалов. Ввиду дефицитности вольфрама инструмент из этих сталей делают во многих случаях составным, т. е. режущую часть из быстрорежущей стали, а корпусную или крепежно-присоединительную — из конструкционной стали. Инструмент после термообработки имеет высокую твердость режущей части (до *HR C* 64 и выше).

Быстрорежущие стали появились почти сто лет назад. В СССР в качестве основных использовались марки PФ1 или PФ2, которые затем были заменены приведенными выше марками сталей, имеющими улучшенные качества.

Создаются новые марки быстрорежущих сталей с теплостойкостью более 700 °С, а также марки с малым содержанием вольфрама.

Твердые сплавы. Отечественная промышленность выпускает свыше 30 марок твердых сплавов (ГОСТ 3882 — 74), в том числе около 20 марок для изготовления режущих частей инструментов. Эти материалы представляют собой сплавы карбидов тугоплавких металлов с кобальтом, являющимся своеобразной связкой. Их получают методом прессования шихты и последующего спекания полученных элементов режущего инструмента (пластин, зубьев, коронок и т. п.).

Металлокерамические вольфрамовые твердые сплавы разделяют на одно-, двух- и трех карбидные. Однокарбидные сплавы производятся на базе карбида вольфрама и называются вольфрамокобальтовыми (группа ВК). В марках ВК2, ВК4, ВК6, ВК8 цифра показывает процентное содержание кобальта (остальное — карбиды вольфрама). Сплавы этой группы наиболее прочные. С увеличением содержания кобальта повышается сопротивление сплава ударным нагрузкам, но уменьшается его износостойкость. Применяются для обработки чугуна, цветных металлов и их сплавов и неметаллических материалов точением, фрезерованием

и т. п. Предельная теплостойкость этих материалов определяется началом интенсивного окисления карбидов, т.е. с температурой 950—1000°С.

Двухкарбидные твердые сплавы помимо компонентов группы ВК содержат карбиды титана и называются титановольфрамокобальтовые (группа ТВК или ТК). В марках Т5КЮ, Т14К8, Т15К6, Т30К4 цифры после буквы Т показывают процентное содержание карбидов титана, после К — содержание металлического кобальта (остальное — карбиды вольфрама). Сплавы этой группы более износостойки и менее прочны, чем сплавы группы ВК. Применяются при обработке углеродистых и легированных конструкционных сталей точением, фрезерованием и т. п. Предельная теплостойкость этих материалов определяется началом интенсивного окисления карбидов, т. е. температурой 1100 -1150 °С. Трехкарбидные твердые сплавы по сравнению со сплавами группы ТВК включают еще и карбиды тантала и называются титанотанталовольфрамокобальтовыми (группа ТТК). В марках ТТ7К12, ТТ8К6, ТТ20К9 цифра перед К показывает суммарное процентное содержание карбидов титана и тантала, после К — содержание кобальта (остальное — карбиды вольфрама). Сплавы этой группы имеют высокую прочность и применяются при обработке жаропрочных сталей и сплавов, титановых сплавов.

В нашей стране и за рубежом ведутся работы по использованию особо мелкого зерна карбидов вольфрама в производстве вольфрамокобальтовых и титановольфрамокобальтовых сплавов. Особомелкозернистая структура (ОМ) способствует повышению износостойкости материала без существенного снижения его прочности. Сплавы ВК6-ОМ, ВК10-ОМ, ВК15-ОМ имеют основную массу зерен размером менее 1 мкм. ГОСТ 3882 — 74 предусматривает применение мелкозернистых (М) вольфрамокобальтовых сплавов ВК3-М, ВК6-М и др.

Имеются безвольфрамовые твердые сплавы ТМ1, ТМ3, ТН-30, КНТ-16 и др. на основе карбидов или других соединений титана с добавками молибдена, никеля и других тугоплавких металлов. Например, сплав ТМ1 имеет износостойкость при обработке стали 50 в 2 раза выше, чем сплав Т30К4, сплав “Монитикар” на базе тех же компонентов имеет значительные перспективы применения.

Каждая марка твердого сплава может эффективно применяться лишь в конкретных условиях. Наша промышленность производит твердые сплавы для всех условий обработки. В табл. 2 приведены некоторые твердые сплавы,

удовлетворяющие областям применения, разработанным международной организацией по стандартизации (ИСО). Сплавы группы Р предназначены для обработки материалов, дающих сливную стружку (в основном сталей), сплавы группы М — для обработки нержавеющей, жаропрочных сталей и титановых сплавов. Сплавы группы К применяют при обработке малопластичных материалов, цветных сплавов, пластмасс, древесины, чугуна.

Таблица 2

Группа сплавов по ИСО	Основная подгруппа применения по ИСО	Марка сплава	Группа сплавов по ИСО	Основная подгруппа применения по ИСО	Марка сплава	Группа сплавов по ИСО	Основная подгруппа применения по ИСО	Марка сплава
Р	P0M	T3OK4	М	M01	BK6-OM	К	K01	BK3-- М
	P10	T 15 K6		M05	BK6-M		K05	BK6- OM
	P20	T14K3		M10	TT8K6		K10	TT8K6
	P25	TT20K9		M20	TT10K8Б		K15	BK6-M
	P30	T5K10		M30	B K 10- OM		K20	BK6
		TT10K8- Б			BK-8			BK4
	P40	T5KI2B		M40	TT7K12		K 30	BK4
	P50	TT7K12			BK 10- OM		K40	BK8
		TT7K12						BK15

Применение твердых сплавов расширяется и составляет для резцов 95%, для фрез 4,5%, для осевого инструмента около 1 % общего выпуска этих инструментов. В ряде случаев режущие пластины сплавов покрывают тончайшим (5 — 10 мкм) слоем износостойкого материала (карбида, нитрида к карбонитрида титана и др.), что повышает стойкость пластин в 2—3 раза.

Минералокерамика, композиты и алмаз. Поиски инструментальных материалов, не содержащих дефицитных элементов, привели к созданию в начале 50-х гг. минералокерамических режущих пластин на основе окиси алюминия. МХТИ им. Менделеева и ВНИИАШ были разработаны, а ВНИИ и ЦНИИТмашем испытаны минералокерамики марок ЦВ-14 и ЦМ-332. Материал ЦМ-332 широко применялся для чистовых и финишных операций при обработке стальных и чугуновых заготовок. Улучшение свойств минералокерамики достигается уменьшением размеров зерен структуры и добавлением карбидов тугоплавких материалов (вольфрама, титана), связующих элементов (никеля и др.).

ВНИИТС создана минералокерамика окисно-карбидного типа-марки D3. Ее прочность при изгибе в 2,5 раза выше, чем у ТЦМ-3Т2 при той же твердости, теплостойкость около 1200 °С, что позволяет вести обработку при скорости резания более 25 м/с. Также освоен выпуск минералокерамики марок ВОК-60, ВОК-63 и др. Перспективными материалами для изготовления режущей части резцов являются поликристаллы кубического нитрида бора, известные под названием эльбор-Р, композит, исмит и гексанит-Р. При финишной обработке таким инструментом заготовок из чугуна и закаленных сталей высокой твердости достигается шероховатость поверхности, соответствующая шлифованию. Резцы и фрезы имеют режущие элементы из поликристаллов диаметром до 4 мм и длиной до 6 мм.

Для чистового точения деталей из цветных металлов и сплавов, пластмасс и других неметаллических материалов применяют резцы из природных алмазов массой 0,21—0,85 карата, закрепляемых механическим способом или напайкой в переходных державках диаметром до 20 мм и длиной до 50 мм. Для обработки твердых сплавов, высококремнистых материалов, стеклопластиков и других пластмасс применяют синтетические алмазы типа карбонадо и баласс (марки АСПК и АСБ), которые по своим свойствам соответствуют природным алмазам тех же сортов.

Шлифующие материалы. Для изготовления шлифовальных кругов, лент, паст, шкур и т. п. применяют различные шлифующие (абразивные) и связующие их материалы. Абразивные (от латинского *abrasio* — соскабливание) круги для машиностроения изготавливают из синтетических материалов, так как естественные материалы не обладают постоянством свойств. Материалы на базе окиси алюминия и карбида кремния обозначаются цифрами: нормальный электрокорунд

— 1, белый электрокорунд — 2, хромистый и титанистый электрокорунд — 3, монокорунд — 4, карбид кремния черный — 5, зеленый карбид кремния — 6.

Маркировка абразивного материала включает еще одну цифру, а также буквы А или С, обозначающие соответственно электрокорунд или карбид кремния.

Например, электрокорунды имеют маркировку 16А, 15А, 14А и др., 25А, 24А и др., 34А, 33А и др., 45А, 44А и др. Карбиды же кремния маркируются так: 64С, 65С и др., 55С, 54С и др.

Электрокорунды изготовляют в дуговых печах восстановительной плавкой шихты, а карбиды кремния — в электрических печах сопротивления с лигированием частиц углерода парами кремниевой кислоты. После плавки получают различными способами шлифпорошки, шлифзерна и микропорошки, которые используют для изготовления различных инструментов.

В СССР в качестве шлифующих материалов применяются также, синтетические алмазы, которые выпускают в виде порошков пяти марок АС (алмаза синтетического): АСО, АСР, АСВ, АСК и АСС и в виде микропорошков двух марок — АСМ и АСЫ. Алмаз АСО применяют для паст и порошков, алмаз АСР, имеющий повышенную прочность, применяют для инструментов на керамической, и металлической связках. Высокопрочный синтетический алмаз АСВ применяют для инструментов на металлической связке, работающих при повышенных ударных нагрузках. В особо тяжелых условиях работы применяют алмаз АСК. Самая высокая прочность у алмаза АСС, используемого для инструментов, правящих шлифовальные круги. Кроме синтетических алмазов, для абразивной обработки используют эльбор-Л, кубонит, а также дробленые естественные *алмазы* типа карбонадо и баласс. Виды и характеристики шлифовальных инструментов приведены в гл. IX.

Абразивно-алмазные инструменты состоят из режущего материала, пор и связки. Различают связки керамические, органические, металлические и др. Для алмазных и эльборовых кругов применяют органические связки (Б1, Б2, Б3, Б4, Б8, БШ и др.) на основе фенолформальдегидных смол с наполнителями в виде карбида бора, талька, резиновой муки и др. Металлические связки (М5, М52, МС3, МО4, МП2, ОМК3 и др.) представляют собой композиции на основе меди, олова, железа, алюминия, никеля и других металлов с наполнителем из электрокорунда, карбида бора или кремния и т. п. Керамические связки для алмазных и эльборовых кругов (К1, К16, СЮ, СК и др.) имеют те же наполнители. Для

полировальных кругов применяют связки, содержащие каучук. Абразивные круги в основном выполняют на керамической связке (КО. К1, К3, К5, К8 и др.), а также применяют бакелитовую (Б, Б1, Б2, БУ и др.), вулканитовую (В, В1, В2, В3), глифта левую (ГФ) и поливинил и форма левую (ПФ) связки.

Керамическую связку получают в результате обжига кругов, сформированных из специальной массы, в которую кроме абразивного материала входят измельченные смеси из огнеупорной глины, полевого шпата, талька и других материалов, добавляемые для повышения пластичности, формуемости и других нужных свойств массы. Выбор круга по абразивному или алмазному материалу, связке и другим характеристикам производится в зависимости от вида шлифования, материала заготовки и прочих факторов.