Для обеспечения работоспособности металлорежущего инструмента необходимо изготовлять его рабочую часть из материала, обладающего комплексом определенных физико-механических свойств (высокими показателями твердости, износостойкости, прочности, теплостойкости и др.). Материалы, отвечающие требованиям этого комплекса и способные осуществлять резание, называются инструментальными материалами. Рассмотрим физи- ко-механические свойства инструментальных материалов.

Чтобы внедриться в поверхностные слои обрабатываемой заготовки, режущие лезвия рабочей части инструментов должны быть выполнены из материалов, имеющих высокую твердость. Твердость инструментальных материалов может быть природной (т. е. свойственной материалу при его образовании) или достигнута специальной обработкой. Например, инструментальные стали в состоянии поставки с металлургических заводов легко поддаются обработке резанием. После механической обработки, термообработки, шлифования и заточки инструментов из стали их прочность и твердость резко повышаются.

Твердость определяется с помощью различных методов. Твердость по Роквеллу обозначается цифрами, характеризующими число твердости, и буквами HR с указанием шкалы твердости А, В или С (например, HRC). Твердость термообработанных инструментальных сталей измеряется по шкале С Роквелла и выражается в условных единицах HRC. Наиболее устойчивый режим работы и наименьшая изнашиваемость лезвий инструментов, изготовленных из инструментальных сталей и прошедших термообработку, достигается при твердости HRC 63 ...64. При меньшей твердости возрастает изнашиваемость лезвий инструмента, а при большей твердости лезвия начинают выкрашиваться из-за чрезмерной хрупкости.

Металлы, имеющие твердость HRC 30... 35, удовлетворительно обрабатываются инструментами из термообработанных инструментальных сталей (HRC 63...64), т. е. при отношении твердостей, примерно равном двум. Для обработки термообработанных металлов (HRC 45...55) необходимо использовать инструменты, изготовленные только из твердых сплавов. Их твердость измеряется по шкале А Роквелла и имеет значения HRA 87...93. Высокая твердость синтетических инструментальных материалов позволяет использовать их для обработки закаленных сталей.

В процессе резания на рабочую часть инструментов действуют силы резания, достигающие 10 кН и более. Под действием этих сил в материале рабочей части возникают большие напряжения. Чтобы эти напряжения не приводили к разрушению инструмента, используемые для его изготовления инструментальные материалы должны иметь достаточно высокую прочность.

Среди всех инструментальных материалов наилучшим сочетанием прочностных характеристик обладают инструментальные стали. Благодаря этому рабочая часть инструментов, выполненных из инструментальных сталей, успешно выдерживает сложный характер нагружения и может работать на сжатие, кручение, изгиб и растяжение.

В результате интенсивного выделения теплоты в процессе резания металлов нагреваются лезвия инструмента, причем в наибольшей степени — их поверхности. При температуре нагрева ниже критической (для различных материалов она имеет разные значения) структурное состояние и твердость инструментального материала не изменяются. Если температура нагрева превышает критическую, то в материале происходят структурные изменения и связанное с этим снижение твердости. Критическая температура называется также температурой красностойкости. В основе термина «красностойкость» лежит физическое свойство металлов при нагреве до 600 °С излучать темно-красный свет. Красностойкость — это способность материала сохранять при повышенных температурах высокие твердость и износостойкость. По своей сути красностойкость означает температуростойкость инструментальных материалов. Температуростойкость различных инструментальных материалов изменяется в широких пределах: 220... 1800°С.

Увеличение работоспособности режущего инструмента может быть достигнуто не только за счет повышения температуростой кости инструментального материала, но и благодаря улучшению условий отвода теплоты, выделяющейся в процессе резания на лезвии инструмента и вызывающей его нагрев до высоких температур. Чем большее количество теплоты отводится от лезвия в глубь инструмента, тем ниже температура на его контактных поверхностях. Теплопроводность инструментальных материалов зависит от их химического состава и температуры нагрева.

Например, присутствие в стали таких легирующих элементов, как вольфрам и ванадий, снижает теплопроводящие свойства инструментальных сталей, а легирование их титаном, кобальтом и молибденом, наоборот, заметно повышает.

Значение коэффициента трения скольжения материала заготовки по инструментальному материалу зависит от химического состава и физико-механических свойств материалов контактирующих пар, а также от контактных напряжений на трущихся поверхностях и скорости скольжения.

Коэффициент трения связан функциональной зависимостью с силой трения и работой сил трения на пути взаимного скольжения инструмента и заготовки, поэтому значение этого коэффициента оказывает влияние на износостойкость инструментальных материалов.

Взаимодействие инструмента с обрабатываемым материалом протекает в условиях постоянного (подвижного) контакта. При этом оба тела, образующие пару трения, взаимно изнашиваются.

Материал каждого из взаимодействующих тел обладает:

* свойством истирать материал, с которым он взаимодействует;
* износостойкостью, т.е. способностью материала сопротивляться истирающему действию другого материала.

Изнашивание лезвий инструмента происходит на протяжении всего периода взаимодействия с обрабатываемым материалом. В результате этого лезвия инструмента теряют некоторую часть своих режущих свойств, изменяется форма рабочих поверхностей инструмента.

Износостойкость не является неизменным свойством инструментальных материалов, она зависит от условий резания.

Современные инструментальные материалы отвечают требованиям, рассмотренным выше. Они подразделяются на следующие группы:

* инструментальные стали;
* твердые сплавы (металлокерамика);
* минералокерамика и керметы;
* синтетические композиции из нитрида бора;
* синтетические алмазы.

Инструментальные стали разделяют на углеродистые, легированные и быстрорежущие.

Углеродистые инструментальные стали применяют для изготовления инструмента, работающего при малых скоростях резания.

Марки таких сталей обозначают буквой У (углеродистая), затем цифрами, которые показывают содержание в стали углерода (в десятых долях процента), буква А в конце марки означает, что сталь высококачественная (содержание серы и фосфора не более 0,03 % каждого элемента).

Основными свойствами углеродистых инструментальных сталей являются высокая твердость (HRC 62...65) и низкая температуростойкость.

Из стали марок У9 и У10А изготовляют пилы; из стали марок У11; У11А; У12 — ручные метчики и др.

Температуростойкость сталей марок У10А...У13А 220 °С, поэтому инструмент из этих сталей рекомендуется применять при скорости резания 8... 10 м/мин.

Легированная инструментальная сталь в зависимости от основных легирующих элементов может быть хромистой (X), хромо- кремнистой (ХС), вольфрамовой (В), хромовольфрамомарганце- вой (ХВГ) и др.

Марки таких сталей обозначают цифрами и буквами (первыми буквами названия легирующих элементов). Первая цифра слева от букв показывает содержание углерода в десятых долях процента (если содержание углерода менее 1 %), цифры справа от букв показывают среднее содержание легирующего элемента в процентах.

Из стали марки X изготовляют метчики и плашки, из стали 9ХС — сверла, развертки, метчики и плашки. Сталь В1 рекомендуется для изготовления мелких сверл, метчиков и разверток.

Температуростойкость легированных инструментальных сталей 350...400°С, поэтому допустимые скорости резания для инструмента из этих сталей в 1,2... 1,5 раза выше, чем для инструмента из углеродистых инструментальных сталей.

Быстрорежущие (высоколегированные) стали применяют чаще всего для изготовления сверл, зенкеров и метчиков. Марки быстрорежущих сталей обозначают буквами и цифрами, например Р6МЗ. Буква Р означает, что сталь быстрорежущая, цифры после нее показывают среднее содержание вольфрама в процентах, остальные буквы и цифры обозначают то же, что и в марках легированных сталей. Важнейшими компонентами быстрорежущих сталей являются вольфрам, молибден, хром и ванадий.

Быстрорежущие стали в зависимости от режущих свойств делят на стали нормальной и повышенной производительности. К сталям нормальной производительности относятся вольфрамовые стали марок Р18; Р9; Р9Ф5 и вольфрамомолибденовые стали марок Р6МЗ; Р6М5, сохраняющие твердость не менее HRC 58 до температуры 620 °С. К сталям повышенной производительности относятся стали марок Р18Ф2; Р14Ф4; Р6М5К5; Р9М4К8; Р9К5; Р9К10; Р10К5Ф5; Р18К5Ф2, сохраняющие твердость HRC 64 до температуры 630...640°С.

Стали нормальной производительности — твердость HRC 65, температуростойкость 620 °С, предел прочности при изгибе 3 ...4 ГПа (300...400 кгс/мм2) — предназначены для обработки углеродистых и низколегированных сталей с пределом прочности на изгиб до 1 ГПа (100 кгс/мм2), серого чугуна и цветных металлов. Быстрорежущие стали повышенной производительности, легированные кобальтом или ванадием (твердость HRC 70...78, температуростойкость 630...650°С, предел прочности при изгибе 2,5...2,8 ГПа, или 250...280 кгс/мм2), предназначены для обработки труднообрабатываемых сталей и сплавов, а с пределом прочности при изгибе свыше 1 ГПа (100 кгс/мм2) — для обработки титановых сплавов.

Все инструменты, изготовленные из инструментальных сталей, подвергают термической обработке. Инструменты из быстрорежущей стали могут работать при более высоких скоростях резания, чем инструменты из углеродистой и легированной инструментальных сталей.

Твердые сплавы делят на металлокерамические и минералокерамические. Форма пластин, изготовленных из этих сплавов, зависит от их механических свойств. Инструменты, оснащенные пластинами из твердых сплавов, позволяют работать на более высоких скоростях резания по сравнению с инструментами из быстрорежущей стали.

Металлокерамические твердые сплавы подразделяют на вольфрамовые, вольфрамотитановые и титановольфрамотанталовые. Вольфрамовые сплавы группы ВК состоят из карбидов вольфрама и титана. Марки этих сплавов обозначают буквами и цифрой, например ВК2; ВКЗМ; ВК4; ВК6; ВК6М; ВК8; ВК8В. Буква В означает карбид вольфрама, буква К — кобальт, а цифра показывает содержание кобальта в процентах (остальное — карбид вольфрама). Буква М, приведенная в конце некоторых марок, означает, что сплав мелкозернистый. Инструмент, изготовленный из такого сплава, обладает повышенной износостойкостью, но его сопротивляемость ударам снижена. Инструменты из вольфрамовых твердых сплавов применяют для обработки чугуна, цветных металлов и их сплавов и неметаллических материалов (резины, пластмассы, фибры, стекла и др.).

Вольфрамотитановые сплавы группы ТК состоят из карбидов вольфрама, титана и кобальта. Марки этих сплавов обозначают буквами и цифрами, например Т5К10; Т5К12В; Т14К8; Т15К6; Т30К4; Т15К12В. Буква Т означает карбид титана, цифра за ней — процентное содержание карбида титана, буква К — карбид кобальта, цифра за ней — процентное содержание карбида кобальта (остальное в данном сплаве — карбид вольфрама). Инструменты из этих сплавов применяют для обработки всех видов сталей.

Вольфрамотитанотанталовые сплавы группы ТТК состоят из карбидов титана, вольфрама, тантала и кобальта. Для изготовления металлорежущего инструмента используют сплавы марок ТТ7К12 и ТТ10К8Б, содержащие соответственно 7 и 10% карбидов титана и тантала, 12 и 8% карбидов кобальта (остальное — карбид вольфрама). Инструмент из этих сплавов применяют в особо тяжелых условиях обработки, когда использование других инструментальных материалов неэффективно.

Твердые сплавы обладают высокой температуростойкостью. Вольфрамовые твердые сплавы сохраняют твердость HRC 83... 90, а вольфрамотитановые — HRC 87... 92 при температуре 800... 950 °С, что позволяет инструменту из сплавов работать при высоких скоростях резания (до 500 м/мин при обработке сталей и до 2700 м/мин при обработке алюминия).

Для обработки деталей из коррозионно-стойких, жаропрочных и других труднообрабатываемых сталей и сплавов предназначены инструменты из мелкозернистых сплавов группы ОМ: из сплава ВК6-ОМ — для чистовой обработки, а из сплавов ВК10-ОМ и ВК15-ОМ — для получистовой и черновой обработки. Еще более эффективно для обработки труднообрабатываемых материалов использование инструментов из твердых сплавов марок BK10-XOM и ВК15-ХОМ, в которых карбид тантала заменен карбидом хрома. Легирование сплавов карбидом хрома увеличивает их твердость и прочность при высоких температурах.

Для повышения прочности пластины из твердого сплава плакируют, т.е. покрывают защитными пленками. Широко применяют износостойкие покрытия из карбидов, нитридов и карбонидов титана, нанесенные тонким слоем (толщиной 5... 10 мкм) на поверхность твердосплавных пластин. На поверхности этих пластин образуется мелкозернистый слой карбида титана, обладающий высокой твердостью, износостойкостью и химической устойчивостью при высоких температурах. Износостойкость твердосплавных пластин с покрытием в среднем в три раза выше износостойкости пластин без покрытия, что позволяет увеличить скорость резания на 25... 30 %.

При определенных условиях в качестве инструментального материала применяют минералокерамические материалы, получаемые из окиси алюминия с добавками вольфрама, титана, тантала и кобальта.

Для режущего инструмента используют минералокерамику марки ЦМ-332, которая отличается высокой температуростойкостью (твердость HRC 89...95 при температуре 1200°С) и износостойкостью, что позволяет вести обработку стали, чугуна и цветных сплавов при высоких скоростях резания (например, чистовое обтачивание чугуна при скорости резания 3700 мм/мин, что в два раза выше скорости резания при обработке инструментом из твердых сплавов). Недостатком минералокерамики марки ЦМ-332 является повышенная хрупкость.

Для изготовления режущих инструментов применяют также режущую керамику (кермет) марок В3; ВОК-60; ВОК-63, представляющую собой оксидно-карбидное соединение (окись алюминия с добавкой 30...40% карбидов вольфрама и молибдена). Введение в состав минералокерамики карбидов металлов (а иногда и чистых металлов — молибдена, хрома) улучшает ее физико-ме- ханические свойства (в частности, снижает хрупкость) и повышает производительность обработки в результате повышения скорости резания. Получистовая и чистовая обработка инструментом из кермета деталей из серых, ковких чугунов, труднообрабатываемых сталей, некоторых цветных металлов и сплавов производится со скоростью резания 435... 1000 м/мин без подачи СОЖ (смазочно-охлаждающая жидкость) в зону резания. Режущая керамика отличается высокой температуростойко- стью (твердость HRC 90... 95 при температуре 950... 1100 °С).

Для обработки закаленных сталей (HRC 40...67), высокопрочных чугунов (НВ 200...600), твердых сплавов типа ВК25 и ВК15 и стеклопластиков применяют инструмент, режущая часть которого изготовлена из сверхтвердых материалов (СТМ) на основе нитрида бора и алмазов. При обработке деталей из закаленных сталей и высокопрочных чугунов применяют инструмент, изготовленный из крупных поликристаллов (диаметром 3...6 мм и длиной 4...5 мм) на основе кубического нитрида бора (эльбора Р). Твердость эльбора Р приближается к твердости алмаза, а его температуростойкость в два раза выше температуростойкости алмаза. Эльбор Р химически инертен к материалам на основе железа. Предел прочности поликристаллов при сжатии 4... 5 ГПа (400... 500 кгс/мм2), при изгибе — 0,7 ГПа (70 кгс/мм2), температуростойкость 1350... 1450°С.

Из других СТМ, применяемых для обработки резанием, следует отметить синтетические алмазы балас (марка АСБ) и карбонадо (марка АСПК). Карбонадо химически более активен к углерод-содержащим материалам, поэтому его используют при точении деталей из цветных металлов, высококремнистых сплавов, твердых сплавов ВК10... ВК30, неметаллических материалов. Стойкость резцов из карбонадов в 20... 50 раз выше стойкости резцов из твердых сплавов.