

16. Инструментальные стали

17.1. Классификация инструментальных сталей.

Основным требованием, предъявляемым к стали для режущего инструмента, является сохранение режущей кромки в течение длительного времени. В работе режущее лезвие инструмента тупится, изнашивается. Чтобы режущая кромка как можно дольше не изнашивалась, она должна иметь высокую твердость, как правило, выше HRC 60.

При тяжелых условиях резания механическая энергия в процессе резания превращается в тепловую, режущая кромка инструмента сильно нагревается (до красного каления). Для такого инструмента главное требование - сохранение твердости при длительном нагреве, т.е. сталь должна обладать *красностойкостью*.

Условия работы измерительного инструмента в известной мере приближаются к условиям работы режущего инструмента при легких режимах резания, различие составляют лишь значительно меньшие удельные давления на рабочие поверхности.

Сталь в штампах испытывает значительные тепловые и ударные нагрузки, распределенные по сравнительно большой поверхности. Здесь большую роль играет вязкость.

Для разных видов инструмента применяют стали разного типа. Инструментальные стали делятся на четыре категории (*слайд*):

1. пониженной прокаливаемости (преимущественно углеродистые);
2. повышенной прокаливаемости (легированные);
3. штамповые;
4. быстрорежущие.

В особую группу инструментальных материалов входят так называемые твердые сплавы, применяемые для инструмента, работающего на особо высоких скоростях резания.

Углеродистые и легированные стали применяют для режущего инструмента при легких условиях работы и для измерительного инструмента, быстрорежущие стали используют для изготовления режущего инструмента, работающего при повышенных режимах.

17.2. Инструментальные стали пониженной прокаливаемости

В эту группу входят все углеродистые инструментальные стали, а также стали с небольшим содержанием легирующих элементов. Важнейшее технологическое свойство – слабая прокаливаемость – объединяет эти стали в одну группу.

Все стали указанной группы должны закаливаться в воде, и инструмент из этих сталей имеет незакаленную сердцевину.

В эту группу входят нелегированные высокоуглеродистые и низколегированные стали: У7, У8, У9, У10, У11, У12, У13, 65ХФ, 85ХФ. Буква У показывает, что это сталь углеродистая, цифра – среднее содержание углерода в десятых долях процента.

Температурные режимы ТО для инструментальных сталей этой группы приведены в таблице (*слайд*). Наиболее мягкой и вязкой сталью из перечис-

ленных в таблице является сталь У7, поэтому ее применяют для инструмента, подвергающегося в работе толчкам и ударам. Твердость остальных сталей в закаленном состоянии не зависит от содержания углерода. Однако износостойкость с повышением содержания углерода возрастает, что объясняется наличием избыточного цементита, вкрапленного в мартенсит.

17.3. Инструментальные стали повышенной прокаливаемости (легированные инструментальные стали)

В эту классификационную группу входят стали, содержащие легирующие элементы в количестве 1...3 % и поэтому обладающие повышенной прокаливаемостью. Инструмент из этих сталей закаливается в масле и прокаливается, как правило, насквозь.

Меньшая скорость охлаждения при закалке уменьшает опасность образования трещин, деформации и коробления, к чему склонны углеродистые инструментальные стали. Это важно для многих видов инструментов, имеющих сложную конфигурацию.

- Легированные инструментальные стали подразделяются на три группы:
- в первую группу входят стали (X, 9XC, XГСВФ), в которых присадка 1,0...1,5 % хрома обеспечивает повышение прокаливаемости. Добавка кремния дает некоторое дополнительное увеличение прокаливаемости, а также повышает устойчивость против отпуска, что обеспечивает лучшую работоспособность инструмента;
 - группа 2 (XГ, ХВГ) характеризуется повышенным содержанием марганца. Это приводит при закалке к увеличению количества остаточного аустенита и уменьшению деформации;
 - в группу 3 (В1, ХВ5) входят высокотвердые стали, легированные вольфрамом, из которых сталь ХВ5 называется алмазной. Легирование вольфрамом значительно измельчает избыточную карбидную фазу и, следовательно, повышает твердость этих сталей. Стали этой группы можно закалывать и воде, и в масле. Высокую твердость этих сталей используют при обработке очень твердых материалов, например камней.

17.4. Быстрорежущие стали

Под быстрорежущими понимают стали, предназначенные для изготовления режущего инструмента, работающего при высоких скоростях резания. Быстрорежущая сталь должна в первую очередь обладать высокой горячей твердостью и красностойкостью. Красностойкость создается легированием стали карбидообразующими элементами (вольфрамом, молибденом, хромом и ванадием) в таком количестве, при котором они связывают почти весь углерод в специальные карбиды.

Наиболее распространенной быстрорежущей сталью является сталь Р18 (0,7 % С, 18 % W, 4 % Cr, 1 % V), а также сталь Р6М5 (0,9 % С, 6 % W, 5 % Mo, 4 % Cr, 2 % V). Из-за дороговизны вольфрама последнее время получили распространение стали-заменители: Р9Ф5, Р9К10, Р9М4К8 и другие.

ТО любой быстрорежущей стали намного сложнее, чем обычной конструкционной стали. Ее можно представить в виде следующей схемы (слайд).

Температура закалки должна быть возможно выше, однако не выше температуры начала интенсивного роста зерна или оплавления. Для стали P18 оптимальная температура закалки 1260...1280 °С, для остальных сталей температура указана в таблице (слайд). Из-за мало теплопроводности стали нельзя помещать инструмент сразу в печь для окончательного нагрева во избежание появления трещин. Рекомендуется применять специальный подогрев. Наиболее распространен двойной подогрев: при 550...600 °С, второй при 830...860 °С. Охлаждение при закалке быстрорежущей стали следует проводить в масле. Весьма хорошие результаты дает ступенчатое охлаждение, с целью снижения внутренних напряжений. Отпуск стали можно проводить по двум различным режимам. Первый режим (слайд) состоит в том, что инструмент подвергают трехкратному отпуску при 560 °С с выдержкой при температуре отпуска каждый раз 1 ч. Это проводится с целью уменьшения объемной доли остаточного аустенита. После третьего отпуска остаточного аустенита остается всего 1...2 %. Твердость после такой обработки поднимается до HRC 64...65. Другой режим (слайд) состоит в том, что после закалки инструмент обрабатывается холодом при -80 °С. Затем проводят однократный отпуск при 560 °С, что тоже приводит к снижению доли остаточного аустенита.

17.5. Штамповые стали

Для обработки металлов давлением применяют инструменты – штампы, пуансоны, ролики, валики и т.д., деформирующие металл. Стали, применяемые для изготовления инструмента такого рода, называют штамповыми сталями.

Штамповые стали делятся на две группы: деформирующие металл в холодном состоянии и деформирующие металл в горячем состоянии. Естественно, что условия работы сталей этих двух групп сильно отличаются. Штамповая сталь для горячей штамповки должна обладать не только определенными механическими свойствами в холодном состоянии, но и достаточно высокими механическими свойствами в нагретом состоянии. Особенно желательно иметь высокий предел текучести, чтобы при высоких давлениях штамп не деформировался. Для кузнечных штампов большое значение также имеет вязкость, чтобы штамп не разрушился во время работы при ударах по деформируемому металлу. Устойчивость против износа во всех случаях очень важна, т.к. она обеспечивает сохранение размеров – долговечность работы штампа.

Для штамповки в холодном состоянии сталь, из которой изготавливают штампы, обычно должна обладать высокой твердостью, обеспечивающей устойчивость штампа против истирания.

Кроме перечисленных свойств, от стали, из которой изготавливают штампы больших размеров, требуется повышенная прокаливаемость.

Ввиду многочисленных и разнообразных требований, предъявляемых к штампам в зависимости от назначения, применяют стали различных марок, начиная от простых углеродистых и кончая сложнелегированными (4ХС,

4XB2C, 6XB2C, X12, X12BM, X12Ф1, X6BФ, 6X6B3MФC, 80X4B3M3Ф2, 7XГ2BM, 5XHM, 5XHCВ, 2X2B8, 4X3B2Ф2M2).

17.6. Твердые сплавы

В настоящее время для скоростного резания металлов применяют инструмент, оснащенный твердыми сплавами. Твердый сплав является металло-керамическим. Для изготовления твердых сплавов порошки карбидов вольфрама и титана смешивают со связующим веществом (обычно это кобальт), прессуют в формах и тем самым передают изделию соответствующую внешнюю форму, затем после прессовки подвергают спеканию при высокой температуре (1500...2000 °С). В результате получается изделие, состоящее из карбидных частиц, связанных кобальтом.

Твердость металлокерамических твердых сплавов очень высокая, за счет того, что они на 90...95 % состоят из карбидов – веществ, обладающих исключительно высокой твердостью. Инструмент не изготавливают целиком из твердого сплава – из него изготавливают лишь режущую часть; пластинку из твердого сплава прикрепляют к державке из обычной конструкционной или инструментальной стали.

В таблице приведены составы и некоторые свойства стандартных твердых сплавов (слайд).

18. Жаростойкие и жаропрочные стали и сплавы

Жаростойкость (окалиностойкость) – сопротивление металла окислению при высоких температурах.

Жаропрочность – способность материала противостоять механическим нагрузкам при высоких температурах.

Под *жаростойкими сталями и сплавами* понимают стали и сплавы, обладающие стойкостью против химического разрушения поверхности в газовых средах при температурах выше 550 °С и работающие в ненагруженном или слабонагруженном состоянии.

Под *жаропрочными сталями и сплавами* понимают стали и сплавы, обладающие повышенными механическими свойствами при высоких температурах.

18.1. Жаростойкие сплавы

Для повышения окалиностойкости сталь легируют элементами, которые благоприятным образом изменяют состав и строение окалины, появляющейся при высоких температурах. Так в результате введения в сталь соответствующих количеств хрома, алюминия или кремния, обладающих большим сродством к кислороду, чем железо, в процессе окисления на поверхности образуются плотные окислы этих металлов, диффузия сквозь которые происходит с трудом. Образовавшаяся тонкая пленка из этих окислов затрудняет процесс дальнейшего окисления.

Чем выше содержание хрома, алюминия или кремния в стали, тем выше окалиностойкость стали и тем выше может быть рабочая температура.

К жаростойким сталям относятся следующие стали, приведенные в таблице с указанием рабочей температуры (слайд).

18.2. Жаропрочные сплавы

Напряжение, которое вызывает разрушение металла при повышенных температурах, сильно зависит от продолжительности приложения нагрузки. Вместе с тем, чем выше температура, тем ниже и разрушающие напряжения при данной продолжительности воздействия нагрузки. Следовательно, в общем случае при повышенных температурах прочность металла определяется двумя факторами – температурой и временем.

Если учитывать фактор времени, то прочность металла есть характеристика, называемая длительной прочностью. *Длительная прочность* – это предел прочности (временное сопротивление) при данной длительности испытания или напряжения, вызывающее разрушение при данной продолжительности воздействия нагрузки.

Следует помнить, что механические свойства разных сплавов при данной температуре могут не сохраняться в том же соотношении при других температурах. Конструктор, выбирая материал, должен знать, что данный сплав является оптимальным по прочностным свойствам в рабочем интервале температур.

На слайд приведена кратковременная механическая прочность (предел прочности) сплавов нескольких групп при различных температурах.

Ниже 300 °С наибольшую прочность имеют простые конструкционные стали 1, обработанные на высокую прочность. Для работ в интервале 350...500 °С оптимальными по свойствам являются сравнительно слаболегированные стали перлитного и ферритного классов 2. С повышением температуры до 500...650 °С прочность этих сталей заметно падает, уступая сталям аустенитного класса 3, а при 650...900 °С стали аустенитного класса уступают первое место высоколегированным кобальтовым и никелевым сплавам 4. При температурах выше 900 °С на первом месте сплавы тугоплавких металлов (молибдена, хрома и др.).

Рассмотрим отдельно перлитные и аустенитные стали, сплавы на основе никеля и кобальта и тугоплавких металлов.

Перлитные и мартенситные жаропрочные стали применяются главным образом в котлостроении для изготовления паропроводов, пароперегревателей, крепежных и других деталей, подвергаемых длительным механическим воздействиям при умеренно высоких температурах – не выше 500...600 °С. Сюда относятся:

- перлитные: 12МХ, 12ХМФ, 12ХМ, 12Х1МФ;
- мартенситные: 12Х2МФСР, 12Х2МФБ, Х5ВФ.

Аустенитные жаропрочные стали применяют для изготовления клапанов двигателей, лопаток газовых турбин, и других горячих деталей реактивных двигателей - в основном для работы при 600...700 °С. Все аустенитные жаропрочные стали содержат большое количество хрома и никеля, а также добавки других элементов. Аустенитные стали подразделяются на две группы:

- не упрочняемые ТО (Х14Н16Б, Х14Н18В2Б, Х18Н10Т, Х23Н18, Х25Н20С2 – углерода около 0,01 %);

- упрочняемые ТО и применяемые после закалки + отпуск. Упрочнение создается благодаря выделению карбидных, карбонитридных, или интерметаллидных фаз (4X12H8Г8МФБ, X12H20Т3, 4X14H14B2M, X14H28B3Т3ЮР).

Наряду с аустенитными сталями для лопаток турбин реактивных двигателей применяют *сплавы на основе никеля и кобальта*. Как и аустенитные стали, сплавы на основе никеля и кобальта разделяются на две группы: на гомогенные (*нихромы и инконели*) и стареющие (*нимоники*).

Нихромы и инконели – сплав никеля и хрома или никеля, хрома и железа с минимальным содержанием углерода. Сплавы этого типа чаще всего используют для ненагруженных деталей, для электрических нагревательных элементов сопротивления.

Практически как высокожаропрочные сплавы применяют стареющие никелевые сплавы – нимоники. Нимоник основного, «классического» состава представляет собой четверной сплав Ni-Cr-Ti-Al (соответственно 20 % - 2 % - 1 %, остальное никель). Например: ХН77ТЮ, ХН77ТЮР, ХН70ВМТЮ.

19 Коррозионностойкие (нержавеющие) стали

Поверхностное разрушение металла под воздействием внешней среды называется коррозией. Чистое железо и низколегированные стали неустойчивы против коррозии в атмосфере, в воде и во многих других средах, т.к. образующаяся пленка окислов недостаточно плотная и не изолирует металл от химического воздействия среды. Некоторые элементы повышают устойчивость стали против коррозии, и таким образом можно создать сталь (сплав), практически не подвергающийся коррозии в данной среде. Таким элементов является хром. Сплавы, содержащие более 12 % хрома, ведут себя как благородные металлы: благодаря положительным потенциалам, они не ржавеют и не окисляются на воздухе, в воде, в ряде кислот, солей и щелочей.

Хромистые нержавеющие стали применяют трех типов: с 13, 17 и 27 % хрома (4X13, 12X17, 15X28).

Введение достаточного количества никеля в сталь, содержащую 18 % хрома, переводит ее в аустенитное состояние во всем диапазоне температур, что обеспечивает лучшие механические свойства, меньшую склонность к росту зерна, а также делает сталь более коррозионностойкой и не хладноломкой. Нержавеющие стали с 18 % хрома и 10 % никеля получили наиболее широкое распространение в машиностроении, в изделиях широкого потребления, а также в архитектуре и скульптуре.

Хромоникелевые нержавеющие стали можно разделить на три группы:

- аустенитные стали (с устойчивым аустенитом) – 12X18H8, 12X18H9Т, 04X18H10, 12X18H12Т, 12X17Г9АН4, 10X17H13M2Т, 06X23H28M3Д3Т;
- аустенитно-мартенситные стали (в них может образовываться мартенсит) – 09X15H8Ю, 09X17H7Ю;
- аустенито-ферритные стали (структура $\alpha+\gamma$) – 08X22H6Т, 12X22H5Т, 08X21H6M2Т, 08X18Г8H2Т.

Аустенитные нержавеющие стали применяют очень широко не только из-за высоких антикоррозионных свойств, но и благодаря высоким технологическим и механическим свойствам. Эти стали хорошо прокатываются в го-

рячем и холодном состоянии, в холодном состоянии выдерживают глубокую вытяжку и профилирование, допускают применение электросварки, без охрупчивания околошовных зон.

Термическая обработка нержавеющей сталей аустенитного класса сравнительно проста и заключается в закалке в воде с 1050...1100 °С. Нагрев до этих температур вызывает растворение карбидов хрома, а быстрое охлаждение фиксирует состояние пересыщенного твердого раствора. Поскольку в результате такой ТО в структуре будут отсутствовать упрочняющие фазы, следовательно и полученные свойства будут отличаться низким уровнем (450...550 МПа). В результате закалки твердость этих сталей не повышается, а снижается, поэтому для аустенитных нержавеющей сталей закалка является смягчающей термической операцией. Радикальный способ упрочнения аустенитных сталей - холодный наклеп; при деформации порядка 80...90 % предел текучести достигает 1000...1200 МПа при сохранении высокой пластичности.

20 Износостойкие стали и сплавы

Возможность продолжительной эксплуатации деталей машин и других изделий, их долговечность во многих случаях связаны с износостойкостью материала, из которых они изготовлены.

Износ деталей машин и аппаратов может быть вызван трением металлических деталей друг об друга и воздействием рабочей среды – потоком жидкости или газа, царапанием твердых частиц о поверхность детали и другими поверхностными процессами.

Стойкость против абразивного износа возрастает с увеличением твердости изнашиваемого материала, поэтому эффективным повышением износостойкости является поверхностная закалка или другие методы повышения поверхностной твердости (цементация, азотирование и т.д.). Однако существует аустенитная сталь, которая в условиях обычного трения, сопровождаемого большим удельным давлением (и когда отсутствует чисто абразивный износ), при низкой твердости (всего лишь НВ 200...250) обладает высокой износостойкостью. Это так называемая сталь Гадфильда (110Г13Л), содержащая 1,2 % С и 13 % марганца. Эту сталь начали применять с 1882 года. Первое ее применение – решетки на окнах в тюрьмах. Сталь отличается тем, что ее практически невозможно никак механически обработать. Поэтому и в настоящее время сталь применяют в литом состоянии.

Сталь обладает типичными для аустенитных сталей высокими вязкостью и пластичностью при достаточно хорошей прочности. При низкой твердости сталь Гадфильда обладает необычайно высокой износостойкостью при трении с давлением и ударами. Это объясняется повышенной способностью к наклепу (**слайд**), значительно большей, чем у обычных сталей с такой же твердостью.

Из стали Г13 изготавливают черпаки экскаваторов, траки гусениц тракторов, трамвайные стрелки, детали камнедробилок и другие детали. В этих деталях трение сопровождается ударами и большими давлениями.