

# ТВОРЧЕСКИЙ ПРОЕКТ

*«Я это знаю,  
а теперь можешь узнать и ты...»*

Самостоятельные работы  
обучающихся  
по материаловедению  
**Быстрорежущая сталь**

Преподаватель  
Капицына А.Е.

Рязань  
2015-2016 уч.год



*«Я это знаю,  
а теперь можешь  
узнать и ты..»*

## **Быстрорежущая сталь**

### *Определение и свойства*

**Быстрорежущие стали** — это легированные стали, предназначенные, главным образом, для изготовления металлорежущего инструмента, работающего при высоких скоростях резания.



Быстрорежущая сталь должна обладать высоким сопротивлением разрушению, твёрдостью (в холодном и горячем состояниях) и красностойкостью.

Высоким сопротивлением разрушению и твердостью в холодном состоянии обладают и углеродистые инструментальные стали. Однако инструмент из них не в состоянии обеспечить высокоскоростные режимы резания.

Легирование быстрорежущих сталей вольфрамом, молибденом, ванадием и кобальтом обеспечивает горячую твердость и красностойкость стали.

## Характеристики быстрорежущих сталей

### Горячая твердость

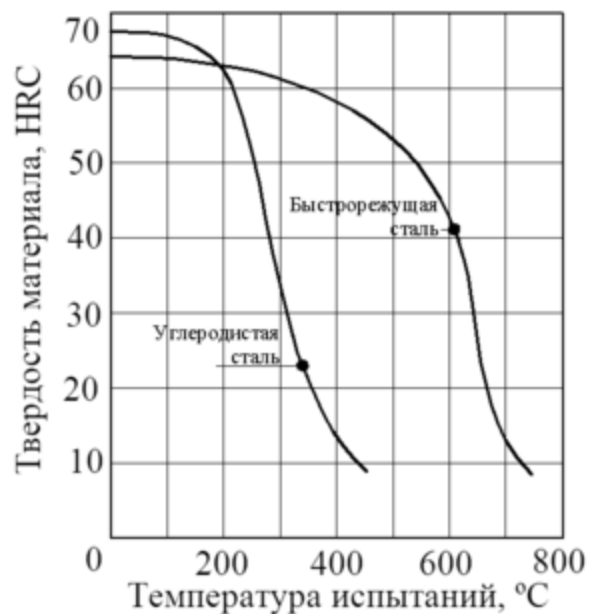


Рис. 1. Твердость инструментальных сталей при повышенных температурах

На рис. 1 приведены кривые, характеризующие твердость углеродистой и быстрорежущей инструментальных сталей при повышенных температурах испытаний.

При нормальной температуре твердость углеродистой стали даже несколько выше твердости быстрорежущей стали. Однако, в процессе работы режущего инструмента, происходит интенсивное выделение тепла.

При этом до 80 % выделившегося тепла уходит на разогрев инструмента. Вследствие повышения температуры режущей кромки начинается отпуск материала инструмента и снижается его твердость.

После нагрева до 200 °С твердость углеродистой стали начинает быстро падать.

Для этой стали недопустим режим резания, при котором инструмент нагревался бы выше 200 °С.

У быстрорежущей стали высокая твердость сохраняется при нагреве до 500 ÷ 600 °С. Инструмент из быстрорежущей стали более производителен, чем инструмент из углеродистой стали.

### **Красностойкость**

Если горячая твердость характеризует то, какую температуру сталь может выдержать, то красностойкость характеризует, сколько времени сталь будет выдерживать такую температуру.

То есть, насколько длительное время закаленная и отпущенная сталь будет сопротивляться разупрочнению при разогреве.

Существует несколько характеристик красностойкости. Приведем две из них.

Первая характеристика показывает, какую твердость будет иметь сталь после отпуска при определенной температуре в течение заданного времени (см. Таблицу 1).

Второй способ охарактеризовать красностойкость основан на том, что интенсивность снижения горячей твердости можно измерить не только при высокой температуре, но и при комнатной так как кривые снижения твердости при высокой температуре и комнатной идут эквидистантно, а измерить твердость при комнатной температуре, разумеется, гораздо проще, чем при высокой. Опытами установлено, что режущие свойства теряются при твердости 50 HRC при температуре резания, что соответствует примерно 58 HRC при комнатной.

Отсюда красностойкость характеризуется температурой отпуска, при которой за 4 часа твердость снижается до 58 HRC (обозначение  $K_{p58}^4$ ).

Марка стали	Температура отпуска, °С	Время выдержки, час	Твердость, HRC <sub>c</sub>
У7, У8, У10, У12	150 ÷ 160	1	63
Р9	580	4	
У7, У8, У10, У12	200 ÷ 220	1	59
Р6М5К5, Р9, Р9М4К8, Р18	620 ÷ 630	4	

## Сопротивление разрушению

Кроме «горячих» свойств от материала для режущего инструмента требуются и высокие механические свойства; под этим подразумевается сопротивление хрупкому разрушению, так как при высокой твердости ( $> 60 \text{ HRC}$ ) разрушение всегда происходит по хрупкому механизму.

Прочность таких высокотвердых материалов обычно определяют

**как сопротивление разрушению при изгибе призматических, не надрезанных, образцов при статическом (медленном) и динамическом (быстром) нагружении.** Чем выше прочность, тем большее усилие может выдержать рабочая часть инструмента, тем большую подачу и глубину резания можно применить, и это увеличивает производительность процесса резания.

## Принципы легирования быстрорежущих сталей

Высокая твердость мартенсита объясняется растворением углерода в  $\alpha$ -железе.

Известно, что при отпуске из мартенсита в углеродистой стали выделяются мельчайшие частицы карбида.

Пока выделившиеся карбиды еще находятся в мельчайшем дисперсном рассеянии (то есть на первой стадии выделения при отпуске до  $200 \text{ }^\circ\text{C}$ ), твердость заметно не снижается.

Но если температуру отпуска поднять выше  $200 \text{ }^\circ\text{C}$ , происходит рост карбидных выделений, и твердость падает.

Чтобы сталь устойчиво сохраняла твердость при нагреве, нужно ее легировать такими элементами, которые затрудняли бы процесс коагуляции карбидов.

Если ввести в сталь какой-нибудь карбидообразующий элемент в таком количестве, что он образует специальный карбид, то красностойкость скачкообразно возрастает.

Это обусловлено тем, что специальный карбид выделяется из мартенсита и коагулирует при более высоких температурах, чем карбид железа, так как для этого требуется не только диффузия углерода, но и диффузия легирующих элементов.

Практически заметная коагуляция специальных карбидов хрома, вольфрама, молибдена, ванадия происходит при температурах выше  $500 \text{ }^\circ\text{C}$ .

Таким образом, красностойкость создается легированием стали карбидообразующими элементами (вольфрамом, молибденом, хромом, ванадием) в таком количестве, при котором они связывают почти весь углерод в специальные карбиды и эти карбиды переходят в раствор при закалке.

Несмотря на сильное различие в общем химическом составе, состав твердого раствора очень близок во всех сталях, атомная сумма  $W+Mo+V$ , определяющая красностойкость, равна примерно 4 % (атомн.), отсюда красностойкости и режущие свойства у разных марок быстрорежущих сталей близки.

Быстрорежущая сталь, содержащая кобальт, превосходит по режущим свойствам остальные стали (он повышает красностойкость), но кобальт очень дорогой элемент.

## Маркировка быстрорежущих сталей

В советских и российских марочниках сталей марки быстрорежущих сталей обычно имеют особую систему обозначений и начинаются с буквы «Р» (рапид — скорость).

Связанно это с тем, что эти стали были изобретены в Англии, где такую сталь называли *«rapid steel»*.

Цифра после буквы «Р» обозначает среднее содержание в ней **вольфрама** (в процентах от общей массы), буква В пропускается. Затем указывается после букв М, Ф и К содержание молибдена, ванадия и кобальта.

Инструменты из быстрорежущей стали иностранного производства обычно маркируются **аббревиатурой HSS** (High Speed Steel).

## Из истории создания и развития быстрорежущих сталей



Для обточки деталей из дерева, цветных металлов, мягкой стали резцы из обычной твердой стали были вполне пригодны, но при обработке стальных деталей резец быстро разогревался, скоро изнашивался, и деталь нельзя было обтачивать со скоростью больше 5 м/мин.

Барьер этот удалось преодолеть после того, как в 1858 г. Мюшетт получил сталь, содержащую 1,85 % углерода, 9 % вольфрама и 2,5 % марганца.

Спустя десять лет Мюшетт изготовил новую сталь, получившую название самокалки.

**Она содержала 2,15 % углерода, 0,38 % марганца, 5,44 % вольфрама и 0,4 % хрома.**

Через три года на заводе Самуэля Осберна в Шеффилде началось производство мюшеттовой стали.

Она не теряла режущей способности при нагревании до 300 °С и позволяла в полтора раза увеличить скорость резания металла — 7,5 м/мин.

Спустя сорок лет на рынке появилась быстрорежущая сталь американских инженеров Тэйлора и Уатта.

Резцы из этой стали допускали скорость резания до 18 м/мин.

Эта сталь стала прообразом современной быстрорежущей стали Р18.

Еще через 5 — 6 лет появилась **сверхбыстрорежущая** сталь, допускающая скорость резания до 35 м/мин.

Так, благодаря вольфраму было достигнуто повышение скорости резания за **50 лет в семь раз** и, следовательно, во столько же раз повысилась производительность металлорежущих станков.

Дальнейшее успешное использование **вольфрама нашло себе применение в создании твердых сплавов**, которые состоят из вольфрама, хрома, кобальта.

Были созданы такие сплавы для резцов, как **стеллит**.

Первый **стеллит** позволял повысить скорость резания до 45 м/мин при температуре 700—750 °С.

Сплав **видиа**, выпущенный Круппом в 1927 г., имел твердость по шкале Мооса 9,7 — 9,9 (у алмаза по этой шкале твердость 10).

В 70-х годах XX века, в связи с дефицитом вольфрама, быстрорежущая сталь марки Р18 была почти повсеместно заменена на сталь марки Р6М5, которая в свою очередь вытесняется безвольфрамовыми Р0М5Ф1 и Р0М2Ф3.

## **Химический состав быстрорежущих сталей**

Таблица 2. Химический состав некоторых быстрорежущих сталей

Марка стали	C	Cr	W	Mo	V	Co
P0M2Ф3	1,10 ÷ 1,25	3,8 ÷ 4,6	-	2,3 ÷ 2,9	2,6 ÷ 3,3	-
P6M5	0,82 ÷ 0,90	3,8 ÷ 4,4	5,5 ÷ 6,5	4,8 ÷ 5,3	1,7 ÷ 2,1	<0,50
P6M5Ф2K8	0,95 ÷ 1,05	3,8 ÷ 4,4	5,5 ÷ 6,6	4,6 ÷ 5,2	1,8 ÷ 2,4	7,5 ÷ 8,5
P9	0,85 ÷ 0,95	3,8 ÷ 4,4	8,5 ÷ 10,0	<1,0	2,0 ÷ 2,6	-
P18	0,73 ÷ 0,83	3,8 ÷ 4,4	17,0 ÷ 18,5	<1,0	1,0 ÷ 1,4	<0,50

## Изготовление и обработка быстрорежущих сталей

Быстрорежущие стали изготавливают как классическим способом (разливка стали в слитки, прокатка и проковка), так и методами порошковой металлургии (распыление струи жидкой стали азотом).

Качество быстрорежущей стали в значительной степени определяется степенью ее прокованности.

При недостаточной проковке изготовленной классическим способом стали наблюдается карбидная ликвация.

При изготовлении быстрорежущих сталей распространенной ошибкой является подход к ней как к «самозакаливающейся стали». То есть достаточно нагреть сталь и охладить на воздухе, и можно получить твердый износостойкий материал. Такой подход абсолютно не учитывает особенности высоколегированных инструментальных сталей.

**Перед закалкой быстрорежущие стали необходимо подвергнуть отжигу.**

В плохо отожженных сталях наблюдается особый вид брака:

нафталиновый излом, когда при нормальной твердости стали она обладает повышенной хрупкостью.

Грамотный выбор температуры закалки обеспечивает максимальную растворимость легирующих добавок в α-железе, но не приводит к росту зерна.

После закалки в стали остается 25 ÷ 30 % остаточного аустенита. Помимо снижения твердости инструмента, остаточный аустенит приводит к снижению теплопроводности стали, что для условий работы с интенсивным нагревом режущей кромки является крайне нежелательным.



Снижения количества остаточного аустенита добиваются двумя путями: обработкой стали холодом или многократным отпуском. При обработке стали холодом ее охлаждают до  $(-80 \div -70) ^\circ\text{C}$ , затем проводят отпуск. При многократном отпуске цикл «нагрев — выдержка — охлаждение» проводят по 2 — 3 раза. В обоих случаях добиваются существенного снижения количества остаточного аустенита, однако полностью избавиться от него не получается.

## Применение быстрорежущей стали

В настоящее время использование быстрорежущей стали существенно сократилось в связи с широким распространением твёрдых сплавов.

Из быстрорежущей стали изготавливают в основном концевой инструмент (метчики, свёрла, фрезы небольших диаметров). В токарной обработке резцы со сменными и напайными твердосплавными пластинами почти полностью вытеснили резцы из быстрорежущей стали.

По применению отечественных марок быстрорежущих сталей существуют следующие рекомендации:

- **Сталь Р9** рекомендуют для изготовления инструментов простой формы не требующих большого объема шлифовки, для обработки обычных конструкционных материалов (резцов, фрез, зенкеров).
- Для фасонных и сложных инструментов (для нарезания резьб и зубьев), для которых основным требованием является высокая износостойкость, рекомендуют использовать сталь **Р18** (вольфрамовая).
- Кобальтовые быстрорежущие стали **Р9К5**, **Р9К10** применяют для обработки деталей из труднообрабатываемых коррозионно-стойких и жаропрочных сталей и сплавов, в условиях прерывистого резания, вибраций, недостаточного охлаждения.
- Ванадиевые быстрорежущие стали **Р9Ф5**, **Р14Ф4** рекомендуют для изготовления инструментов для чистовой обработки (протяжки, развёртки, шеверы). Их можно применять для обработки труднообрабатываемых материалов при срезании стружек небольшого поперечного сечения.
- Вольфрамомолибденовые стали **Р9М4**, **Р6М3** используют для инструментов, работающих в условиях черновой обработки, а также для изготовления протяжек, долбяков, шеверов, фрез.

Материал подготовил  
на уроках Материаловедения  
Баранов Владимир,  
группа № 42.