

УДК 669-1:620.22

БЫСТРОРЕЖУЩИЕ СТАЛИ

Костромин А. И., студент гр. МСс-241, I курс
Кузбасский государственный технический университет
имени Т. Ф. Горбачева, г. Кемерово

Введение

Быстрорежущие стали (Р-серии) представляют собой особую группу инструментальных сталей, специально разработанных для создания режущего инструмента, способного эффективно работать в условиях высоких скоростей, повышенных температур и значительных ударных нагрузок. Их ключевой характеристикой является красностойкость, что означает их способность сохранять твёрдость и режущие свойства даже при нагреве до 600–650°C. Благодаря своим уникальным свойствам, быстрорежущие стали находят широкое применение в различных отраслях, включая металлообработку, машиностроение и авиакосмическую промышленность.

Химический состав

Содержание элементов в быстрорежущих сталях:

- Углерод (C): 0,7–1,5% — обеспечивает формирование карбидов и твердость стали. В сталях с повышенным содержанием ванадия устанавливается больше углерода.
- Хром (Cr): 3,8–4,4% — необходим для прокаливаемости и коррозионной стойкости.
- Вольфрам (W): 6–18% — обеспечивает красностойкость (сохранение твердости при высоких температурах). Число после буквы «Р» в маркировке стали указывает на среднее содержание вольфрама в процентах.
- Молибден (Mo): 2–10% — может заменять вольфрам и улучшает прокаливаемость.
- Ванадий (V): 1–5% — увеличивает износостойкость стали. С ростом содержания ванадия увеличивается содержание углерода.
- Кобальт (Co): 5–12% — увеличивает теплостойкость и твердость стали.

Другие элементы, которые могут содержаться в быстрорежущих сталях:

- Кремний (Si): до 1,2%
- Марганец (Mn): до 0,6%
- Никель (Ni): до 0,4%
- Цирконий (Zr): 0,1–0,2% (в сталях 10P6M5)
- Ниобий (Nb): 0,05–0,25% (в сталях 10P6M5 и 10P6M5K5)
- Азот (N): 0,05–0,12% (в сталях 10P6M5)

Примером химического состава быстрорежущей стали является марка Р6М5, которая содержит 0,82–0,9% углерода, 0,2–0,5% кремния, 0,2–0,5% марганца, до 0,6% никеля, 5,5–6,5% молибдена и 3,8–4,4% хрома.

Классификация

Классификация по составу:

- Вольфрамовые стали (например, Т1, Т15, Р18, Р12Ф5К5): характеризуются высокой износостойкостью и подходят для изготовления сложных инструментов.
- Молибденовые стали (например, Р6М5, М2, HSS): отличаются красностойкостью и универсальностью.
- Высоколегированные стали (например, Р9К5, Р9К10, М42): устойчивы к высоким температурам и используются для обработки сложных материалов.

Классификация по производительности:

- Стали нормальной производительности: характеризуются пониженной теплостойкостью (615–620 °С). К ним относятся вольфрамовые стали (Р9, Р12, Р18), вольфрамомолибденовые (Р6М5, Р6М3, Р8М3 и др.) и безвольфрамовые стали (9Х6М3Ф3АГСТ, 9Х4М3Ф2АГСТ и др.).
- Стали повышенной производительности: быстрорежущие дисперсионно-твердеющие сплавы с высокой теплостойкостью и режущими свойствами.

Технология производства

Традиционные методы:

1. Плавление: Процесс начинается с плавления шихты (смеси железа и легирующих элементов) в электропечах (электродуговых и индукционных) при высоких температурах (1500–1700°С). Вводятся легирующие элементы в точных пропорциях для равномерного распределения и обеспечения необходимых свойств сплава.
2. Литье: Жидкую сталь разливают в специальные формы при высоких температурах, чтобы предотвратить преждевременное затвердевание. Обычно используется метод непрерывной разливки для получения заготовок с минимальными внутренними дефектами. Полученные заготовки охлаждаются для предотвращения трещин и напряжений.
3. Прокатка: Заготовки проходят через прокатные станы при температуре выше 1000°С, где их многократно сжимают, уменьшая толщину и придавая нужную форму. Горячая прокатка улучшает плотность и устраняет дефекты.
4. Термическая обработка: После прокатки сталь подвергается закалке и отпуску. Закалка включает нагрев до высокой температуры (около 1200°С) и быстрое охлаждение. Это формирует твердые карбиды, придающие стали твердость и износостойкость.

Порошковая металлургия:

1. Металлические порошки различных составов смешиваются и обрабатываются под высоким давлением и температурой. Этот метод

позволяет получать сплавы с точным химическим составом и высокой чистотой, что повышает качество и надежность материала.

2. Расплавленный состав распыляется с помощью азота.

Дополнительные технологии:

- Применение технологий высокой чистоты: Методы вакуумной плавки и современные способы анализа состава сплава позволяют получать материал с минимальным количеством примесей, что повышает его свойства и стабильность.
- Наноструктурирование: Создание сплавов с уникальными наноструктурами, которые обеспечивают улучшенные механические свойства и режущую способность.
- Поверхностная обработка: Для улучшения качества, поверхность изделий подвергают дополнительной обработке азотом, цинком и серосодержащими сульфидами.

Важным аспектом является термическая обработка, включающая закалку и отжиг для изменения структуры и свойств сплава, достижения оптимальной твердости, устойчивости к износу и термостойкости. Перед закалкой быстрорежущие стали необходимо подвергнуть отжигу, чтобы избежать нафталинового излома (повышенной хрупкости при нормальной твердости). После закалки сталь охлаждают до $-80...-70$ °С, затем проводят отпуск. Также применяют многократный отпуск (цикл «нагрев — выдержка — охлаждение» проводят 2—3 раза) для снижения количества остаточного аустенита.

Применение

Быстрорежущие стали широко используются для изготовления инструментов, работающих в условиях высоких скоростей и температур. Их применение обусловлено уникальными свойствами, такими как теплостойкость, твердость, износостойкость и сопротивление пластической деформации.

Основные области применения быстрорежущих сталей:

- Изготовление режущего инструмента: Сверла, резцы, фрезы, метчики и другие инструменты для металлообработки изготавливаются из быстрорежущих сталей.
- Производство деталей для станков и оборудования: Быстрорежущие стали используются для изготовления деталей металлообрабатывающих станков и оборудования, требующих высокой прочности и износостойкости.
- Чистовая отделка: Инструменты из быстрорежущих сталей применяются для чистовой отделки труднообрабатываемых металлических изделий.
- Ножи: Клинки ножей из быстрорежущей стали обладают особыми свойствами.

В зависимости от состава и свойств, различные марки быстрорежущих сталей применяются для разных целей:

- Сталь P9: Рекомендуется для инструментов простой формы, не требующих большого объема шлифовки, для обработки обычных конструкционных материалов.
- Сталь P18: Рекомендуется для фасонных и сложных инструментов, для нарезания резьб и зубьев, где основным требованием является высокая износостойкость.
- Кобальтовые быстрорежущие стали (P9K5, P9K10): Применяются для обработки деталей из труднообрабатываемых коррозионно-стойких и жаропрочных сталей и сплавов, в условиях прерывистого резания, вибраций и недостаточного охлаждения.
- Ванадиевые быстрорежущие стали (P9Ф5, P14Ф4): Рекомендуются для изготовления инструментов для чистовой обработки (протяжки, развертки, шеверы) и могут применяться для обработки труднообрабатываемых материалов при срезании стружек небольшого поперечного сечения.
- Вольфрамомолибденовые стали (P9M4, P6M3): Используются для инструментов, работающих в условиях черновой обработки, а также для изготовления протяжек, долбяков, шеверов и фрез.

Преимущества и недостатки

Преимущества:

- Высокая твердость и износостойкость: Инструменты из быстрорежущей стали эффективно противостоят износу и сохраняют остроту режущей кромки в течение длительного времени. Твердость может достигать 67 HRC.
- Высокая термостойкость (красностойкость): Быстрорежущая сталь сохраняет свои режущие свойства при высоких температурах (до 600-700°C). Это позволяет использовать инструменты на высоких скоростях резания.
- Высокая режущая способность: Быстрорежущая сталь способна обрабатывать материалы с высокой твердостью, такие как нержавеющая сталь и титан.
- Улучшенная производительность: Применение быстрорежущей стали позволяет повысить производительность процессов обработки за счет возможности высоких скоростей резания и уменьшенного времени для замены инструментов.
- Однородность структуры.
- Гибкость и пластичность: Быстрорежущие стали обладают гибкостью и пластичностью при боковых и ударных нагрузках.
- Хорошая прочность и ударная вязкость.
- Возможность многократной заточки: Инструменты из быстрорежущей стали можно затачивать повторно.

- Относительная простота обработки: Быстрорежущие стали хорошо поддаются механической обработке, такой как шлифование, что снижает затраты на изготовление и заточку режущего инструмента.

Недостатки:

- Хрупкость: При неправильной обработке металла в процессе изготовления клинка ножа, быстрорежущая сталь может быть хрупкой.
- Высокая стоимость: Процесс производства хорошего ножа из быстрореза технически сложный и дорогостоящий, что влияет на конечную стоимость изделия.
- Ограниченная прочность: Быстрорежущая сталь HSS не отличается высокой прочностью и выдерживает нагрузки максимум до 900 МПа.
- Карбидная неоднородность: В процессе кристаллизации расплава обычной быстрорежущей стали образуются карбидные неоднородности, которые затем становятся очагами снижения прочности - возникновения микротрещин и выкрашивания материала.
- Снижение использования: В последние десятилетия использование быстрорежущей стали сокращается из-за распространения твердых сплавов.
- Ограниченная теплостойкость: При нагреве 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 производительен, чем инструмент из углеродистой стали.

Список литературы:

1. Гвоздев А. Е. Производство заготовок быстрорежущего инструмента в условиях сверхпластичности. М.: Машиностроение, 1992.
2. Падалко О. В. Спечённые быстрорежущие стали // Итоги науки и техники. Серия «Порошковая металлургия». М., 1983. Т. 1. С. 3–70.
3. Кремнев Л. С. Теория легирования быстрорежущих сталей // Металловедение и термическая обработка металлов. 1991. № 6. С. 10–14.
4. Геллер Ю. А. Инструментальные стали. М.: Металлургия, 1983.
5. Ляпунов А. И., Апарова А. И. Современное состояние и перспективы развития производства быстрорежущих сталей в СССР // Горячая обработка инструмента и исследования инструментальных материалов. М., 1981. С. 7–17.
6. Манукян Н. В., Петросян Х. Л., Агбалян С. Г. Исследование термической обработки быстрорежущей стали Р6М5 // Сталь. 2002. № 5. С. 58–63.
7. Гуляев А. П. Металловедение. Учебник для вузов. 6-е изд., перераб. и доп. М.: Металлургия, 1986.