

строение, 1966. - С. 8-24.

21. Раузин Я.Р. Термическая обработка хромистой стали. Изд. 4-е.- М.: Машиностроение, 1978. - 278 с.

22. Гуляев А.П. Металловедение. Изд. 6 е. - М.: Металлургия, 1986.- 34с.

39. Кириллов Н.Б. Исследование процесса распада пересыщенных твердых растворов в инструментальных сталях // Известия РАЯ. Металлы. - 1994. - №6. - С. 88-92.

24. Гуляев А.П., Лебедева Е.А. Исследование стали марки X12ФН.- М.: ЦБТИ, 1952. - 39 с.

СВОЙСТВА И СТРУКТУРА БЫСТРОРЕЖУЩИХ СТАЛЕЙ ПОСЛЕ ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНОГО КРАТКОВРЕМЕННОГО И КОМБИНИРОВАННОГО ОТПУСКОВ

Ю.В.Шахназаров,
Лю Хо Сек,
А.Ю.Шахназаров
СПбГТУ

Проблема понимания природы дисперсионного упрочнения быстрорежущих сталей (как и мартенситно-стареющих) осложняется установленной Р.Хоникомбом зависимостью эффекта твердения (высота пика) в чистейших по примесям тройных сплавах от наличия ничтожных долей (0,07% ат.) четвертого легирующего элемента, “запускающего” механизм старения. Вместе с тем, в быстрорежущих сталях известен эффект эстафетного наследования, который заключается в интенсификации твердения при проведении предварительного низкотемпературного отпуска, следствием которого могут быть только процессы, связанные с перемещением примеси внедрения (углерода). Процессы же при стандартном (560°C) или высокотемпературном кратковременном отпусках (нагревах), в том числе для определения красностойкости, обусловлены перемещением примесей замещения. Показано, что эффект наследования имеет место и при высокотемпературных отпусках, что проявляется в повышенной твердости и красностойкости.

Наименее изучены структурные особенности быстрорежущих сталей после высокотемпературных и комбинированных отпусков, а также трещиностойкость и прочность.

Исследована взаимосвязь твердости (HRC), красностойкости (K), трещиностойкости (P_T) и прочности (P), параметра решетки (a_0 , a_k) и ширины рентгеновской линии (B_0 , B_k), определенных после отпуска и после определения красностойкости. Испытания сталей типа P6M5 (закалка от 1230 °C) проводили на трехточечный изгиб при расстоянии между опорами 40 мм, измеряя нагрузку разрушения (P_T , P) образцов с

исходной трещиной усталости и гладких образцов.

Отпуск проводили в печи с кипящим слоем по режимам: 1 - стандартный отпуск при 560 °С, 1 ч, 3 раза; 2.1, 2.2, 2.3 - кратковременный при 600, 630, 660 °С, 3 мин, соответственно, 3 раза; 3.1, 3.2, 3.3 - кратковременный - стандартный - кратковременный; 4.1, 4.2, 4.3 - стандартный - кратковременный - стандартный, 5.1, 5.2, 5.3 - кратковременный - стандартный - стандартный; 6 - стандартный - стандартный - кратковременный; 7.1, 7.2, 7.3 - стандартный - кратковременный - кратковременный; 8.1, 8.2, 8.3 - кратковременный - кратковременный - стандартный.

Из совместного рассмотрения стандартного режима и различных комбинаций, включающих отпуск при 600°, следует, что кратковременный отпуск повышает твердость и красностойкость, если он последний (режимы 2.1, 3.1, 6.1, 7.1), а максимальный эффект достигается, когда все три отпуска кратковременные (режим 2.1). Следовательно, последний кратковременный создает особое структурное состояние, которое преопределяет большую твердость после интенсивного нагрева для определения красностойкости (630 °С, 4 ч).

Кратковременный отпуск не ухудшает свойств, каким бы он ни был по счету. Повышение температуры кратковременного отпуска до 630 °С снижает твердость и красностойкость после всех режимов. Исключение по твердости составляет режим 4.2, а по красностойкости режим 5.2. Это естественно, так как оба режима наиболее близки к стандартному, и у них последний отпуск при 560 °С. Отсюда следует, что последний отпуск при 630 °, 3 минуты провоцирует разупрочнение при 240-минутной выдержке при той же температуре. Несопоставимо большая разница между 3 и 240 минутами исключает версию об определяемой временем диффузионной природе наследования эффекта от последнего отпуска.

Два или три отпуска при 630 °С (режимы 3.2, 7.2, 8.2, 2.2) приводят к большему разупрочнению, чем один последний (режим 6.2). Отсюда следует, что вторая 3-хминутная выдержка создает такие необратимые изменения в структуре, что они не нивелируются последующей 240-минутной выдержкой при той же температуре. Кратковременный отпуск при 630 °С в любой комбинации не снижает твердости ниже уровня, получаемого стандартным режимом. Это позволяет ожидать стабильных результатов при возможных случайных технологических перегревах. Кратковременный отпуск при 660 ° не приемлем из-за заметного снижения твердости и красностойкости.

Поскольку между твердостью после третьего отпуска и после определения красностойкости наблюдается достаточно отчетливая корреляция, свидетельствующая о наследовании структурного состояния, представляет интерес нахождение хотя бы нормальных связей K с параметрами структуры, измеренными после третьего отпуска (a_0 , B_0) и после определения красностойкости (a_k , B_k).

Введем понятие - интенсивность режима отпуска, оценивая ее по параметру решетки и ширине линии. Минимальные значения a_0 и B_0 отвечают стандартному режиму I, а максимальные - самому короткому по суммарной продолжительности режиму 2.1. Следовательно, все остальные по интенсивности являются промежуточными в отношении к двум рассмотренным. Но интенсивность режима строго не определяет твердости после него. Суммарное время отпусков по режимам 4.1, 5.1, 6.1 одинаково, различается лишь последовательность стандартных и кратковременных отпусков. Следовательно, распад мартенсита должен проходить в одинаковой степени после указанных режимов. Это подтверждается близкими по величине a_0 и B_0 . Твердость после этих режимов хотя и близкая, но разная. Аналогичное заключение можно сделать, сопоставив по B_0 более короткие по суммарному времени режимы 3.1 и 7.1. После них получены также близкие, но, естественно, более высокие, чем после режимов 4.1, 5.1, 6.1, значения B_0 . Таким образом, сгруппировав режимы по a_0 и B_0 , можно только очень приблизительно объяснить достаточно расплывчатую общую тенденцию к росту твердости при увеличении параметра решетки и ширины линии уменьшением степени распада твердого раствора при термообработке.

Таблица

Режим отпуска	HRC	K	P_T	P
			кгс	
560 °C, 1 ч, 3 раза	64	57	181	3700
600 °C, 3, 3 раза	66	58,5	199	3460
600 °, 3, 2 раза, 560 °, 1ч	64,5	57	185	3400
600 °, 3, 560 °, 1 ч, 2 раза	64	56,5	185	3570
560 °, 1 ч, 600 °, 3, 2 раза	65,5	57,5	197	3510
560 °, 1 ч, 2 раза, 600 °, 3	64,5	57	184	3670
600°, 1,5, 6 раз	66	58,5	201	3390
600°, 1,5, 5 раз, 560 °, 1 ч.	65	57,5	191	3440
560 °, 1 ч, 600°, 1,5, 5 раз, 1ч	66	58	193	3310

Наследование структурного состояния, достигнутого термообработкой, проявляется в достаточно четкой тенденции к росту K при увеличении ширины линии, измеренной после третьего отпуска.

Режимы 2.1 и 8.1, 4.1 и 6.1 можно сгруппировать по примерно одинаковой степени распада, оцененной по V_0 . Но это не раскрывает причину повышенной красностойкости после режимов 2.1 и 6.1. Из сопоставления режимов 4.1 и 6.1, имеющих одну выдержку при $600\text{ }^\circ\text{C}$ и различающихся только последовательностью вторых и третьих отпусков, следует, что одна часовая выдержка при 500 ° (третий отпуск в режиме 4.1) ликвидирует те особенности структурного состояния, которые получены при $600\text{ }^\circ\text{C}$ в течение 3 минут (второй отпуск).

После определения красностойкости картина резко меняется. Это свидетельствует о том, что при нагреве для определения красностойкости по-разному реализуются те структурные особенности, которые были заложены разными предшествующими отпусками. Неизменно только по отношению к другим режимам высокое положение данных по V_k для режимов 2.1, 3.1, 6.1, 7.1, у которых последней операцией является отпуск при $600\text{ }^\circ\text{C}$. Восьмые и шестые режимы являются антиподами по двум в наибольшей степени и по-разному определяющим V_k признакам: по последнему отпуску и по количеству стандартных отпусков. Но у этих режимов одинаково слабая температурная зависимость, а абсолютные значения V_k одинаково велики и близки. Это не позволило установить причину разного характера нагрева при $630\text{ }^\circ\text{C}$ в течение 4 часов на ширину линии, особенно в связи с тем, что только для кратковременных отпусков между K и V_k наблюдается отчетливая корреляция.

Кратковременный и комбинированные отпуска обеспечивают повышенную трещиностойкость (табл.). Причем не обнаружено разницы между отпусками одинаковой интенсивности ($600\text{ }^\circ\text{C}$, 3 мин, 3 раза и $600\text{ }^\circ\text{C}$, 1,5 мин, 6 раз). Такое благоприятное влияние отпуска (даже в комбинации с последним стандартным) при одновременно более высокой твердости можно связать с более равномерным распределением упрочняющей фазы. Это объяснение нельзя признать удовлетворительным, так как прочность на гладких образцах максимальна после стандартного режима, кратковременные и комбинированные отпуска снижают ее. Вряд ли равномерное распределение может облегчить зарождение трещины. Небольшая разница в количестве остаточного аустенита (1-3%) вряд ли может изменить прочность. Вероятно, это является следствием разного механического поведения при изменении условий испытания, что известно для многих материалов.

Таким образом, высокотемпературные кратковременные отпуска, повышая твердость, красностойкость и трещиностойкость, снижают прочность, что необходимо учитывать при выборе режимов обработки для инструмента различного назначения.