

азотом.

Отпуск и старение закаленных сталей

Отпуск закаленных сталей – процесс нагрева и выдержки закаленной стали при температуре на 20-30 °С ниже критической A_{c1} . Во время отпуска происходит превращение мартенсита и остаточного аустенита, в результате чего уменьшаются внутренние напряжения и хрупкость, повышаются вязкость и пластичность стали.

Отпуску необходимо подвергать все закаленные детали, кроме тех, которые прошли изотермическую закалку. В зависимости от требуемых температур отпуск проводят в масляных или селитровых ваннах, в печах с принудительной циркуляцией воздуха, а также в ваннах с расплавленной щелочью (светлый отпуск).

Отпуск технологической оснастки из углеродистой и легированной сталей следует проводить преимущественно в жидких средах, желательнее в расплавленных солях. Для обеспечения качественного отпуска крупногабаритного инструмента сложной формы (фрезы, долбяки, шеверы и т. п.) более рационально проводить замедленный нагрев в печах с перемешиваемой атмосферой или в атмосфере пара.

Режимы отпуска инструментальных сталей (с. 47-51) определяются их химическим составом и требуемой твердостью. Охлаждение после отпуска может быть медленным, если сталь не склонна к отпускной хрупкости. В противном случае охлаждение ведут быстро.

По условиям нагрева различают отпуск высокий, низкий, средний и многократный. При *высоком отпуске*, когда температура нагрева достаточно высока, сталь приобретает сорбитовую структуру. Для конструкционной стали температура сорбитизации равна 450-670 °С. В процессе высокого отпуска закаленную сталь, охлажденную до температуры ниже 300 °С, не следует помещать в печь с высокой температурой, так как быстрый нагрев может привести к растрескиванию. При *низком отпуске* температура нагрева ограничена необходимостью сохранения высокой твердости. Высокохромистые, инструментальные и быстрорежущие стали нагревают до 400-600 °С. *Средний отпуск* применяют при необходимости сохранить упругие свойства в сочетании с достаточной вязкостью и проводят при температуре нагрева 350-480 °С.

При *многократном отпуске* процесс нагрева, выдержки и охлаждения повторяют несколько раз. Такой отпуск рекомендуется в основном для быстрорежущей стали. При проведении многократного отпуска инструмента из быстрорежущей стали необходимо охлаждение инструмента до 20 °С (после каждого отпуска) на спокойном воздухе либо струей воздуха, нагретой до 20-25 °С. Для охлаждения можно также использовать водяной туман.

Заменять продолжительный отпуск большим числом кратковременных отпусков при более высоких температурах (например, двукратный отпуск по 30 мин при 580 °С или двукратный отпуск по 15 мин при 600 °С) можно при термической обработке инструмента из сталей типа P9 и P18. Кратковременный отпуск при 580 °С допускается в автоматизированных агрегатах и в стационарных соляных ваннах с обязательным автоматическим регулированием температуры расплава с точностью ± 5 °С и строгим выполнением технологии отпуска. Кратковременный отпуск при 600 °С допускается применять только в

автоматизированных конвейерных агрегатах и линиях, где можно соблюдать малую выдержку (10-15 мин) при единичной загрузке деталей в специальные приспособления.

В случае проведения отпуска в ваннах или в печах с газовой атмосферой необходимо соблюдать следующие правила: не загружать детали на под печи, особенно если печь до загрузки работала при более высоких температурах; применять специальные корзины или поддоны, которые изолируют отпускаемые детали от прямого контакта с подом печи; при использовании жидких отпускных ванн подогревать инструмент перед его загрузкой в ванну.

Отпуск проводят также и на цвет побежалости, нагревая детали в печах, на электроплите, в горячем песке и т. п. Появляющаяся в результате нагрева оксидная пленка приобретает различные цвета побежалости, зависящие от температуры отпуска. Перед отпуском на один из цветов побежалости необходимо зачистить деталь, снять окалину, нагар масла и пр. В табл. 22 приведены температуры, соответствующие цветам побежалости.

Температура отпуска зависит от состава стали и требуемой твердости. Для получения твердости не менее 59-60 HRC₃ отпуск проводят при температуре 150-250 °С. Штампы из углеродистой стали для горячей штамповки, цанги и ударный инструмент отпускают при температуре 250-400 °С. При этом мартенсит превращается в троостит, твердость HRC₃ снижается от 50 до 45, повышается пластичность. Штампы для горячей штамповки и детали приспособлений из легированных сталей отпускают при температуре 400-600 °С. В результате такого отпуска образуется сорбитовая структура. Твердость HRC₃ снижается от 45 до 30, резко повышаются пластичность и ударная вязкость. Быстрорежущую сталь отпускают при температуре 540-580 °С. Отпуск сопровождается увеличением твердости ("вторичное отвердевание"), так как происходит выделение карбидов из аустенита, который при последующем охлаждении превращается в мартенсит. Для быстрорежущих сталей марок P12, P18, P18K5Ф2 выполняют три отпуска; для P14Ф4, P10K5, P9Ф5 – три-четыре отпуска; для P9M4, P6M3 – два отпуска.

Продолжительность отпуска приведена в табл. 23; твердость закаленной инструментальной стали в зависимости от температуры отпуска – в табл. 24.

Охлаждение после отпуска проводят на воздухе. Стали, содержащие хром и никель, после отпуска в интервале температур 450-650 °С охлаждают в масле или воде, так как при более медленном охлаждении они становятся хрупкими.

Измерительный инструмент высокой точности диаметром или толщиной

**22. Температуры, соответствующие цветам побежалости
металлической поверхности**

Цвет побежалости	Температура, °С	Толщина окисленного слоя, мкм
Светло-желтый	220	0,45
Соломенно-желтый	240	0,45
Желто-коричневый	255	0,50
Красно-коричневый	265	0,50
Фиолетовый	280	0,65
Синий	300	0,65
Голубой	315	0,72
Серый	300-350	0,72

**23. Ориентировочная продолжительность отпуска
инструментальной стали в электрических печах с принудительной циркуляцией
воздуха**

Наибольший размер сечения технологической оснастки, мм	Температура, °С	Продолжительность выдержки (мин) для сечения		
		Круглого	Квадратного	Прямоугольного
25	200-400	110-120	130-140	160-170
50	200-400	Св. 120 до 130	150-160	180-190
100	200-400	140-150	180-190	210-220
100	180-200	150	180	210

Примечание. При отпуске в соляных или масляных ваннах продолжительность выдержки пересчитывают с учетом коэффициента, равного 0,4.

15-20 мм отпускают при 125-130 °С в течение 24-36 ч, диаметром или толщиной более 20 мм при 125-130 °С в течение 36-48 ч. Один продолжительный отпуск можно заменить несколькими кратковременными, но с суммарной продолжительностью, равной указанной выше. Двукратный отпуск измерительного инструмента проводят по следующей схеме: первый отпуск при температуре 135-140 °С в течение 1-2 ч; второй - при 120-125 °С в течение 1-2 ч. Вторичный отпуск инструмента при 120-130 °С в течение 2-3 ч применяют для снятия напряжений, вызванных шлифованием.

Инструмент, который должен иметь высокую твердость (58-60 HRC), отпускают при 150-200 °С. В этом случае твердость снижается незначительно. Отпуск при более низких температурах (120-160 °С) применяют для измерительного инструмента для снятия напряжений после чернового шлифования. Такой отпуск рекомендуется проводить в нагревательной масляной ванне (старение).

Дополнительный отпуск после заточки и шлифования инструмента из быстрорежущей стали проводят для повышения его износостойкости. Режим дополнительного отпуска: температура нагрева 360-370 °С, время выдержки 2 ч, охлаждение на воздухе. Отпуск проводят в отпускной печи. Стойкость инструмента при этом повышается максимально в 1,5 раза.

Улучшение – процесс, состоящий из закалки и последующего высокого отпуска при 500-700 °С. Улучшению подвергают стали для получения необходимого сочетания прочности и вязкости. Улучшение углеродистой и легированной сталей проводят до закалки и отпуска, а быстрорежущей стали и ее заменителей – после термической обработки режущей части инструмента.

Улучшение легированных сталей выполняют в такой последовательности: закалка в масле (после предварительной механической обработки) от температуры 1290 °С для сталей типа P18 и от 1250 °С для сталей типа P9; нормализация с нагревом до 840-860 °С; закалка при 920-950 °С; отпуск при 670-720 °С с выдержкой 2-3 ч до получения твердости 33-37 HRC и для достижения хорошей обрабатываемости при чистой обработке резанием; закалка осуществляется по обычным режимам (табл. 25).

Для улучшения структуры и уменьшения деформации при последующей термической обработке применяют комбинированную термическую обработку – закалку в масле с последующим отжигом. Температуру нагрева для

24. Твердость закаленных легированных инструментальных сталей в зависимости от температур отпуска

Сталь	Твердость HRC при температуре отпуска, °С				
	160-200	200-300	300-400	400-500	500-600
7ХФ	60-59	59-55			
8ХФ	61-60	60-55	-	-	-
9ХФ	62-60	60-55	-	-	-
11ХФ	64-60	60-55	55-50	50-41	-
13Х	64-61	60-55	55-50	50-41	-
ХВ4	66-64	64-60	60-53	53-48	48-40
В2Ф	62-59	59-55	55-49	49-41	41-35
9Х1, Х, ШХ15	64-61	61-55	49-55	49-41	41-28
12Х1, 9ХС, ХГС	64-63	63-59	59-54	54-47	47-39
9ХВГ	63-60	60-56	-	-	-
ХВГ	63-62	62-58	58-52	52-46	46-37
ХВСГ	64-63	63-59	59-54	54-47	47-39
9Х5ВФ	61-59	-	-	-	-
8Х6НФТ	62-58	-	-	-	-
8Х4В3М3Ф2	62-59	-	-	-	-
Х6ВФ	63-58	-	-	-	-
Х12	65-62	62-59	59-58	58-56	56-50
Х12М	63-62	62-59	59-57	57-55	55-47
Х12Ф1	63-59	59-57	57-57	-	-
7ХГ2ВМ	60-59	59-56	56-53	53-48	48-39
6Х6В3МФС	-	-	-	-	60-58
7Х3, 8Х3	-	60-58	58-55	55-50	50-39
5ХВМ	-	59-58	58-48	48-35	-
5ХНВ	-	-	-	47-41	41-34
5ХНВС	-	-	-	-	41-35
5ХГМ	-	57-52	52-46	46-40	40-34
4ХМФС	-	-	-	-	46-36
4Х5В2ФС	-	-	-	-	52-51
4Х5МФС	-	-	-	-	50-45
4Х5МФ1С	-	-	-	-	50-45
4Х3ВМФ	-	-	-	50-45	-
4Х4ВМФС	-	-	-	-	53-47
3Х3М3Ф	-	-	-	-	50-45
3Х2В8Ф	52-49	49-48	48-46	46-45	45-40
4Х2В5МФ	-	-	-	-	50-45
4Х2В2МФС	-	-	-	-	50-45
5Х3В3МФС	-	-	-	-	50-45
5Х2МНФ	-	-	-	-	50-45
4ХС	До 52	52-51	51-48	48-42	42-35
6ХС	-	60-55	55-52	52-42	42-36
4ХВ2С	-	53-51	51-49	49-42	42-33
5ХВ2С	54-52	52-48	48-42	42-36	-
6ХВ2	-	58-53	53-49	49-43	43-35
6ХВГ	-	55-52	52-47	47-43	43-35

**25. Температура отжига, закалки и отпуска
инструментальных сталей**

Сталь	Температура, °С			Твердость после отпуска HRC, не более
	Отжига	Закалки	Отпуска	
У7, У7А	690-710	810-840	140-200	63
У8, У8А	690-710	800-820	140-200	63
У10, У10А	750-770	790-810	140-200	65
У12, У12А	750-770	790-810	140-200	65
У13, У13А	750-770	790-810	140-200	65
Р5К10	860-880	1220-1240	570-610	66
Р6М3	850-870	1220-1240	570-610	66
Р6М5	840-860	1225-1235	550-560	65
Р8М3К6С	870-890	1200-1230	535-565	69
Р9	830-850	1230-1250	550-570	62
Р9К5	860-880	1220-1240	570-580	66
Р9К10	840-860	1235-1245	565-575	66
Р9Ф5	840-860	1220-1240	570-580	66
Р9М4К8	840-860	1210-1240	540-560	68
Р10К5Ф5	860-880	1230-1250	570-610	67
Р12	860-880	1240-1260	560-570	65
Р12Ф2К8М3	850-860	1220-1250	540-560	68
Р14Ф4	860-880	1240-1260	560-610	66
Р18, Р18М	860-880	1270-1290	550-570	62
Р18Ф2	860-880	1270-1290	570-610	66
Р18К5Ф2	860-880	1270-1290	570-610	66
5ХВ2С	710-740	860-900	400-500	42
5ХНВ	830-850	840-860	480-580	42
5ХНМ	780-790	830-860	500-580	42
Х12М, Х12Ф1	850-870	1030-1050	140-200	64
ХВ5	800-820	830-850	140-170	67
ХВГ	770-790	830-850	140-170	65
Х, ШХ15	770-790	830-850	140-170	65
9ХС	790-810	860-880	140-200	65
11Х	750-770	800-820	140-250	65
13Х	750-770	780-800	100-200	67
ХВСГ	790-810	860-880	140-250	63
Х6ВФ	830-850	990-1010	150-210	64
55Х6В3СМФ	860-880	1060-1075	535-545	61

**26. Твердость закаленных углеродистых сталей
в зависимости от температуры отпуска**

Сталь	Твердость HRC при температуре отпуска, °С				
	160-200	200-300	300-400	400-500	500-600
У7, У7А	63-60	60-54	54-43	43-35	35-27
У8, У8А, У8Г	64-60	60-55	55-45	45-35	35-27
У9, У9А	63-62	62-56	56-46	46-37	37-28
У10, У10А	64-62	62-56	56-47	47-38	-
У11, У11А	65-62	62-57	57-49	49-38	-
У12, У12А	62-65	62-57	57-49	49-38	-
У13, У13А	66-62	-	-	-	-

комбинированной закалки принимают на 20-30 °С выше температуры, приведенной в табл. 25. Такой обработке подвергают заготовки для технологической оснастки сложной конфигурации, а также резьбовой инструмент после черновой обработки резанием.

Твердость закаленных углеродистых сталей в зависимости от температуры отпуска приведена в табл. 26.

Старение – процесс отпуска стали с метастабильной структурой при температуре 120-200 °С или при нормальной температуре. В процессе старения происходит изменение физических и механических свойств сталей, а структура принимает более стабильное состояние. По температурным условиям различают естественное, происходящее при нормальной температуре, и искусственное, осуществляемое при повышенной температуре (обычно не выше 200 °С), старение. По начальной структуре различают старение закаленной или наклепанной стали, проводимое для стабилизации размеров и формы детали, и старение (дис-персионное твердение) стали, имеющей в структуре пересыщенные или твердые растворы.

Применение метода неравномерной термической обработки рабочих поверхностей и его использование применительно к блокам цилиндров и втулкам ДВС

Известные технологические мероприятия и их сочетания в той или иной композиции позволяют повысить износостойкость рабочей поверхности цилиндра от нескольких процентов до нескольких раз. Однако все предлагаемые решения обеспечивают повышение износостойкости одинаково по всей поверхности трения, а условия работы деталей (цилиндра и колец) отличаются как по длине образующей цилиндра, так и по окружности, вследствие чего цилиндры подвергаются неравномерным износам. Повышенные износы в верхней части цилиндра и в плоскости качания шатуна снижают индикаторные показатели работы двигателя, приводят к увеличению расхода топлива и масла, ухудшению условий трения колец и преждевременному выходу их из строя. Установка износостойкой вставки в верхнюю зону цилиндра уменьшает в этой части пик износа цилиндра, но обеспечивается это ступенчато, не по заданному оптимальному закону изменения физико-механических свойств. Была разработана технология изготовления гильз (втулок) цилиндров автотракторных и судовых дизелей с переменной износостойкостью. Но в данном случае

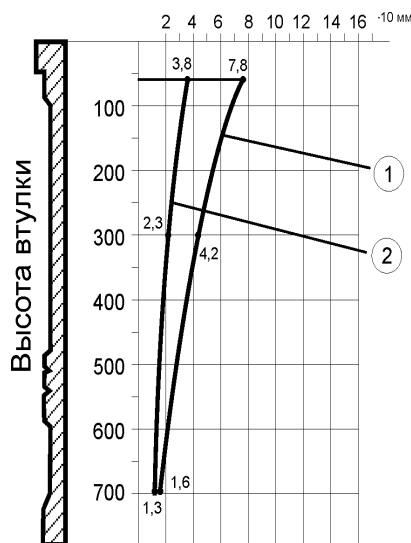


Рис. 5. Эшоры износа чугуных цилиндрических втулок дизеля 8ЧН 25/34:
1 – серийные втулки;
2 – после упрочнения