

Охлаждение ниже температуры конца мартенситного превращения не вызывает дальнейшего превращения аустенита в мартенсит. Чем больше углерода и легирующих элементов в стали, тем выше температура закалки, тем большее количество остаточного аустенита получается в закаленной стали и, следовательно, тем ниже температура начала M_n и конца M_k мартенситного превращения (см. табл. 3). На количество остаточного аустенита оказывает влияние и скорость охлаждения стали в области температур мартенситного превращения. С уменьшением этой скорости количество остаточного аустенита увеличивается, поскольку основная его часть не успевает преобразоваться и фиксируется. Поэтому в некоторых марках стали не весь аустенит превращается в мартенсит. Определенное количество его стабилизируется, причем чем больше аустенита стабилизируется, тем выше температура закалки и ниже температура мартенситного превращения. Выдержка закаленной стали при нормальной температуре ведет к стабилизации остаточного аустенита. При последующем охлаждении такой стали превращение начинается не сразу, а после циклического гистерезиса в несколько десятков градусов. Продолжительность перерыва между закалкой и криогенной обработкой влияет на степень стабилизации аустенита.

Температура, при которой аустенит стабилизируется, зависит от марки стали (температура стабилизации обозначается M_c). При температуре, превышающей M_c , аустенит не стабилизируется. Если температура M_c ниже 20 °С, то между закалкой и криогенной обработкой может быть промежуток времени любой длительности. Если температура M_c выше 20 °С, то криогенную обработку проводят сразу после закалки. Стабилизирующее влияние выдержки после закалки будет тем больше, чем выше находится точка M_c на температурной шкале. Стабилизация размеров технологической оснастки высокой точности достигается дополнительной термообработкой – старением, выполняемым с длительным нагревом до 120-150 °С после однократной криогенной обработки.

Криогенную обработку целесообразно применять для стальных нерегулируемых разверток, расточных блоков, протяжек и прошивок, гладких и резьбовых калибров (скоб, пробок, колец, шаблонов), концевых мер длины, установочных мер, рабочих деталей штампов и пресс-форм, направляющих и фиксирующих деталей станочных приспособлений, контрольных и установочных оправок и др.

Особенности криогенной обработки технологической оснастки из различных сталей

В углеродистых сталях с содержанием углерода более 0,6% в результате криогенной обработки твердость повышается независимо от той температуры, при которой была проведена закалка, т. е. при любой закалочной температуре (рис. 10). Однако при определении температуры окончания процесса криогенной обработки надо учитывать, что положение точки M на шкале температур изменяется с изменением температуры закалки (табл. 4). При закалке от температуры 750-800 °С охлаждение углеродистых инструментальных сталей до -30 °С является достаточным для максимального превращения остаточного аустенита. Однако, чем ниже температура закалки, а следовательно, чем

4. Зависимость температуры M_k углеродистой инструментальной стали от температуры заковки

Сталь	Температура, °С	
	Заковки	M_k
У8	780	0
	1000	-60
У10	780	0
	1000	-90
У12	780	-20
	1000	-100

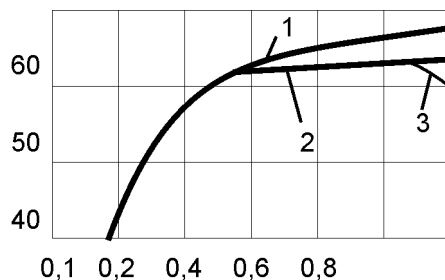


Рис. 10. Зависимость твердости закаленной углеродистой стали от содержания углерода и метода термообработки при нагреве: 1 – выше A_{c3} и обработке при криотемпературах; 2 – выше 780-800 °С; 3 – выше A_{c3}

меньше аустенит насыщен углеродом, тем меньше должен быть перерыв во времени между закалкой и криогенной обработкой. Температура мартенситного превращения углеродистой инструментальной стали некоторых основных марок приведена в табл. 5.

С повышением температуры заковки быстрорежущей стали количество остаточного аустенита в ней при нормальной температуре возрастает; стабилизируемость его уменьшается. Поэтому криогенную обработку такой стали следует проводить при более низкой температуре. Сталь, закаленная при пониженных температурах нагрева, претерпевает более полное мартенситное превращение. Промежуток времени между операциями заковки и криогенной обработки для такой стали необходимо сократить. Если в процессе охлаждения до 100°С делать остановки, то количество остаточного аустенита увеличится (табл. 6).

Для быстрорежущих сталей преимущества криогенной обработки сохраняются после отпуска при температурах до 580 °С. Если отпуск проводят при более высоких температурах, преимущество предшествующего ему охлаждения ниже нуля исчезает. Для снижения количества остаточного аустенита наиболее эффективна термообработка, включающая в себя отпуск (при 580 °С для стали типа Р18Ф2К8М или 560 °С для стали типа Р6М5Ф2К8 либо Р6М5Ф3) после заковки, криогенную обработку при -70±100 °С (для указанных типов сталей) и двукратный отпуск при 560-580 °С. После такой обработки количество остаточного аустенита приближается в стали типа Р18Ф2К8М к 1,9%, в стали типа Р6М5Ф2К8 к 0,52%; твердость стали 65-66

Сталь	Границы превращения, °С		Количество (%) остаточного аустенита после охлаждения		Прирост твердости (HRC) после охлаждения до M_k
	M_H	M_K	До 20 °С	До M_k	
У7	300-255	-55	До 5	До 1	До 0,5
У8	255-230	-55	3-5	1-5	До 1
У9	230-210	-55	5-12	3-10	1-1,5
У10	210-175	-60	6-18	4-12	1,5-3
У12	175-160	-70	10-23	5-14	3-4

**6. Зависимость количества остаточного аустенита в сталях
от продолжительности перерыва при охлаждении**

Продолжительность перерыва при охлаждении, ч	Полнота превращения аустенита	Количество остаточного аустенита
	%	
0,1	88	До 6,5
1,0	63	9,5
10,0	35	15

Быстрорежущие стали, обработанные при криотемпературах и затем отпущенные, приобретают более равномерную твердость, чем твердость сталей, охлажденных только в масле и отпущенных 3 раза при 560 °С. Для резцов из быстрорежущей стали, обрабатываемой при криотемпературах, рекомендуется двукратный отпуск при 540 °С с выдержкой не менее 1 ч каждый. Средняя стойкость инструментов, охлажденных ниже нуля, на 40-50% превышает стойкость инструментов, не подвергавшихся криогенной обработке. Температура мартенситного превращения легированной инструментальной стали некоторых основных марок приведена в табл. 7.

Криогенная обработка закаленных конструкционных сталей нецелесообразна, так как температура конца мартенситного превращения в таких сталях выше 20 °С. Этот вид обработки применяют для конструкционных сталей, предварительно прошедших цементацию, азотирование или цианирование. Высокое содержание углерода в цементованном слое способствует сохранению в нем остаточного аустенита (особенно в сталях, содержащих такие легирующие элементы, как хром, никель и вольфрам). Твердость и износостойкость цементованных изделий при криогенной обработке повышаются. Режим криогенной обработки сталей с насыщенным поверхностным слоем аналогичен режиму, назначенному для углеродистых или легированных инструментальных сталей с количеством углерода и легирующих примесей, равным количеству, содержащемуся в поверхностном слое.

**7. Температура мартенситного превращения
и эффективность охлаждения ниже нуля**

Сталь	Границы превращения, °С		Количество (%) остаточного аустенита после охлаждения		Прирост твердости (HRC) после охлаждения до M _к
	M _н	M _к	до 20°С	до M _к	
7X	280-230	-55	3-10	1-8	До 1
7X9	240-185	-60	4-17	2-12	1-2,5
9X	220-180	-70	6-18	4-13	1-2,5
X	175-145	-90	10-28	5-14	3-6
9XC	210-185	-60	6-27	4-12	1,5-2,5
XBG	155-120	-110	13-45	2-17	До 10
XГ	120-100	-120	22-60	До 20	»15
20X3	140-120	-100	17-40	» 15	» 10
13H2A	160-140	-95	12-30	3-4	4-7
13H5A	160-140	-95	12-30	3-14	4-7
12H5A	120-100	-120	22-60	До 20	До 15
18X2H4BA	130-120	-110	20-45	» 15	» 10