

Глава 3

УПРОЧНЕНИЕ КРИОГЕННЫМИ МЕТОДАМИ

Влияние криогенной обработки на структурные превращения и изменения физико-механических свойств стали

В структуре закаленной стали имеется некоторое количество достаточно мягкого остаточного аустенита, что обусловлено ее химическим составом и режимом термообработки. В результате этого понижаются твердость, прочность, теплопроводность и магнитные свойства, возрастает вязкость стали, изменяются размеры, ухудшается качество поверхности изделия. Отпуск закаленной стали с целью ликвидации или уменьшения количества остаточного аустенита в большинстве случаев неэффективен, поскольку не достигается необходимая степень распада остаточного аустенита и его замещения мартенситом. Для улучшения структуры закаленной стали, уменьшения в ее составе количества аустенита, повышения качества и прочности изделий наиболее рационально использовать *криогенный метод* (глубокое охлаждение).

Криогенной обработкой обеспечиваются улучшение механических и режущих свойств инструментов (в том числе из быстрорежущих сталей), повышение их износостойкости и твердости, а также повышение износостойкости контрольно-измерительных инструментов, штампов и пресс-форм, изготовленных из высокоуглеродистых и легированных конструкционных сталей. Увеличивается твердость коррозионно-стойких сталей с повышенным содержанием углерода. Улучшается качество поверхностей, подвергаемых полированию или доводке (наличие мягких и вязких аустенитных участков в структуре поверхностного слоя препятствует созданию однородной зеркальной поверхности).

При оценке целесообразности назначения криогенной обработки стали необходимо учитывать следующие факторы: повторное охлаждение закаленной стали не улучшает ее свойств, если при этом не достигаются температуры более низкие, чем при закалке; продолжительность выдержки при отрицательной температуре не оказывает влияния на результаты обработки; наибольшие структурные изменения под влиянием криогенных температур происходят в сталях с повышенным содержанием остаточного аустенита (высокоуглеродистых и легированных, причем в легированных сталях больше остаточного аустенита, чем в углеродистых); закономерности изменения размеров детали в результате аустенитно-мартенситных превращений следует определять опытным путем для конкретного химического состава стали в зависимости от режимов предыдущей термообработки и конфигурации детали; при обработке детали особо сложной формы с неравномерным распределением массы рекомендуется немедленно после закалки применять отпуск для снятия закалочных напряжений; охлаждение ниже нуля непосредственно после закалки увеличивает напряжения и опасность образования трещин; криогенная обработка приводит к росту объема структурных составляющих при распаде

остаточного аустенита. В табл. 1 приведены средние коэффициенты расширения аустенитно-мартенситных фаз стали.

Распад остаточного аустенита и превращение его в мартенсит происходят в определенном интервале температур (табл. 2). Если закалка осуществляется при пониженных температурах, то аустенит мало насыщается кислородом, его превращение полностью заканчивается при температуре ниже нуля, и охлаждение не вызывает дополнительных аустенитных превращений. Выполнение закалки при повышенных температурах приводит к образованию аустенита с высокой концентрацией по углероду и легирующим элементам. При охлаждении стали, закаленной при повышенных температурах, до температур, меньших нуля, происходит дальнейшее превращение аустенита в мартенсит. Этот процесс продолжается вплоть до достижения температуры конца мартенситного превращения (табл. 3). Границы температур начала и конца мартенситного превращения существенно зависят от химического состава стали, наличия в ней легирующих примесей. Влияние 1% легирующих элементов на температуру конца мартенситного превращения:

Легирующий элемент	Снижение температуры конца мартенситного превращения, °С
Марганец	45
Никель	26
Ванадий	30

1. Средние значения коэффициентов расширения

Структурная составляющая стали	Термический коэффициент расширения, °С	
	$\alpha \cdot 10^6$	$\beta \cdot 10^6$
Аустенит	23,0	70,0
Мартенсит	11,5	35,0

2. Температура начала и конца мартенситного превращения

Содержание углерода в стали, % (мас. доля)	Температура, °С	
	Начала превращения (точка M_n)	Конца превращения (точка M_k)
0-0,3	350	200
0,3-1,17	180	-140

3. Влияние криогенной обработки на свойства стали

Сталь	Мартенситные точки, °С		Количество аустенита, %		Прирост твердости (HRC) после обработки
	M_n	M_k	До обработки	После обработки	
У7	300-250	-50	3-5	1,0	0,5
У8	250-225	-55	4-8	1-6	1,0
У9	225-210	-55	5-12	3-10	1-1,5
У10	210-175	-60	6-18	4-12	1,5-3
У12	175-160	-70	10-20	5-14	3-4
9ХС	210-185	-60	6-17	4-17	1,5-2,5
Х	180-145	-90	9-28	4-17	3-6
ХВГ	155-120	-110	13-45	2-17	5-10

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