

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 обработки металлов
(обработка и воздействие холодом, 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).

Криогенную обработку металлов можно производить используя установки ООО "КРИО ХОЛОД" для криогенной обработки металлов (обработка металлов холодом) такие как:

[УТИ 1600-X-2/-50-80](#)

[УТИ 1150-X-2/-80-60](#)

, [УТИ-400-X-2/-70-80](#)

подробнее в разделе "

[Обработка металлов холодом](#)

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, °C

Марганец..... 45

Никель..... 26

Ванадий..... 30

Таблица 1. Средние значения коэффициентов расширения

Структурная составляющая стали

Термический коэффициент расширения, °C

$\alpha \cdot 10$ 6

$\beta \cdot 10$ 6

Аустенит Мартенсит

23,0 11,5

70,0 35,0

□

Таблица 2. Температура начала и конца мартенситного превращения

Содержание углерода в стали, % (мас. доля)

Температура, °C

Начала превращения (точка Мн)

Конца превращения (точка Мк)

0-0,3 0,3-1,17

350 180

200 –140

Таблица 3. Влияние криогенной обработки на свойства стали

Сталь

Мартенситные точки, °C

Количество аустенита, %

Прирост твердости (HRC) после обработки

Мн

Мк

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

9XC

210-185

-60

6-17

4-17

1,5-2,5

X

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_s). При температуре, превышающей M_s , аустенит не стабилизируется. Если температура

M_s

ниже 20 °C, то между закалкой и криогенной обработкой может быть промежуток времени любой длительности. Если температура

M_e

выше 20 °C, то криогенную

обработку проводят сразу после закалки. Стабилизирующее влияние выдержки после закалки будет тем больше, чем выше находится точка

M_s

на температурной шкале. Стабилизация размеров технологической оснастки высокой точности достигается дополнительной термообработкой – старением, выполняемым с длительным нагревом до 120-150 °C после одноразовой 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 но не только. Еще криогенная обработка применяется при изготовлении разнообразных подшипников, высоко точных и ответственных деталей.

