

### 8. Зависимость удельных объемов аустенита и мартенсита от количества углерода в стали при 20 °С

Количество углерода в стали, %	Удельный объем, см <sup>3</sup> /г	
	аустенита	мартенсита
0,2	0,12270	0,12761
0,4	0,12313	0,12812
0,6	0,12356	0,12863
0,8	0,12399	0,12915
1,0	0,12442	0,12965
1,4	0,12528	0,13061

протекающие медленно при нормальной температуре, могут интенсифицироваться под влиянием естественной теплоты рук рабочего, сезонных колебаний температуры, нагрева инструмента при снятии стружки либо в результате действия силы трения в подвижных соединениях и т. п.

Обычным способом стабилизации размеров и формы точных деталей из закаленной стали является отпуск (тепловое старение). Степень стабилизации повышается при дополнительном превращении остаточного аустенита. Для этого часто требуется выполнить отпуск детали при такой высокой температуре, что поверхность детали теряет необходимую по условиям работы твердость.

При обработке стальных деталей криогенным методом их размеры стабилизируются. Такое свойство имеет особое значение для закаленных точных стальных деталей технологической оснастки (например, калибров, измерительных эталонов, точного режущего инструмента, рабочих деталей штампов, пресс-форм и т. п.), так как стабильность их форм и размеров должна быть обеспечена на весь период хранения и эксплуатации. Чем больше остаточного аустенита в структуре стали, тем эффективнее криогенная обработка (табл. 9).

Стабилизация размеров точных деталей становится более эффективной при сочетании тепловых (отпуск, старение) и низкотемпературных методов обработки. В зависимости от требований, предъявляемых к деталям, для сохранения их точных размеров рекомендуются следующие варианты технологического процесса термического упрочнения и стабилизации: закалка, криогенная обработка, продолжительный отпуск, включающий тепловое старение (для деталей повышенной точности, измерительных инструментов и т. п.); закалка и чередующиеся охлаждение ниже нуля и отпуск (или старение) по схеме: охлаждение – отпуск – охлаждение – отпуск (или старение для деталей особо высокой точности, если необходимо обеспечить постоянство конфигурации и размеров). Для размерной стабилизации закаленных стальных деталей необходимо обеспечивать более полное превращение остаточного аустенита, чем для создания максимальной твердости.

#### Источники криогенных температур

При обработке технологической оснастки в качестве источников умеренного холода, т. е. источников, с помощью которых получают температуры до  $-70$  °С, используют аммиачные и фреоновые установки; для получения криогенной температуры до  $-135$  °С применяют криогенные установки или криогенные аппараты (рис. 13). Криоагентами обычно служат твердый углекислый газ (сухой лед), жид-

### 9. Влияние криогенной температуры на размерную стабильность стальных деталей при 20 °С

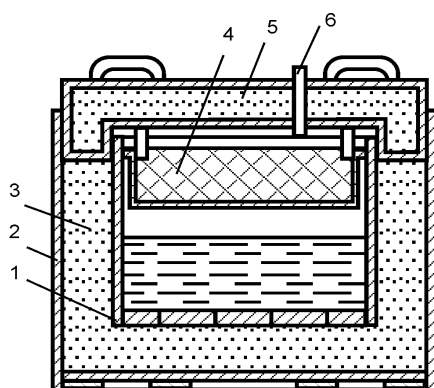
Сталь	Криогенная температура, °С	Твердость HRC	Изменение 1 см длины детали при 20 °С, мкм												
			Не подвергавшейся отпуску						После двукратного отпуска при 150 °С в течение 1 ч						
			За период времени												
День	Неделя	Месяц	Квартал	Год	День	Неделя	Месяц	Квартал	Год	День	Неделя	Месяц	Квартал	Год	
Углеродистая инструментальная	*1	66,0	0	-90	-175	-265	-405	0	-4	-8	-10	-17			
	-50	67,0	0	-110	-205	-310	-480	0	-6	-10	-14	-14			
	-160	66,5	0	-120	-240	-350	-525	0	-5	-8	-11	-16			
Шарикоподшипниковая	*1	65,0	0	-10	*2	-82	-110	0	-3	-5	-6	-8			
	-50	66,0	0	-36	*2	-110	*2	0	-2	-4	-4	-6			
	-160	66,0	0	-50	*2	-135	-197	0	-1	-2	-4	-6			
Вольфрамовая штамповка	*1	66,0	0	-52	-101	-156	-259	0	-3	-6	-8	-10			
	-50	67,5	0	-88	-162	-230	-355	0	-5	-8	-11	-14			
	-160	67,5	0	-94	-173	-248	-362	0	-2	-4	-6	-8			
Марганцевистая штамповка	*1	64,0	0	-11	-30	-48	-87	0	-1	-2	-4	-6			
	-50	64,5	0	-36	-71	-103	-158	0	-3	-5	-7	-8			
	-160	65,0	0	-50	-91	-128	-183	0	-5	-8	-10	-13			

\*1 Приведены изменения 1 см длины необработанной стали при 20 °С.

\*2 Нет данных.

кие азот, кислород и воздух (смесь жидких азота и кислорода) и др. Характеристика криоагентов приведена в табл. 10; температуры их кипения при атмосферном давлении указаны ниже.

Криоагент	Температура кипения, °С
Аммиак .....	-33,5
Углекислота.....	-78,5
Хлористый метил.....	-23,7
Азот .....	-195,8
Смесь твердой углекислоты:	
с хлористым метилом.....	-82
с хлороформом .....	-77
с этиловым эфиром .....	-77
с треххлористым фосфором .....	-76
с этиловым спиртом .....	-72
с хлористым этилом .....	-60
с ацетоном .....	-78
Фреон .....	-29,4
Этилен.....	-105,2
Метан.....	-161,5
Кислород.....	-183



**Рис. 13. Криогенный аппарат с жидкой ванной:**  
 1 – сварной бак; 2 – контейнер;  
 3 – теплоизоляция;  
 4 – сетка с деталями; 5 – крышка;  
 6 – испарительная трубка

**10. Характеристики криоагентов**

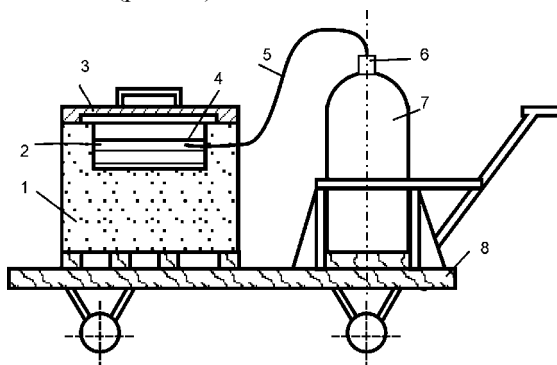
Криоагент	Агрегатное состояние	$t_{\text{ниж}}$ , °С	$\rho$ , кДж/кг
Углекислый газ	Твердое	-78,5 <sup>*1</sup>	574,8 <sup>*2</sup>
Кислород	Жидкое	-182,8	213,7 <sup>*1</sup>
Азот	»	-195,8	197,8

<sup>\*1</sup> Температура сублимации сухого льда при нормальном давлении.

<sup>\*2</sup> Скрытая температура сублимации, кДж/кг.

**Условные обозначения:**  $t_{\text{ниж}}$  – нижняя температура при нормальном давлении;  $\rho$  – скрытая теплота испарения при нормальном давлении и температуре кипения.

При отсутствии готового сухого льда его можно получить, дросселируя сжиженный углекислый газ при выходе из баллона через небольшое (диаметром 1,5-3 мм) отверстие сопла (рис. 14).



**Рис. 14. Передвижной криогенный аппарат с использованием сжиженного углекислого газа:**  
 1 – криоаппарат; 2 – рабочая ванна; 3 – крышка; 4 – сетка; 5 – шланг;  
 6 – редуктор; 7 – тележка

### Приборы контроля криогенных температур

Для измерения криогенных температур в холодильных камерах применяют спиртовые термометры, дистанционные измерители, унифицированные электрические термометры, электронные автоматические уравновешенные мосты.

При отсутствии специальных средств измерения криогенных температур для этих целей можно использовать прибор, изготовленный по простейшим схемам (см. на рис. 12). Для настройки прибора рабочий спай помещают в криогенный аппарат, а свободный спай выводят в атмосферу. Термометром замеряют температуру окружающего воздуха и устанавливают стрелку потенциометра со специально проградуированной шкалой на значении измеренной температуры, после чего прибор готов к работе. Свободный спай может быть помещен в колбу, установленную в термосе, наполненном льдом. Стрелку потенциометра устанавливают на нуль. Для повышения точности показаний потенциометра необходимо следить по спиртовому термометру за тем, чтобы температура свободного спая была постоянно равна нулю.