

## Глава 4 УПРОЧНЕНИЕ ХИМИКО-ТЕРМИЧЕСКИМИ МЕТОДАМИ

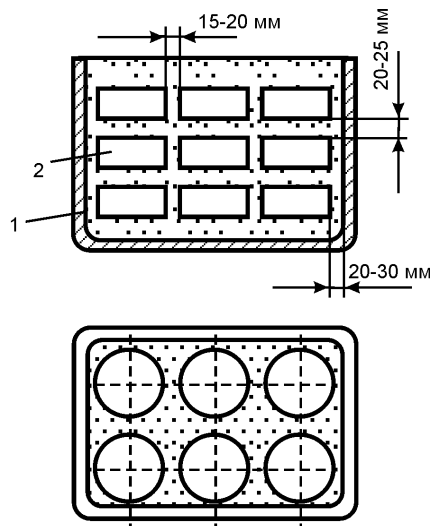
### Насыщение углеродом

**Цементация в твердом карбюризаторе** – обработка, которой подвергают стальные детали для повышения их твердости, теплостойкости и износостойкости, достигаемых при последующей закалке. Цементацию деталей малой и средней длины проводят в камерных печах; большой длины – в шахтных печах.

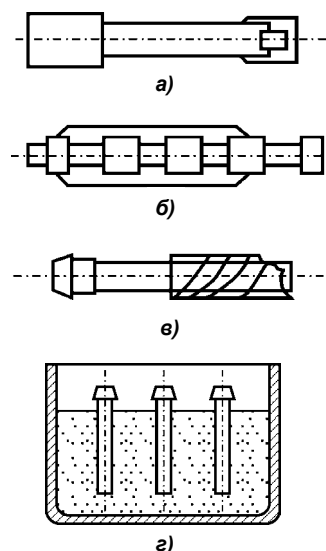
Детали укладывают в цементационные ящики с карбюризатором, при этом объем ящиков должен быть таким, чтобы обеспечивался равномерный прогрев деталей за минимальное время. Составы карбюризаторов приведены в табл. 1. Детали укладывают следующим образом: на дно ящика насыпают слой карбюризатора толщиной 30-40 мм, на него помещают детали, затем снова насыпают слой карбюризатора и так далее до верха ящика. Последним сверху должен быть слой карбюризатора (между деталями и крышкой) толщиной 20-30 мм (рис. 11). Детали должны занимать 10-15% объема ящика, карбюризатор – 85-90%. При укладке деталей в ящик необходимо следить, чтобы они не касались друг друга и стенок ящика. Каждый слой карбюризатора во избежание его осадки, а следовательно, провисания деталей необходимо уплотнять, встряхивая ящик. На верхний слой карбюризатора кладут лист асбеста. Ящик закрывают крышкой и обмазывают ее смесью огнеупорной глины с песком.

#### 1. Составы карбюризаторов для цементации

Номер состава	Компонент	Содержание компонента, %	Номер состава	Компонент	Содержание компонента, %
1	Углекислый барий Углекислый кальций Летучие Вода Древесный уголь	20-25 2,5-5 До 10 » 6 Остальное	5	Углекислый натрий Древесный уголь	10 90
			6	Углекислый натрий Древесный уголь	10 90
2	Углекислый барий Углекислый кальций Вода Полукок	10-15 3,5 До 6,0 Остальное	7	Углекислый барий Торфяной кокс	6-10 90-94
			8	Ацетат натрия Полукок Древесный уголь Мазут	10 30-35 55-60 2-3
3	Углекислый барий Углекислый натрий Углекислый кальций  Мазут или патока Древесный уголь	12-15 1,0-1,5 3,0-5,0  4,5-5,0 Остальное	9	Ацетат бария Полукок Древесный уголь	10 75-80 10-15
			10	Древесный уголь	100
			11	Углекислый натрий Древесные опилки	5-8 92-95
4	Углекислый натрий Углекислый кальций Древесный уголь	10,0 3,0 Остальное	12	Костяная мука Углекислый натрий Подсолнечная лузга	60 5 35



**Рис. 15. Схема упаковки деталей в цементационный ящик:**  
1 – ящик; 2 – детали



**Рис. 16. Местная защита от цементации поверхностей деталей:**  
а – колпачком; б – трубой;  
в – обертыванием асбестом;  
г – частичной упаковкой в карбюризатор

После естественной сушки ящики ставят в печь, нагретую до заданной температуры. Расстояние между ящиками должно быть не менее 30-50 мм. Продолжительность процесса цементации приведена в табл. 2. При ступенчатом режиме цементации процесс ведут в два этапа: после полного прогрева ящиков с деталями в печи устанавливают рабочую температуру 950 °С. После выдержки температуру в печи снижают до 850 °С и выдерживают ящики с деталями в течение времени, указанного в табл. 3. Разборку ящиков после цементации осуществляют при температуре не выше 100 °С. Остывшие детали должны иметь светло-серую поверхность. При частичной цементации поверхности деталей, не подлежащие обработке, следует защищать (рис. 16) с помощью асбеста, трубок, колпачков и обмазок, состав которых приведен в табл. 4 (обмазки доводят до сметанообразной консистенции).

## 2. Продолжительность цементации в твердом карбюризаторе при температуре 910-930 °С в зависимости от требуемой глубины цементуемого слоя и размеров ящика

Минимальный размер ящика, мм	Общая продолжительность процесса (ч) при глубине слоя, мм			
	0,5-0,7	0,7-0,9	0,9-1,2	1,2-1,5
100	4-5	5-6	6-7,5	7,5-9
150	4,5-6,5	5,5-6,5	6,5-8,5	Св. 9 до 11
200	5,5-6,5	6,5-7,5	7,5-9,5	10-12
250	6,5-7,5	7,5-8,5	8,5-10,5	11-14

### 3. Продолжительность цементации в твердом карбюризаторе при ступенчатом режиме обработки в зависимости от требуемой глубины цементуемого слоя

Рабочая температура, °С	Продолжительность цементации (час) при глубине слоя, мм	
	0,7-1,0	1,1-1,5
950	1	2
850	2	3

### 4. Составы защитных обмазок при цементации в твердом карбюризаторе

Компонент	Содержание компонента, %	Рекомендации по изготовлению и применению смеси
Тальк Глина огнеупорная Вода	50 25 25	В смесь добавляют жидкое стекло до сметанообразной консистенции
Песок Глина огнеупорная Бура Селитра натриевая Окись свинца	40 44 10 3 3	Все составляющие перемешивают и разводят на жидком стекле до получения сметанообразной консистенции
Тальк Окись алюминия Сурик свинцовый	58 28 14	Смесь разводят на жидком стекле (одна часть смеси и три части жидкого стекла)
Глина шамотная Асбестовая крошка	90 10	Смесь разводят на воде до сметанообразной консистенции. Предпочтительно применять для защиты отверстий
Медь однохлористая Сурик свинцовый	70 30	Замешивают на канифольном лаке до сметанообразной консистенции
Песок (кремнезем) Глинозем Окись железа Окись титана Окись магния	60 35 3 0,25 1,75	Разводят на жидком стекле (три части смеси и одна часть жидкого стекла). Пасту наносят в два слоя
Глина огнеупорная Песок сеяный Бура Нитрид натрия	40 45 12 3	Разводят на жидком стекле до сметанообразного состояния. Пасту наносят в два слоя
Маршаллит Бура Тальк	85 2 13	Разводят на жидком стекле
Хромокислый натрий Кальцинированная сода Поташ Жидкое стекло	12 7 4 77	Составы готовят отдельно и смешивают в пропорции 1:1
Маршаллит Каолин	80 20	

Продолжение табл. 4

Компонент	Содержание компонента, %	Рекомендации по изготовлению и применению смеси
Тальк Каолин	66 34	Составы готовят отдельно и смешивают в пропорции 1:1. Разводят на жидком стекле, наносят в два слоя толщиной до 1 мм каждый
Асбестовый порошок Жидкое стекло	35 65	Хранят не более 2 ч с момента приготовления
Окись меди Тальк Жидкое стекло	30 20 50	Наносят в два слоя

Контроль качества цементованных деталей выполняют по образцам-свидетелям, изготовленным из стали той же марки и прошедшим термическую обработку и цементацию вместе с контролируемой партией деталей. Глубину цементованного слоя измеряют по микрошлифам. Контроль качества деталей, цементованных в пастах, аналогичен контролю деталей, цементованных в твердых карбюризаторах. Контроль после газовой цементации выполняют по образцам-свидетелям аналогично контролю деталей после цементации в твердом карбюризаторе. Состав газовой среды в печи контролируется газоанализатором. Температура нагрева деталей контролируется оптическим фотопирометром.

Технология приготовления защитной обмазки, состоящей, например, из 70%-ной однохлористой меди и 30%-ного свинцового сурика, следующая. Смесь замешивают в 15%-ном растворе канифоли в очищенном скипидаре. Компоненты (85 г свинцового сурика и 215 однохлористой меди) просеивают через сито и тщательно перемешивают. В 100 мл скипидара растворяют 15 г канифоли. Затем в пяти объемах раствора замешивают три объема сухой смеси. Готовую обмазку наносят кисточкой на обезжиренные участки поверхности детали слоем 1,0-1,5 мм, просушивают при температуре 100-150 °С в течение 1,0-1,5 ч и охлаждают. Допускается повторное нанесение обмазки. После цементации пленка защитной обмазки удаляется струей воды или металлической щеткой. Инструмент из быстрорежущей стали подвергают цементации для повышения его стойкости. В результате можно получить сталь с мелкими равномерно распределенными карбидами в диффузионном слое. Возрастают твердость и износостойкость, но ухудшаются прочность и вязкость, в структуре стали сохраняется большое количество (до 40%) остаточного аустенита, которое может быть снижено при комплексной термомеханической обработке заготовок (табл. 5) [а. С. 737479 (СССР)]. Способ включает в себя химико-термическую обработку, высокотемпературную термомеханическую обработку (ВТМО), закалку, отпуск и криогенную обработку.

**Пример.** Режущий инструмент (зенкеры и развертки) изготавливают из быстрорежущей стали Р6М5. Заготовки подвергают высокотемпературной цементации в твердом карбюризаторе при температуре 1150-1200 °С. Выдержка 8 ч. В результате цементации глубина слоя, насыщенного углеродом, достигает 3,2 мм; концентрация углерода в этом слое 1,1%. После цементации осуществляют ВТМО по следующему режиму: нагрев до температуры аустенизации 1200 °С; подстуживание до 1050 °С; горячее

### 5. Режим комплексной обработки заготовок на стали Р6М5 для снижения количества остаточного аустенита

Операция	Температура, °С	Количество остаточного аустенита в зависимости от вида обработки, %
Цементация	1150	-
ВТМО:		
аустенизация	1200	-
деформация	1050	-
Закалка	В масле	57
Отпуск (первый)	560	40
Отпуск (второй)	560	35
Обработка при криотемпературах	-196	16

гидродинамическое выдавливание заготовок: зенкеров со степенью деформации 72% и разверток – 65% за проход, без пресс-остатка; немедленная закалка в масло.

Выдавленные заготовки подвергают двукратному отпуску при температуре 560 °С продолжительностью по 1 ч и криогенной обработке в жидком азоте в течение 30 мин по режиму, приведенному в табл. 5. В результате такой обработки профильная заготовка инструмента имеет поверхностный упрочненный и износостойкий слой глубиной 2,1-2,3 мм по вершине зуба, твердостью 66-68 HRC<sub>3</sub> с припуском под шлифование. Износостойкость зенкеров и разверток, обработанных указанным способом, в 1,5-2 раза выше по сравнению с инструментом, изготовленным другими способами. Деформация в режиме ВТМО способствует формированию однородной дисперсной структуры металла с аустенитным зерном 12-13-го балла и карбидной неоднородностью 1-2-го балла.

Использование этого способа обеспечивает снижение расхода инструментальных сталей.

**Цементация в пасте.** При единичном и мелкосерийном производстве применяют цементацию в пасте, позволяющую сократить продолжительность процесса. Составы паст приведены в табл. 6.

Для приготовления паст исходные материалы просеивают и взвешивают в нужной пропорции, затем сыпают в смеситель и тщательно перемешивают. Жидкие составляющие (масло, мазут, керосин) вводят при непрерывном перемешивании. Паста должна иметь сметанообразную консистенцию. Для получения равномерной глубины цементованного слоя пасту необходимо наносить на поверхность детали ровным слоем, толщина которого приблизительно в 5-8 раз больше требуемой глубины цементованного слоя. Перед покрытием пастой детали тщательно очищают от окалины, продуктов коррозии, грязи и т. п., в противном случае паста плохо удерживается на поверхности.

Детали, покрытые слоем пасты, загружают в ящики. Кромки крышек ящиков тщательно промазывают огнеупорной глиной. Цементацию проводят при температуре 910-950 °С. Продолжительность цементации при температуре 950 °С по сравнению с цементацией в твердом карбюризаторе при 910 °С сокращается в 5-6 раз. Содержание углерода в цементованном слое достигает 1,0-1,2%; твердость после закалки превышает 60 HRC. После цементации детали охлаждают на воздухе, затем осуществляют закалку. В целях экономии времени и сокращения числа подогревов закалку деталей целесообразно проводить непосредственно после извлечения их из цементационного ящика, температура которого на воздухе снижается до температуры закалки.

### 6. Составы паст, применяемых для цементации стали

Номер состава	Компонент	Содержание компонента, %
1	Газовая сажа	28
	Кальцинированная сода	3,5
	Железосинеродистый калий	1,5
	Веретенное масло (отработанное)	67
2	Голландская сажа	30
	Кальцинированная сода	10
	Декстрин	20
	Индустриальное масло (отработанное)	40
3	Голландская сажа	55
	Кальцинированная сода	30
	Щавелево-кислый натрий	15
4	Ацетиленовая сажа	30
	Кальцинированная сода	20
	Декстрин	10
	Мазут	40
5	Древесноугольная пыль	75
	Кальцинированная сода	5
	Железосинеродистый калий	10
	Декстрин	10
6	Ацетиленовая сажа	60
	Кальцинированная сода	30
	Железосинеродистый калий	5
	Декстрин	5
7	Голландская сажа	70
	Кальцинированная сода	10
	Железосинеродистый калий	10
	Декстрин	10

### 7. Состав ванн для цементации в жидкой среде

Номер состава	Компонент	Содержание компонента, %
1	Кальцинированная сода	83-84
	Поваренная соль	8-10
	Карбид кремния	7-8
2	Кальцинированная сода	78-81
	Поваренная соль	5-6
	Хлористый аммоний	6-8
	Карбид кремния	7-8

Контроль качества деталей осуществляют по образцам-свидетелям.

**Цементация в жидкой среде.** Этот процесс осуществляют для обработки деталей небольших размеров в ваннах расплавами солей. Применяемые составы приведены в табл. 7.

Предварительно очищенные и подогретые до 300-400 °С детали загружают в соляную ванну в сетчатом ковше. Рабочая температура расплава 850-870 °С; скорость цементации в пастах: состав 1 – 0,25-0,35 мм/ч, состав 2 – 0,45-0,55 мм/ч; достигаемая глубина цементации 0,1-0,5 мм.

**Газовая цементация** осуществляется в муфельных шахтных электропечах. Для образования газообразной среды в качестве карбюризаторов используют жидкости – бензол, синтин, керосин, пиробензол, индустриальное и трансформаторное масло или газы – природный и попутный, нефтяных месторождений, пропанобутановые смеси. В шахтные печи с вентиляторами жидкие карбюризаторы подают в виде капель или в пылевидном состоянии через форсунки, соединенные с двух- или четырехплунжерным насосами. Расход различных карбюризаторов приведен в табл. 8, глубина цементованного слоя при различном времени выдержки – в табл. 9.

При частичной цементации поверхности детали, не подлежащие обработке, следует изолировать от атмосферы печи с помощью защитных обмазок, составы которых приведены в табл. 10. Очищенные детали, уложенные в корзину или в специальные приспособления, загружают в печь на расстоянии 5-10 мм друг от друга. Продолжительность нагрева зависит от типоразмера печи и колеблется в пределах 1-4 ч. Скорость нагрева определяют с помощью данных, приведенных в табл. 11. Заданную глубину цементованного слоя получают подбором температуры процесса. Рабочая температура цементации составляет: при обычном режиме 900-940 °С; при высокотемпературном 970-1100 °С. Влияние температуры  $t$  на глубину цементации  $\delta$  при выдержке в течение 3 ч и использовании различных карбюризаторов показано на рис. 17.

Охлаждение деталей после газовой цементации осуществляют в колодцах, на воздухе или в закалочных средах (при непосредственной закалке). Скорость охлаждения выбирают такой, чтобы обеспечивались минимальное коробление, отсутствие трещин, карбидной сетки и, в случае необходимости, возможность механической обработки.

### 8. Расход карбюризатора при газовой цементации

V <sub>р. пр</sub>	Q <sub>ч</sub> при цементации на глубину 1 мм, кг/ч	Расход карбюризатора					
		Жидкого (керосин, пиробензол, синтин), капель/мин			Газообразного (природный газ), м <sup>3</sup> /ч		
		При нагреве	При выдержке	На 1 м <sup>3</sup> рабочего пространства, л/ч	При нагреве	При выдержке	На 1 м <sup>3</sup> рабочего пространства, л/ч
0,04	100	25-35	60-70	4,50	-	-	-
0,08	150	35-45	60-90	2,50	0,3-0,5	0,9-1,2	13,0
0,14	220	35-45	70-90	1,50	0,3-0,5	0,9-1,2	7,5
0,25	440	50-75	120-150	1,47	0,4-0,6	1,2-1,6	5,6
0,35	600	50-75	120-150	1,05	0,4-0,6	1,2-1,6	4,0
0,85	1500	60-80	150-170	0,52	0,4-0,6	1,2-1,8	1,78
0,03	50	25-35	40-60	4,50	-	-	-
0,10	150	35-45	60-90	2,10	0,3-0,5	0,9-1,2	10,0
0,14	220	35-45	70-90	1,50	0,3-0,5	0,9-1,2	7,5
0,34	600	50-75	120-150	1,10	0,4-0,6	1,2-1,6	4,1
2,80	-	-	2,0-2,5	0,80	-	4,0-6	1,8
37,0	-	-	-	-	-	4,0-8	1,2

**Примечания.** 1. V<sub>р. пр</sub> и Q<sub>ч</sub> – объем рабочего пространства и средняя часовая производительность печи.  
2. Принято, что в 1 см<sup>3</sup> жидкого карбюризатора содержится в среднем 23 капли.

**9. Глубина цементованного слоя при температуре цементации 930 °С (без учета времени прогрева) в зависимости от продолжительности выдержки**

Глубина слоя, мм	Продолжительность (ч) цементации в карбюризаторе					
	Керосин	Бензол	Пиробензол	Масло		Синтин
				Трансформаторное	Индустриальное 20	
От 0,7 до 1,0	5-7	-	4-6	4-6	7-9	3-4
Св. 1,0 » 1,3	7-9	8-10	6-8	5-8	10-12	5-6
» 1,3 » 1,6	9-11	10-12	8-10	8-10	12-14	6-8
» 1,6 » 1,9	11-13	13-15	10-12	10-12	14-17	9-10
» 1,9 » 2,5	13-15	15-18	-	13-15	-	-

**10. Составы защитных обмазок при газовой цементации**

Номер состава	Компонент	Содержание компонента, % (мас. доля)	Примечание
1	Маршаллит	85-90	Разводят на жидком стекле
	Бура	1,5-2,0	
	Тальк	10-15	
2а	Хромовокислый кальций	12	Составы 2а и 2б готовят отдельно и смешивают в соотношении 1:1
	Кальцинированная сода	7	
	Поташ	4	
	Жидкое стекло	77	
2б	Маршаллит	80	
	Каолин	20	
3	Песок	44	Разводят на жидком стекле и наносят в два слоя
	Глина	40	
	Бура	13	
	Нитрит натрия	3	
4	Тальк	70	Разводят на жидком стекле
	Каолин	30	
5	Асбестовый порошок	35	Хранят не более 2 ч с момента приготовления
	Жидкое стекло	65	
6	Свинцовый сурик	4	Наносят в два слоя. Обмазка пригодна при высокотемпературной цементации
	Окись алюминия	8	
	Тальк	16	
	Жидкое стекло	72	
7	Окись меди	30	Наносят в два слоя
	Тальк	20	
	Жидкое стекло	50	

Метод газовой цементации применяют и для упрочнения инструментов, изготовленных из твердых сплавов и быстрорежущих сталей. За 3-5 ч цементации при температуре 1000-1100 °С получают диффузионный слой толщиной 3-7 мкм, состоящий из монокарбидов Ti, V, Nb, Cr, Mo, W и сложных карбидов Ti-Nb, Ti-Cr, Nb-Cr и др. Газовую цементацию используют для повышения эксплуатационной стойкости ковочных штампов, изготовленных из сложнотемпературостойких сталей.

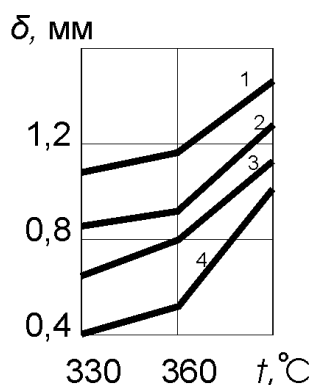


### 11. Средние значения скоростей газовой цементации при различных температурах процесса

Глубина слоя, мм	Скорость (мм/ч) при температуре, °C				
	900	925	950	975	1000
До 0,5	0,45	0,55	0,75	-	-
0,5-1,0	0,30	0,40	0,55	0,75	0,95
1,0-1,5	0,20	0,30	0,40	0,55	0,75
1,5-2,0	0,15	0,20	0,25	0,35	0,55
2,0-2,5	0,12	0,15	0,20	0,25	0,40

**Рис. 17. Влияние температуры на глубину цементации при использовании различных карбюризаторов:**

- 1 — синтина; 2 — керосина;  
3 — уайт-спирита;  
4 — индустриального масла**



ванных сталей, обладающих эффектом вторичной твердости (например, сталь состава, %: С 0,36; Si 1,1; Cr 5,3; W 1,3; Mo 1,5; V 0,3). Инструмент подвергают нагреву сначала при температуре до 590 °C, затем при температуре до 850 °C в камере в атмосфере эндогаза и цементации при 1020 °C в течение 0,5-3 ч в атмосфере эндогаза, обогащенного метаном. Охлаждение (закалку) после цементации проводят в эндогазе, после чего выполняют трехкратный отпуск при 560 °C с выдержкой 1 ч на каждые 200 мм сечения. Получают цементованный слой глубиной до 0,75 мм с твердостью поверхности 650 HV; содержание С в верхней части слоя 0,7%, в средней – 0,5%. Стойкость цементованных и закаленных штампов при изготовлении клапанов возрастает в этом случае до 4000-5000 шт. (против 1800-2500 шт. для обычных штампов); при изготовлении шпинделей стойкость возрастала до 5500-6000 шт. (против 4000-4500 шт.). Цементация может быть применена и для штампов из других Cr-Mo-V- и Cr-Mo-W-содержащих сталей.

### Насыщение углеродом и азотом

**Низкотемпературная нитроцементация** – обработка, которой подвергают технологическую оснастку, изготовленную из быстрорежущей стали всех марок, для одновременного насыщения поверхностного слоя азотом и углеродом, образующимися в результате разложения жидкого цианизатора (триэтанолamina ( $C_5H_5O)_3N$ ), жидкого или газообразного карбюризатора и аммиака при их одновременной подаче в печь. В качестве жидких карбюризаторов применяют керосин,