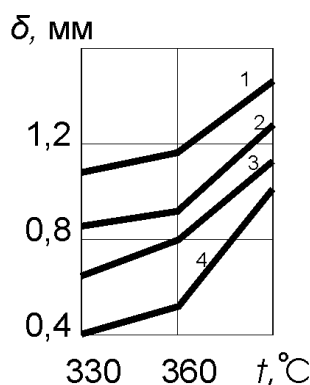


### 11. Средние значения скоростей газовой цементации при различных температурах процесса

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,

легкое индустриальное масло, пиробензол; в качестве газообразных – природный газ и газ, используемый для бытовых нужд. Составы карбюризаторов и атмосферы печей при низкотемпературной нитроцементации приведены в табл. 12.

Низкотемпературная нитроцементация повышает твердость поверхности изделий, сопротивление износу и задиру, обеспечивает хорошую прирабатываемость и высокую износостойкость. При низкотемпературной нитроцементации инструмента из быстрорежущих сталей за 1-4 ч происходит образование диффузионного слоя глубиной 0,03-0,08 мм с содержанием углерода 0,96-1,02% и азота 0,15-0,30%. Слой имеет высокую твердость и износостойкость. Хрупкого слоя, содержащего избыточную  $\epsilon$ -фазу, на поверхности инструмента не образуется. Поверхность приобретает матовый, синеватый цвет. Нитроцементацию проводят в шахтных муфельных электропечах или в камерных электропечах после обработки резанием и термической. Инструмент не должен иметь прижогов, заусенцев и других дефектов на поверхности режущих кромок. Твердость инструментов перед нитроцементацией должна быть не менее 61 HRC.

Подготовка к нитроцементации заключается в очистке и обезжиривании поверхностей деталей. Для этого их тщательно протирают и промывают в бензине или 5%-ном растворе каустической соды (едкого натра), нагретом до 80-90 °С, в течение 10-15 мин. После промывки детали насухо протирают и устанавливают в приспособлении или укладывают в корзины с соблюдением зазоров, необходимых для свободной циркуляции газов.

Приспособления с нитроцементуемыми деталями загружают в печь после того, как в ней будет достигнута рабочая температура, равная температуре предшествовавшего отпуска (для инструментов из быстрорежущей стали 550-560 °С,

## 12. Составы карбюризаторов и атмосфер печей при нитроцементации

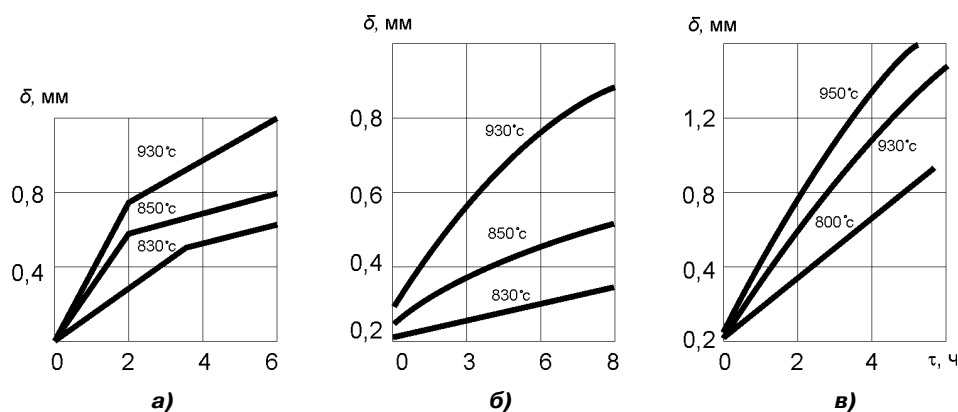
Состав карбюризатора, % (мас. доля)					Температура печи, °С		
(C <sub>3</sub> H <sub>4</sub> OH <sub>3</sub> ) N	NH <sub>4</sub> OH	Na NO <sub>3</sub>	Na AlO <sub>2</sub>	H <sub>2</sub> O			
94,5	0,5	0,3	0,3	4,4	550		
94,5	0,5	0,3	0,3	4,4	560		
95,3	0,5	0,4	0,2	3,6	560		
Расход карбюризатора, капли / мин	Точка росы	Состав атмосферы печи *, % (мас. доля)					
		CO	CH <sub>4</sub>	NH <sub>3</sub>	H <sub>2</sub>	CO <sub>2</sub>	O <sub>2</sub>
$\frac{50}{60}$	-2÷+1	26-27	3,0-3,2	7-8	28-30	0,60	0,3
$\frac{55}{65}$	-3÷+6	28-30	3,5-4,3	6-9	28-32	0,30	0,2
$\frac{60}{70}$	-3÷+7	27-29	3,4-3,8	8-11	24-27	0,60	0,5

\* Остальное – азот.

**Примечание.** В числителе дроби – расход карбюризатора в печи Ц-25; в знаменателе – в печи Ц-75.

для инструментов из высокохромистых сталей типа X12 и X12Ф1 510-520 °С). Карбюризатор подают при закрытой крышке печи. В период прогрева печи до рабочей температуры в нее вводят примерно 30-40% объема карбюризатора. Остальное количество карбюризатора (60-70%) расходуют равномерно в течение всего периода выдержки деталей в печи. При осуществлении такого режима нитроцементации глубина слоя составляет 0,02-0,05 мм.

На рис. 18 показана зависимость глубины нитроцементованного слоя от температуры процесса. Продолжительность низкотемпературной нитроцементации дана в табл. 13; средняя скорость нитроцементации – в табл. 14; режимы высокотемпературной нитроцементации – в табл. 15. Продолжительность выдержки устанавливают в зависимости от конфигурации и размеров поперечного сечения деталей. В табл. 16 дана продолжительность выдержки с момента достижения рабочей температуры 550-560 °С при нитроцементации инструмента из быстрорежущей стали (например, инструментов).



**Рис. 18. Зависимость глубины нитроцементованного слоя от температуры процесса и времени выдержки при использовании различных карбюризаторов:**  
**а – триэтаноламина; б – пиробензола и аммиака;**  
**в – индустриального масла и аммиака**

**13. Продолжительность низкотемпературной нитроцементации при 570 °С**

Нитроцементующая среда	Продолжительность процесса, ч
Эндогаз (40% H <sub>2</sub> , 20% CO, 40% N <sub>2</sub> ) + 25% аммиака	0,5-3
Экзо- и эндогаз (20% H <sub>2</sub> , 20% CO, 60% N <sub>2</sub> ) + 50% аммиака	
Экзогаз (90% N <sub>2</sub> , 10% CO <sub>2</sub> ) + 50% аммиака, 50% продуктов пиролиза керосина, спирта или синтина + 50% аммиака	1-6

**Примечания.** 1. Применение эндогаза при температуре ниже 700 °С может вызвать взрыв. Для предотвращения взрыва рекомендуется следующая технология: у передней дверцы создается пламенный затвор, печь нагревают до 800 °С, подают при этой температуре эндогаз и аммиак, далее снижают температуру до 620 °С, печь постоянно продувают газом, загружают детали и выполняют процесс при 570 °С.  
 2. По окончании процесса нитроцементации проводят ускоренное охлаждение в светлокалящем масле или потоке защитного газа.

#### 14. Средняя скорость (мм/ч) нитроцементации при различных температурах процесса

Глубина слоя, мм	Средняя скорость процесса при температуре, °С		
	860	930	950
До 0,5	0,20	0,40	0,50
0,5 – 1,0	0,15	0,30	0,40
1,0 – 1,5	0,12	0,20	0,30

#### 15. Режимы высокотемпературной нитроцементации стали

Нитроцементующая среда	Температура среды, °С	Глубина слоя, мм	Примечание
Эндогаз (20% CO, 40% H <sub>2</sub> , 40% N <sub>2</sub> ), 3-5% природного газа, 3-5% аммиака *1	860	0,25-1,0	Процесс осуществляют в безмуфельных методических печах. Углеродный потенциал регулируется по точке росы или содержанию CO <sub>2</sub> . Приборы для регулирования потенциала азота не разработаны.
Маловодородный экзоэндогаз (20% CO, 20% H <sub>2</sub> , 60% N <sub>2</sub> ), 0,5-0,8% природного газа, 2-4% аммиака	860	0,5-0,8	То же. Применение маловодородной эндотермической атмосферы менее пожароопасно, а также устраняет возможность возникновения водородной хрупкости
Маловодородный эндогаз, 1,5% природного газа, 4-6% аммиака	820-860	0,2-0,5	
Природный газ, 20-25% аммиака	860	0,6-0,9	Процесс ведется в вертикальных печах типа Ц.
Триэтаноламин, 10% воды	860-930	0,2-1,0 0,8-1,5	Процесс осуществляется в вертикальных и ретортных шнековых печах. Дозированную подачу триэтанолamina в печь осуществляют с помощью топливного насоса.
Синтин, керосин, спирт и т.п., 5-50% аммиака общего объема *2	860-930	0,4-1,5	Процесс ведется в вертикальных печах

\*1 Из-за отсутствия приборов автоматического регулирования азота подача аммиака в атмосферу печи должна строго регулироваться обслуживающим персоналом.

\*2 Рекомендуется: подавать в печи азот для лучшей циркуляции газа в рабочем объеме печи; в печь Ц-60 вводить смесь, состоящую из 43-49 % керосина (0,5 л/мин), 14-17 % аммиака (2,0 см<sup>3</sup>/мин) и 34-43 % технического азота (150 см<sup>3</sup>/мин).

По окончании выдачи прекращается подача аммиака, а затем и карбюризатора. Печь выключают, а после того, как погаснет факел отходящих газов, крышку открывают и детали (инструменты) выгружают из муфеля.

При изготовлении специального инструмента из стали Р6М5 рационально осуществлять карбидизацию по следующей технологии. Фильтры, центры для шлифования, матрицы и пуансоны для вырубki листовых заготовок после обработки резанием с припуском до 0,15 мм на сторону загружают в печь Ц-25, разогретую до 940 °С, и подают карбюризатор (80 капель/мин в первые 30 мин и 100-110 капель/мин во время выдержки в течение 6-10 ч); по окончании карбидизации садку охлаждают в масле, загружают ее на отпуск сначала при температуре 120-140°С, затем при температуре 200-220 °С в течение 6 ч и охлаждают на

**16. Продолжительность выдержки  
при нитроцементации инструментов из быстрорежущей стали**

Инструмент	Диаметр или толщина, мм	Выдержка, ч
Сверла, зенкеры, развертки	До 15	1,0-1,5
	Св. 15 до 25	1,5-2,0
	» 25 » 50	2,0-3,0
Метчики	До 15	0,5-1,0
	Св. 15 до 25	1,0-1,5
	» 25 » 50	1,5-2,0
Фрезы: резьбовые с шлифованными зубьями то же, но с нешлифованными зубьями червячные и шлицевые с шлифованными зубьями то же, но с нешлифованными зубьями цилиндрические, фасонные и торцовые	25-50	1,0-1,5
	Св. 50	1,5-2,0
	25-50	1,5-2,0
	Св. 50	2,0-2,5
	50-75	1,0-1,5
	Св. 75	1,5-2,0
	50-75	1,5-2,0
	Св. 75	2,0-2,5
	До 50 Св.	1,0-1,5
	50 до 75 » 75	1,5-2,0 2,0-2,5
Резцы: дисковые круглые тангенциальные	До 10	1,0-1,5
	Св. 10	1,5-2,0
	До 5	1,0-1,5
	Св. 5 до 15	1,5-2,0
	10	1,5
	25	2,0

воздухе; затачивают инструмент, измеряют твердость по Виккерсу (950-980 HV 30/30); шлифуют, доводят, подвергают промежуточному отпуску при температуре 180 °С в течение 6 ч.

Дисковые резцы, матрицы для холодной высадки, развертки карбидизируют по аналогичному режиму, охлаждают на воздухе, проводят высокий отпуск при 700 °С в течение 4 ч. Затем проводят закалку с подогревом до 840 °С в течение 20 мин и нагревом до 1120-1140 °С (8-10 мин) в масле. После трехкратного отпуска при температуре 520 °С в течение 2 ч измеряют твердость (96-107 HV 50) и проводят заточку с промежуточным отпуском при температуре 500 °С в течение 2 ч.

*Газовая карбидизация* в продуктах пиролиза триэтанолamina с активизирующими добавками для повышения твердости специального инструмента из стали типа Р6М5 экономична, позволяет повысить износостойкость фильер, матриц, пуансонов по сравнению с аналогичной оснасткой из стали типа Х12М в 2-4 раза или до уровня твердосплавных из сплавов марок ВКЮ, ВК20.

Для инструментов, прошедших нитроцементацию, применяют следующие виды контроля: наружный осмотр для выявления видимых следов окисления, бурого налета, закоксовывания, а также забоин, сколов и др.; выборочный контроль твердости с помощью приборов Виккерса либо Супер-Роквелла и проверка хрупкости слоя с помощью прибора Роквелла (проверка ведется по образцам-свидетелям, изготовленным из той же стали, что и инструменты, и прошедшим термическую обработку и нитроцементацию вместе с инструментами); контроль

состава газов в печи путем химического анализа проб отходящих газов; контроль расхода газа с помощью реометров; контроль расхода жидких карбюризаторов, а также триэтанолamina измерением мензуркой подачи в единицу времени.

Для интенсификации процесса насыщения и повышения износостойкости диффузионного слоя в карбюризатор, содержащий триэтанолamin и воду, дополнительно вводят уксуснокислый аммоний и азотнокислый никель [а. с. 740863 (СССР)] в следующем соотношении, %: уксуснокислый аммоний 2,5-6,0; азотнокислый аммоний 3,0-10,0; азотнокислый никель 0,5-1,2; сода 1,0-12,0; триэтанолamin – остальное. Введение в триэтанолamin азотнокислого и уксуснокислого аммония снижает температуру разложения основного компонента (триэтанолamina) до 490-500 °С. Скорость и полнота пиролиза, определяемого по выходу активных газов, повышается на 30-80%. Образующиеся частицы оксида никеля оказывают влияние на связывание водорода в молекулы, что предотвращает возникновение повышенной хрупкости в поверхностном слое. Карбюризатор готовят последовательным введением в чистый триэтанолamin насыщенных водных растворов азотнокислого аммония  $\text{NH}_4\text{NO}_3$ , уксуснокислого аммония  $\text{CH}_3\text{COONH}_4$  и азотнокислого никеля  $\text{Ni}(\text{NO}_3)_2$ .

Азотнокислый аммоний готовят растворением в воде при нормальной температуре 1780-1800 г/л химически чистого  $\text{NH}_4\text{NO}_3$ ; в виде водных растворов вводят уксуснокислый аммоний (содержание в растворе 1400-1480 г/л) и азотнокислый никель (содержание в растворе 2300-2350 г/л). Максимальное количество воды, вводимое с насыщенными водными растворами, не должно превышать 12%.

**Пример.** Зенкеры из стали P9K5, имеющие после закалки и отпуска 65,5 HRC, подвергают нитроцементации при температуре 570 °С в течение 3 ч в печи Ц-25. Состав карбюризатора, %: уксуснокислый аммоний 6,0; азотнокислый аммоний 10; азотнокислый никель 1,2; вода 7,5; триэтанолamin – остальное.

Расход карбюризатора в первые 20 мин составляет 138 см<sup>3</sup>/ч, в дальнейшем – 156 см<sup>3</sup>/ч. Охлаждение проводят на воздухе. Скорость насыщения составляет 0,03 мм/ч против 0,015 мм/ч в других карбюризаторах. Получают слой глубиной 0,101 мм с микротвердостью 1007 HV 50, в то время как при обработке в других карбюризаторах глубина слоя не превышает 0,056 мм. Износостойкость слоя повысилась в 1,5 раза.

Карбюризатор обеспечивает повышение скорости образования слоя с оптимальным соотношением азота и углерода в 1,5-1,7 раза. Износостойкость инструмента повышается в 1,4-2 раза. Слои не склонны к выкрашиванию при ударных нагрузках и при значительных толщинах (0,2-0,25 мм). Карбюризатор прост в приготовлении, не содержит дефицитных и токсичных компонентов, не образует сажистых смолистых соединений в печах и системах отвода газообразных продуктов из печей.

*Нитроцементацию в твердых смесях* применяют преимущественно для повышения работоспособности инструментов из быстрорежущих сталей. Рабочая смесь, %: древесного угля 60-80 и желтой кровяной соли 20-40, либо животного угля 20-40, древесного угля 40-60 и желтой кровяной соли 20-25. Составляющие смеси дробят, просеивают и тщательно перемешивают. Поперечный размер кусочка угля не должен превышать 1-3 мм. Смесь просушивают при температуре 100-120 °С. Предварительно очищенные детали упаковывают в металлические ящики, пересыпая их смесью. Ящики устанавливают в печь и выдерживают при температуре 550-560 °С в течение 2-3 ч. Затем ящики выгружают из печи, охлаждают до

200-100 °С и распаковывают. Охлаждение ящиков до нормальной температуры приводит к слипанию смеси, что затрудняет распаковку и очистку. При указанной выдержке глубина нитроцементованного слоя достигает 0,015-0,055 мм.

*Нитроцементация пастами.* Состав пасты, %: желтой кровяной соли 16,7; карбюризатора 21,5; углекислого натрия 4,2; карборунда 3,8; цемента 0,9 и жидкого стекла 52,9. Пасту в сметанообразном состоянии наносят на обрабатываемую деталь, предварительно подогретую до 300 °С. Карборунд и цемент способствуют быстрому затвердеванию пасты на воздухе, препятствуют стеканию солей при нагреве детали до температуры обработки. Поверх слоя пасты наносят смесь из 60% кварца и 40% жидкого стекла и погружают в 30%-ный водный раствор аммиака. При последующем нагреве ТВЧ смесь превращается в керамическую оболочку. Для нитроцементации нагрев проводят ТВЧ до температуры 1200 °С. За 2 мин глубина слоя достигает примерно 1 мм. Метод удобен при производстве зубчатых колес, дисков, муфт, кулачков и других подобных деталей, изготавливаемых из конструкционных сталей.

**Цементация литого инструмента из быстрорежущих сталей.** Существенный недостаток литых инструментов из быстрорежущих сталей – повышенная хрупкость из-за наличия в структуре стали карбидной эвтектики. Повышение износостойкости такого инструмента может быть достигнуто обезуглероживанием поверхностного слоя металла и последующей его *высокотемпературной цементацией* [а. с. 850703 (СССР)]. Способ включает гомогенизирующую обработку, закалку и отпуск. *Гомогенизирующую обработку* проводят двухступенчато при температурах 1270-1280 °С и 1310-1320 °С в обезуглероживающей атмосфере, а затем осуществляют высокотемпературную цементацию. Обезуглероживание при температуре 1270-1280 °С обеспечивает получение низкоуглеродистой оболочки, необходимой для предотвращения роста расплавленной эвтектики, которая образуется при температуре 1310-1320 °С. За сравнительно короткое время получают слой феррита в 2-3 мм. В нем эвтектические карбиды полностью отсутствуют.

Последующее науглероживание обезуглероженной поверхности (например, высокотемпературная цементация) позволяет получить в поверхностном слое структуру с мелкозернистыми равномерно распределенными карбидами, обеспечивающую после окончательной термической обработки высокие режущие свойства и износостойкость литого режущего инструмента из быстрорежущей стали.

**Пример.** Заготовки размером 10×100×60 мм из быстрорежущей стали Р6М5, полученные методом точного литья, нагревают до 1270 °С и обезуглероживают в среде влажного водорода в течение 1 ч. Затем повышают температуру до 1310 °С и выдерживают при этой температуре в течение 2 ч. Последующее охлаждение со скоростью 15 °С/с. В результате на поверхности заготовок образуется слой феррита толщиной 3 мм. Обезуглероженные заготовки подвергают высокотемпературной цементации в стандартном твердом карбюризаторе при температуре 1150 °С с выдержкой в течение 2 ч. Охлаждение до 850 °С ведут с печью. Выдерживают при этой температуре 2 ч и окончательно охлаждают с печью. В результате высокотемпературной цементации в обезуглероженном поверхностном слое образуется структура с мелко дисперсными равномерно распределенными карбидами.

После химико-термической обработки проводится окончательная термическая обработка по режиму, соответствующему термической обработке быстрорежущей стали Р6М5. Величина и темп изнашивания резцов из этой стали, обработанных по описанному способу, значительно меньше, чем у резцов, изготовленных из литой быстрорежущей стали. Способ обеспечивает получение поверхностного слоя с мел-

кодисперсными равномерно распределенными карбидами, что значительно повышает режущие свойства и износостойкость литого режущего инструмента из быстрорежущей стали.

*Диффузионное насыщение инструментов*, изготовленных из быстрорежущих сталей, карбидами металлов непосредственно в процессе резания можно осуществить описанным ниже способом [а. с. 722999 (СССР)]. Известно, что в результате заточек, которым подвергаются инструменты после химико-термической обработки, происходит частичное обезуглероживание режущих кромок и отпуск затачиваемых поверхностей, что приводит к снижению их твердости.

Способ повышения износостойкости режущих инструментов непосредственно при их эксплуатации включает в себя нагрев и диффузионное насыщение металла инструмента в полимерсодержащей среде. Нагрев осуществляют обработкой резанием, а насыщение – подачей полимерсодержащей среды в зону резания. В качестве такой среды используют 10%-ную суспензию полиэтилена низкого давления (ГОСТ 16338-77) в 5%-ной водной эмульсии эмульсола ЭТ-2.

Обработку резанием в полимерсодержащей среде осуществляют в течение 2-3 мин при ужесточении режимов резания на 20-30% по сравнению с обычной принятой технологией, что необходимо для создания в зоне обработки энергетических условий, обеспечивающих, с одной стороны, эффективную термомехано-деструкцию полимерного компонента среды до образования активного атомарного углерода, а с другой стороны, – высокую температуру и ингредиент механических напряжений на режущих кромках инструмента. При резании в полимерсодержащей среде происходит науглероживание инструмента. Высокая температура в зоне резания способствует деструкции полимера, содержащегося в среде, с последующим образованием активного углерода. Это значительно ускоряет его диффузию в металл инструмента. Содержание углерода в процессе такой обработки в полимерсодержащей среде увеличивается на 0,4-0,5%. Наличие высокой концентрации активного углерода в зоне резания и ювенильных (свободных от оксидов) поверхностей способствует дополнительному образованию мелкодисперсных карбидов типа  $Fe_3W_3C$ .

**Пример.** Сверла из стали Р6М5, диаметром 25 мм, при сверлении стали 40Х перед проведением сравнительных испытаний на износостойкость эксплуатировались в 10%-ной суспензии полиэтилена низкого давления и 5%-ной водной эмульсии эмульсола ЭТ-2 в течение 2-3 мин при следующих режимах: скорость 39,2 м/мин, подача 0,28 мм/об, глубина сверления 100 мм.

Сравнительные испытания проводили с использованием в качестве смазочно-охлаждающей жидкости 5%-ной водной эмульсии эмульсола ЭТ – 2. Режим сверления: скорость 27,9 м/мин, подача 0,28 мм/об, глубина сверления 100 мм. Стойкость инструмента фиксировалась по достижении износа задней поверхности, равного 1 мм. В результате, в среднем для партии из 10 сверл, упрочненных описанным способом, характерно повышение стойкости в 5-6 раз по сравнению со стойкостью стандартных сверл.

Способ позволяет повысить производительность труда за счет экономии времени на смену и заточку инструмента, проводить упрочнение инструмента непосредственно на рабочем месте, без дополнительного оборудования. Достигается экономия дорогостоящих инструментальных сталей, идущих на изготовление режущих инструментов.



**Карбонитрирование** – одно из перспективных направлений увеличения стойкости быстрорежущего инструмента, состоящее в термодиффузионном насыщении поверхности инструмента азотом и углеродом (*жидкое азотирование*). Значительный эффект получается при карбонитрировании зубчатых колес, кулачков, резьбовых соединений из ферромагнитных конструкционных сталей и др.

Насыщение поверхностных слоев инструмента углеродом, азотом, серой или несколькими элементами одновременно повышает его твердость, износостойкость, сопротивление усталости и соответственно стойкость. Однако применяемые в настоящее время способы химико-термической обработки имеют ряд недостатков.

Так, процесс *цианирования* с использованием цианидов натрия ( $\text{NaCN}$ ) и калия ( $\text{KCN}$ ) не находит широкого применения из-за высокой токсичности. Газовое азотирование инструмента – очень длительный процесс. Например, для обработки этим способом крупногабаритных штампов необходимо 36-40 ч. Поэтому перспективным является процесс низкотемпературного *жидкостного азотирования*, осуществляемый с применением неядовитых солей – цианатов и карбонатов.

Процесс основан на насыщении поверхности азотом и углеродом (карбонитрирование) в расплавах солей типов  $\text{KCNO}$  (80-85%  $\text{KCNO}$  и 15-20%  $\text{K}_2\text{CO}_3$ ) и  $\text{NaCNO}$  при температуре 540-560 °С. Наиболее часто используют расплав, состоящий из 25-38%  $\text{NaCNO}$  (получаемого сплавлением мочевины и кальцинированной соды в соотношении 1,3 : 1), 25-35%  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  и 28-40%  $\text{KCl}$ . Карбонитрированию подвергают режущий инструмент (как новый, так и восстановленный), изготовленный из всех марок быстрорежущей стали, после окончательной термической (закалка, отпуск) обработки и обработки резанием (шлифование, заточка, полирование). Инструмент для карбонитрирования должен быть очищенным от грязи, обезжиренным, без каких-либо защитных, оксидных или других покрытий.

Подогрев инструмента в воздушной атмосфере проводят в течение 10-15 мин при температуре 300-350 °С. Для ведения процесса карбонитрирования используют печь-ванну, снабженную системой вентиляции. Агрегат состоит из бака для обезжиривания, печи с воздушной атмосферой для подогрева, печи-ванны с температурой нагрева до 600 °С, ванны для оксидирования (воронения) при температуре до 140 °С, ванны (бака) для удаления соли с поверхности инструмента. Основные технологические операции процесса карбонитрирования приведены в табл. 17. Карбонитрирование инструмента проводят при температурах: 560 °С быстрорежущих сталей марок P18, P9K10 и P12; 550 °С марок P9 и P6M5; 540 °С легированных сталей марок X12M, X12Ф и X12. Продолжительность карбонитрирования инструмента в ванне при указанной температуре приведена в табл. 18.

Максимальное значение микротвердости 1316 HV получают при температуре ванны 550-570 °С независимо от времени выдержки. При температуре 580 °С такая микротвердость может быть достигнута только при выдержке 25-30 мин. Твердость сердцевины во всех случаях превышает 600 единиц.

При карбонитрировании добиваются не только высокой поверхностной твердости инструмента, но и плавного ее изменения от поверхности к сердцевине, предотвращающее скалывание диффузионного слоя. Оптимальные режимы карбонитрирования быстрорежущих сталей следующие: температура 560 °С и выдержка при этой температуре 20-25 мин. При этом режиме получают диффузионный слой достаточной толщины с максимальной микротвердостью 1316 HV. Оптимальная глубина карбонитридного слоя для режущего инструмента 20-30 мкм, микротвердость слоя 970-1200 HV.

### 17. Операции технологического процесса карбонитрирования быстрорежущих сталей

Операция	Среда, условия проведения операции
Обезжиривание	Горячий 3%-ный раствор
Подогрев	Температура нагрева 300-350 °С
Нагрев для карбонитрирования	Соляная ванна, продувка воздухом с целью нагрева до температуры 540-560 °С
Охлаждение	На воздухе до 150 °С, перенос в расплав NaOH – NaNO <sub>2</sub> – NaNO <sub>3</sub>
Оксидирование	Раствор NaOH – KNO <sub>3</sub> при 140 °С в течение 20-30 мин; стабилизация при температуре 300 °С
Промывка	Горячая вода Эмульсол: 5%-ный раствор Э2, или ЭТ2, или НГЛ-205
Сушка	На воздухе

### 18. Продолжительность карбонитрирования инструмента основных видов

Инструмент	Размер инструмента, мм	Время выдержки в ванне, мин	Глубина карбонитридного слоя, мкм
Сверла	<i>Диаметр</i>		
	7-10	15-20	10-15
	10-20	20-25	15-20
	20-30	25-30	20-30
	Св. 30	30-45	20-30
Развертки, зенкеры, метчики	7-10	15-20	10-15
	10-20	20-25	15-20
	20-30	25-30	20-30
	Св. 30	25-40	15-20
	Фрезы: резьбовые концевые насадные	До 35	20-25
35-50		25-30	10-15
Св. 50		35-45	10-15
Борфрезы		7-10	15-20
	10-20	20-25	10-15
	20-30	25-30	10-15
	Св. 30	30-45	15-20
	Дисковые фрезы (толщина)	<i>Толщина</i>	
1-2		10-15	7-10
2-5		15-20	10-15
5-10		20-25	10-15
10-15		25-30	10-15
Св. 15	20-45	10-15	
Цилиндрические фрезы	<i>Диаметр</i>		
	До 25	10-15	10-15
	25-40	25-30	10-15
	40-60	30-40	10-15
	Св. 60	50-60	10-15

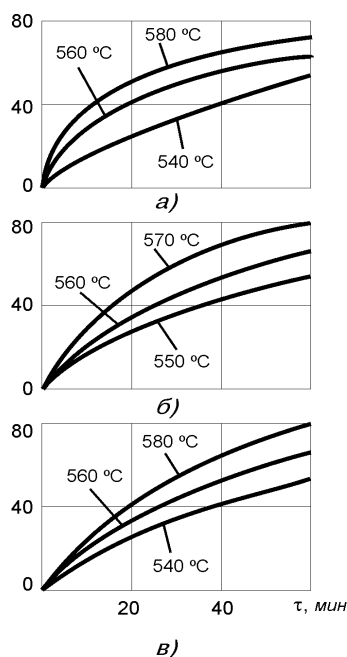
Продолжение табл. 18

Инструмент	Размер инструмента, мм	Время выдержки в ванне, мин	Глубина карбонитридного слоя, мкм
Червячные шлицевые фрезы	50-60 Св. 60	25-30 30-45	20-30 20-30
Круглые гребенки	<i>Все размеры</i>	30-40	15-20
Токарные и строгальные резцы	<i>Толщина</i> 6 × 10 8 × 12 10 × 16 16 × 24 20 × 30 30 × 45	15-20 20-25 25-30 30-35 35-40 40-45	10-15 10-15 15-20 15-20 20-30 20-30
Пресс-формы для литья под давлением (сталь 3Х2В8)	<i>Все размеры</i>	120-150	80-150
Знаки для пресс-форм (сталь 3Х2В8Ф)	<i>Толщина</i> До 25 Св. 25	60-90 90-120	40-80 80-100
Штамповый инструмент	<i>Все размеры</i>	60-120	30-60

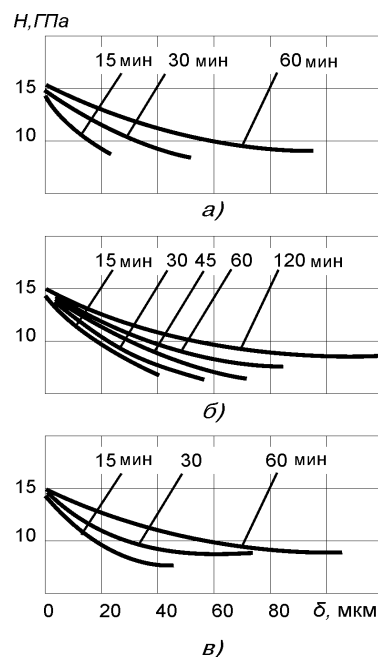
Микроструктура карбонитридного слоя при всех режимах практически одинакова и состоит из двух зон. У поверхности диффузионного слоя расположена светлая нетравящаяся полоса – карбонитридная фаза, преимущественно состоящая из гексагонального нитрида железа, легированного углеродом ( $Fe_3N$ , C). Толщина этой зоны зависит от температуры и времени выдержки. При выдержке 15 мин зона нитрокарбидов отсутствует. Максимальная толщина зоны (10-15 мкм) наблюдается после карбонитрирования по режиму: температура процесса 550-570 °С, выдержка 30 мин. За зоной нитрокарбидов расположена травящаяся зона – тонкая смесь феррита, карбидов, нитридов, карбонитридов железа и легирующих элементов (вольфрама, ванадия, хрома, молибдена). Наибольшую толщину этого слоя (60-65 мкм) получают при температуре 550-570 °С и выдержке 30 мин. Зона основного металла представляет собой высоколегированный мартенсит отпуска и карбиды. На рис. 19 показана параболическая зависимость глубины  $\delta$  карбонитридного слоя от времени выдержки для сталей P18, P6M5, P9K5; на рис. 20 – изменение микротвердости по глубине карбонитридного слоя в стали P9K5. Для сталей других марок результаты карбонитрирования отличаются только абсолютными значениями величин.

Карбонитрирование намного повышает износостойкость быстрорежущей стали. Например, коэффициент трения сталей P6M5 и P9 благодаря карбонитрированию уменьшается в 2-3 раза. Стойкость сверл, фрез и режущего инструмента других видов после карбонитрирования увеличивается в 3-5 раз.

Карбонитрирование заготовок из аустенитных сталей типа 12X18H10T усиливает их стойкость против заедания, т. е. возникновения и развития поврежденных поверхностей трения вследствие схватывания и переноса материала деталей пары трения под влиянием больших нагрузок при высоких скоростях скольжения и температуре.



**Рис. 19. Влияние времени выдержки  $\tau$  и температуры на глубину  $\delta$  карбонитридного слоя:**  
*а* – для стали P18; *б* – для стали P6M5;  
*в* – для стали P9K5



**Рис. 20. Изменение микротвердости  $H$  по глубине  $\delta$  карбонитридного слоя в стали 9K5 при температурах:**  
*а* – 540 °C; *б* – 560 °C; *в* – 580 °C

### Насыщение азотом

**Азотирование** – процесс насыщения поверхности стали азотом. Азотированию подвергают преимущественно технологическую оснастку, изготовленную из легированных сталей 3X2B8Ф, X12, X12Ф1, 7X3, 38X2MЮА, 20X и 30X, для получения высокой поверхностной твердости и износостойкости. Азотирование проводят в шахтных электрических печах сопротивления с герметичным муфелем из жаростойкой стали, снабженными вентилятором и трубками для ввода и вывода газов.

Технологическую оснастку, в том числе инструменты, а также детали машин перед азотированием улучшают, обрабатывают резанием и очищают от продуктов коррозии и грязи. Перед загрузкой в муфель азотируемые детали обезжиривают. Особо ответственные изделия, например пресс-формы для литья пластмасс, перед азотированием фосфатируют. Мелкую оснастку подвешивают в муфеле печи на мягкой стальной проволоке диаметром 0,5-1,0 мм; крупную – устанавливают на металлическую подставку на дно муфеля. Необходимо следить, чтобы рабочие поверхности деталей не соприкасались. Укладывать и подвешивать изделия следует осторожно, без ударов.

Герметичность муфеля проверяют, пропуская через него аммиак под давлением 3,5-5,0 кПа. Для этого включают печь, нагревают ее до 100 °C, затем впускают аммиак. После выхода аммиака из печи и прохождения его через бутылку, заполненную водой, измеряют давление водяным манометром. Замеры проводят в течение