

ный выбор рациональных режимов с обязательным получением в поверхностных слоях деталей сплошных белых слоёв.

### **Упрочнение методами наплавки и напыления легирующими металлами**

**Наплавку или напыление легирующими металлами** выполняют для увеличения износостойкости, жаропрочности и эксплуатационной стойкости поверхностей деталей, работающих в условиях больших знакопеременных нагрузок, высоких температур и давлений, в абразивных и агрессивных средах, а также в целях замены дефицитных и дорогостоящих металлов.

*Углеродистые стали* с содержанием углерода до 0,3-0,4% (мас. доля) применяют для наплавки деталей, подвергающихся незначительным абразивным воздействиям и усталостному износу в условиях трения скольжения и качения при работе в неагрессивных средах (валы, цапфы, ходовые колеса, опорные катки, ножи и т. п.).

*Углеродистые и низколегированные стали* с содержанием углерода более 0,4% (мас. доля), а также стали, дополнительно легированные никелем, хромом, ниобием, вольфрамом, и другие используют для наплавки деталей, работающих в условиях интенсивных абразивных и абразивно-ударных воздействий в малоактивных коррозионных средах (ножи рубительных машин, гарнитуры размольных мельниц, бронзовые муфты и др.).

*Хромистые стали*, характеризующиеся высокой прочностью и коррозионной стойкостью в ряде агрессивных сред, применяют для наплавки деталей, подвергающихся коррозионно-металлическому, коррозионно-абразивному, газо- и гидроабразивному, а также кавитационному изнашиванию.

*Хромоникелевыми аустенитными сталями* с высокой стойкостью против коррозии и низкой твердостью наплавляют детали, работающие в агрессивных средах при небольших механических воздействиях (плунжеры, корпуса и крыльчатки насосов для перекачки жидкостей, не содержащих абразивных частиц, детали запорной и регулирующей арматуры и т. п.).

Наплавку деталей, подвергающихся кавитационному абразивному изнашиванию в агрессивных средах, особенно в окислительных, выполняют высокохромистыми чугунами.

На особо ответственные детали наплавляют никелевые и кобальтовые сплавы. Они хорошо противостоят изнашиванию в агрессивных средах даже при наличии абразивных воздействий.

Наплавку производят *сплошными проволочными или ленточными электродами*, покрытыми обмазкой, либо в сварочную ванну дополнительно вводят специальные флюсы. Составы обмазок и флюсов содержат в себе легирующие примеси, количество которых регулируется в зависимости от требуемого состава и свойств наплавленного слоя металла.

Наплавочные электроды могут быть спечены из металлических порошков и иметь форму проволоки, ленты или трубчатой проволоки. Металл, наплавленный порошковыми *спеченными электродами*, более однороден, что объясняется более равномерным распределением легирующих элементов в объеме электродов.

Детали, подлежащие наплавке, тщательно очищают от грязи, масла, продуктов коррозии и краски. Если технологическим процессом наплавки предусмотрен

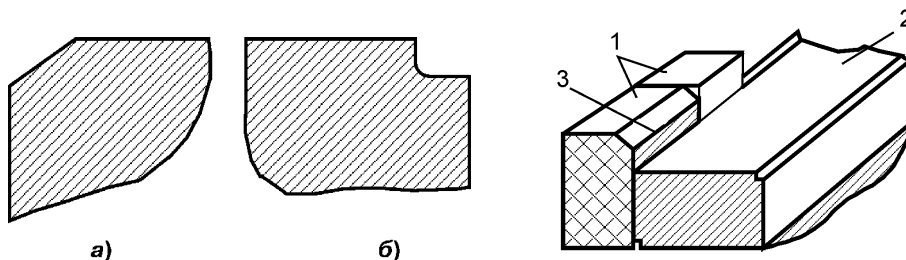
предварительный подогрев, то экономически целесообразно сочетать с ним очистительный отжиг, обеспечивающий быстрое выгорание масла не только с поверхности детали, но и из пор, раковин и трещин. После отжига оксиды, образовавшиеся на поверхности детали, удаляют металлической щеткой. Металл наплавляют на очищенную поверхность. Канавки, пазы и отверстия на поверхности, которые необходимо сохранить, заделывают медными, графитовыми или угольными вставками. Ненаплавляемые поверхности закрывают сухим или мокрым асбестом. На ненаплавляемых переходных поверхностях и кромках делают фаски или канавки шириной не более 15-16 мм и глубиной не более 6-8 мм (рис. 36).

Детали из легированных конструкционных сталей, содержащих не более 0,3% углерода, перед наплавкой подогревают. Для небольших деталей достаточно подогреть только участок начала наплавки до температуры, устанавливаемой в зависимости от марок стали и электродов. Штампы для холодной листовой штамповки, холодной и горячей обрезки, наплавляемые электродами ЭН-60М, подогревают до 300-400 °С; молотовые и высадочные формообразующие штампы до 400-500 °С; прошивные, калибровочные пуансоны, матрицы прессования, наплавляемые электродами ОЗН-1, ОЗН-3, до 400-500 °С, а наплавляемые электродами УОНИ-13/85 до 300-400 °С. Все закаленные детали перед наплавкой необходимо подогревать. Чугунные детали наплавляют без подогрева.

Предварительный подогрев деталей проводят в печах или на установках ТВЧ в индукторах. Допускается местный подогрев газопламенными горелками. Рекомендации по предварительному нагреву наплавляемых деталей приведены далее.

Наплавку необходимо выполнять непрерывно, так, чтобы температура подогрева деталей не снижалась более чем на 100 °С. При необходимости допускается повторный общий или местный подогрев. Отдельные валики наплавляют рассредоточенно обратноступенчатым способом, или "горкой". Толщина многослойной наплавки может быть 3-12 мм. Число слоев зависит от марки применяемых электродов и равняется: 1-3 для ОЗН-1 или ОЗН-3; 1-5 для ОЗШ-1; 2-5 для ЭН-60М. Наплавку больших объемов металла проводят ванным способом на постоянных режимах тока с применением медных и графитовых форм (рис. 37), в результате чего значительно повышается качество наплавки, увеличивается ее производительность и уменьшается коробление детали.

При многослойной наплавке наиболее ответственных мест в штампах (особенно молотовых) отдельные наплавленные валики проковывают сразу по-



**Рис. 36. Форма разделки фасок под наплавку:**  
а – открытая; б – закрытая

**Рис. 37. Формы, применяемые при наплавке ванным способом:**  
1 – графитовые разборные формы;  
2 – наплавляемая деталь;  
3 – наплавленный металл

сле наплавки в горячем (по возможности пластическом) состоянии ручным пневматическим молотом. При послойной наплавке отдельные валики тщательно очищают от шлака и брызг. Наплавку ведут на постоянном токе обратной полярности короткой дугой и с неглубоким проплавлением в нижнем и вертикальном положениях.

*Чугунные детали* наплавляют рассредоточенно, медленно, не допуская перегрева. Многослойные наплавки (более трех слоев) для чугуна не рекомендуются. Лучшее качество наплавки получают при ширине валика, равной 2,5 диаметра электрода. Валики накладывают так, чтобы каждый последующий перекрывал предыдущий на 1/2-1/3 его ширины. Припуск на механическую обработку после наплавки должен составлять 2-3 мм. Необходимо следить, чтобы впадины между валиками находились выше линии обработки поверхности после наплавки.

Соотношения между толщиной слоя наплавляемой стали, диаметром электрода, числом слоев и силой тока приведены в табл. 5; режимы автоматической наплавки под флюсом – в табл. 6 и 7; режимы электрошлаковой наплавки проволочными электродами – в табл. 8.

Силу тока при ручной дуговой наплавке определяют по формуле  $I = kd_{эл}$ , где  $I$  – сила тока наплавки, А;  $k$  – коэффициент, равный 35-40;  $d_{эл}$  – диаметр электрода, мм.

#### 5. Режимы наплавки стали в зависимости от толщины наплавляемого слоя

Толщина наплавляемого слоя, мм	Диаметр электрода, мм	Число наплавляемых слоев	Сила тока, А
До 1,5	3	4	80-100
» 5	4-5	1-2	130-180
Св. 5	5-6	2 и более	180-240

#### 6. Режимы автоматической наплавки под флюсом в зависимости от марки наплавляемой стали

Сталь	Проволока		Флюс	Сила тока, А	
	Марка	Диаметр, мм			
30ХГСА	Св-18 ХГСА	2,0-4,0	АН-348А	300-320	
3Х2В8	ПП-2ХЗВ10ГТ	2,5-2,6	АН-348А	До 220	
4ХНВ	ПП-3Х2В8	3,2-3,6	АН-20	240-260	
4ХНВ	ПП-5Х4ВЗФ	2,5-2,6	АН-200	280-300	
3Х2НВ					
Сталь	Напряжение, В	Скорость	Скорость подачи электродной проволоки	Шаг	Вылет электрода
30ХГСА	27-29	35	153	5-6	25-30
3Х2В8	До 28	19-22	77-90	4-5	До 20
4ХНВ	26-28	30	156	5-6	20-25
3Х2НВ	28-30	25	77	3	20-25

### 7. Режимы автоматической наплавки стали под флюсом в зависимости от толщины наплавляемого слоя

Толщина наплавляемого слоя	Диаметр электрода	Сила тока, А	Скорость		Напряжение на дуге, В
			Подачи электродной проволоки	Наплавки	
мм			м/ч		
2-3	2	160-220	101-12	20-25	30-32
3-4	2	340-350	191	25	32-34
4-5	3	360-460	91,5	20-25	32-34
5-6	5	650-700	191-256	24-30	34-36

### 8. Режимы электрошлаковой наплавки стали проволочными электродами в зависимости от толщины наплавляемой детали

Толщина наплавляемой детали, мм	Сила тока на один электрод, А	Напряжение в ванне, В	Число электродов	Диаметр электрода	Расстояние между электродами	Скорость поперечного движения электродов, м/ч
				мм		
30	350-370	32-34	1	2,5	-	-
70	650	47	1	2,5	-	31
100	600-610	42-16	2	2,5	45-50	26-32
150	450-500	44-50	2	3	65	26-31
200	550	46-18	2	3	90	36
250	500-350	50-55	2	3	125	31
300	400-150	46-48	3	3	110	31-36
350	400-150	46-48	3	3	110	31-36
450	200	26-28	9	3	50	-

Толщина наплавляемой детали, мм	Скорость подачи электрода	Скорость наплавки	Время выдержки у ползунов, с	Зазор	Глубина шлаковой ванны	Сухой вылет
	м/ч					
30	172	0,9-1,0	-	30	20-25	40-45
70	371-100	1,0-1,0	5	26-30	60-65	90-95
100	300	1,6	4-6	24-27	50-70	60-80
150	320-240	0,8-0,9	5	25-28	40-50	60-70
200	250	0,5	5	32	50	60-70
250	230-250	0,4-0,5	5	28-32	45-50	60-70
300	200-220	0,35	5	30	45-50	60-70
350	200-220	0,30	5	30-33	45-50	60-70
450	60-80	0,60	5	30 - 33	40-45	50-70

Наплавленные детали, которые будут обрабатывать абразивами, сразу после наплавки подвергают отпуску в течение 1-2 ч для снятия внутренних напряжений.

Детали, рабочие кромки и поверхности которых необходимо обработать режущим инструментом, после наплавки отжигают, а после обработки резанием – закаливают и отпускают по режимам, соответствующим составу наплавленного металла.

При ручной дуговой наплавке плавящимся электродом его диаметр и режим наплавки зависят от толщины металла, подлежащей наплавке, размеров детали, требований к качеству и внешнему виду и др. (табл. 9).

Примеры режимов наплавки порошкообразных смесей приведены в табл. 10; аргонодуговой наплавки – в табл. 11.

### 9. Режимы ручной дуговой наплавки в зависимости от толщины наплавляемой детали

Толщина детали	Диаметр электрода	Сила тока, А
мм		
1-2 3-5 4-10	2-3 3-4 4-5	80-100 100-160 140-200
12-24 30-60	6-7	180-300

Примечание. Наплавку можно выполнять постоянным или переменным током.

### 10. Режимы наплавки порошкообразных смесей угольными и графитовыми электродами (постоянный ток, прямая полярность)

Электрод	Диаметр электрода, мм	Сила тока, А	Напряжение дуги, В
Угольный	10 12	160-200 200-300	24-26
	14 16	300-350 350-400	25-28
	20	400-500	26-30
Графитовый	6 8 10	120-160 200-250 250-300	26 25 26

Примечание. Наплавка выполняется постоянным током прямой полярности.

### 11. Режимы ручной аргонодуговой наплавки

Диаметр присадочной проволоки, мм	Род тока	Сила тока, А	Скорость, м/ч	Расход аргона, л/мин
1,6	Переменный	35-75	9-20	3-4
1,6-2		45-85		4
1,6	Постоянный прямой полярности	30-60	7-17	3-4
1,6-2		40-75	5,5-12	4
1,6	Переменный	40-60	6-8	3-4
			4-5,5	4

Глубину проплавления можно определить по формуле

$$h = k \sqrt[3]{\frac{I^4}{v_n U^2}},$$

где  $h$  – глубина проплавления, мм;  $k$  – коэффициент;  $I$  – сила тока, А;  $v_n$  – скорость наплавки, мм/мин;  $U$  – напряжение, В.

Автоматическую наплавку низкоуглеродистых и низколегированных сталей ведут проволокой из низкоуглеродистых (Св-08, Св-08А), марганцовистых (Св-08Г, Св-08ГА) и кремниймарганцовистых (Св-08ГС, Св-08Г2С, Св-12ГС) сталей.

Стали с большим содержанием углерода наплавляют проволокой Нп-65Г, Нп-80, Нп-30ХГСА, Нп-40Х13 (ГОСТ 10543-82). Химический состав и твердость наплавленного металла приведены в табл. 12 и 13.

## 12. Сварочная и наплавочная проволоки для автоматической наплавки деталей

Марка проволоки	Содержание компонентов, % (мас. доля)					Твердость НRC после наплавки
	С	Mn	Si	Cr	Ni	
Св-08	0,1	0,35-0,60	0,03	0,15	0,3	16-43
Св-08А	0,1	0,35-0,6	0,03	0,12	0,25	18-41
СВ-10Г2	0,12	1,5-1,9	0,06	0,2	0,3	21
СВ-08ГС	0,1	1,4-1,7	0,6-0,85		0,25	20
СВ-08Г2С	0,11	1,8-2,1	0,7-0,95		0,3	20-45
СВ-12ГС	0,14	0,8-1,1	0,6-0,9			22
СВ-18ХГС	0,22		0,9-1,2	0,8-1,1	28	
Нп-30	0,27-0,35	0,5-1,2	0,17-0,37	0,25	0,3	16-22
Нп-40	0,35-0,45					17-23
Нп-50	0,45-0,55					18-24
Нп-65	0,6-0,7					22-30
Нп-80	0,75-0,85			30-34		
Нп-65Г	0,6-0,7	0,9-1,2	0,3	25-32		
Нп-30ХГСА	0,27-0,35	0,8-1,1	0,9-1,2	0,8-1,1	0,4	30-34
НП-40Х2Г2М	0,35-0,43	1,8-2,3	0,4-0,7	1,8-2,3	0,4	35-40
Нп-50ХФА	0,46-0,54	0,5-0,8	0,17-0,37	0,8-0,93		37-45
Нп-Х20Н80Т	До 0,12	0,7	0,8	19-23	Основа	18-22
Нп-40Х13	0,35-0,45	0,8	0,8	10-12	0,6	40-45

**Примечание.** В проволоке марок Нп-40Х2Г2М и Нп-50ХФА содержится, соответственно, 0,8-1,2 и 0,1-0,2% (мас. доля) Мо.

## 13. Порошковая проволока и лента для автоматической наплавки

Марка проволоки или ленты	Тип наплавляемой стали	Содержание компонентов, % (мас. доля)								Твердость HRC после наплавки
		C	Si	Mn	Cr	Mo	W	V	Ti	
ПП-3Х2В8	3Х2В8	0,32	0,6	0,8	2,5	-	8,5	0,3	-	45-53,2
ПП-АН122	30Х5Г2МО	0,3	0,8	1,6	4,5	0,6	-	-	0,25	51-57
ПП-АН128	35Х4Г2СМ	0,35	0,7	2	4,1	0,9	-	-	0,35	49-55
ПП-АН121	20ХГТ	0,18	0,6	1	0,8	-	-	0,15	0,25	30-37
ПП-АН120	20Х2Г2М	0,18	0,6	1,8	1,8	0,7	-	-	-	37-42
ПП-АН105	Г13Н4	1	0,5	13	(Ni-4,2)	-	-	-	-	22-27
ПП-АН130	25Х5ФМС	0,25	1,2	0,6	5	1,2	-	0,4	-	42-47
ПП-3Х4В3Ф	3Х4В3Ф	0,25	0,6	0,6	4,1	-	3,5	0,6	0,2	34-43,5
ПП-АН104	У20Х12ВФ	1,8	0,6	0,6	12	-	1	0,25	-	42-46
ПП-АН103	У20Х12М	1,8	0,6	0,6	12	0,8	-	-	-	42-46
ПП-АН106	10Х14Т	0,1	0,4	0,6	14	-	-	-	0,12	44-50
ПП-АН125	20Х15СТРТ	2	1,5	1	15	(В-0,7)	-	-	0,3	52-59
ПП-АН250	15СТ	0,14	0,8	0,4	-	-	-	-	0,4	23-28
ПП-АН138	10Х15Т	0,1	2,0	0,8	15	-	-	-	0,2	26-28
ПП-АН126	20Х2М2СТ	0,2	1	2	2	-	-	-	0,7	37-42
ПП-АН150	10Х17С5М2	0,09	5,5	2	17,8	-	-	-	0,14	30-36
ПП-АН1 (АН3)	10Х17С5М2	0,08-0,09	0,22	0,78	-	-	-	-	-	256-197 НВ
ЛС-70ХЗНМ	70ХЗГСНМ	0,9-1,1	0,8	0,9	3	0,6	-	-	-	54-60
ПП-АН171	100Х20Р4С3Г2	1	3	2	4,2-48	0,8-1,1	0,9-1,2	-	-	53-59
ЛС-У10Х7ГР	100Х7ГР	1,1-1,4	1,3	0,8	7-8	0,8-0,9	-	-	-	58-60
ЛС-1Х14Н3	12Х14Н3	0,2-0,4	0,5	0,04	16-18	-	3,5-4,5	-	-	48-50
ЛС-5Х4В3ФС	5Х4В3ФС	0,5	0,8	0,7	4	-	3	0,7	-	44-48
ЛС-25Х5ФМС	-	0,2	0,8	0,9	5	1	-	0,5	-	42-46
ЛС-5Х4В2М2ФС	-	0,5	0,8	0,9	4	2	2	0,7	-	50-54
ЛС-12Х14Н3	-	0,1	0,8	0,7	14	-	-	-	-	42-46
ЛС-18ХГСА	18ХГСА	0,2	0,8	0,7	1,2	-	-	-	-	30-34

Флюсы подразделяют на плавленные, керамические и флюсы-смеси. Плавленные флюсы АН-348А, АН-60, ОСУ-45, АН-20 и АН-28 содержат стабилизирующие и шлакообразующие элементы. В состав этих флюсов не входят легирующие добавки.

Керамические флюсы АНК-18, АНК-19 и ЖСН-1, кроме стабилизирующих и шлакообразующих элементов, содержат легирующие добавки – ферросплавы. При наплавке малоуглеродистой проволокой они обеспечивают высокую твердость и износостойкость наплавленного металла.

Флюсы-смеси состоят из флюса АН-348А с добавлением феррохрома, ферромарганца и графита. Смесь расстилают на листе слоем 15-20 мм и сушат 15-25 мин при температуре 100-120 °С. Затем просеивают через сито № 16 и сушат при температуре 150-200 °С в течение 3-4 ч. Твердость наплавленного металла зависит от содержания легирующих присадок (феррохрома и др.) в составе флюса (табл. 14). Режимы наплавки электродной проволокой на сварочных автоматах приведены в табл. 15.

При наплавке открытой дугой порошковыми проволоками типа ПП-АН122 и ПП-АН128 можно увеличить силу тока (т. е. производительность процесса) в 2 раза и более. Отпадает операция отделения шлаковой корки от детали после наплавки. Микроструктура металла при наплавке на сталь 45 трооститно-мартенситная, твердость 51,5-57 HRC<sub>3</sub>. Износостойкость в 1,6-2 раза больше, чем у стали 45, закаленной токами высокой частоты (ТВЧ).

#### 14. Твердость наплавленного металла в зависимости от содержания феррохрома во флюсе

Содержание, % (мас. доля)		HRC наплавленного металла
Феррохрома во флюсе	Хрома в наплавленном металле	
5	2	41,5
10	4	49,5
15	6	56
25	10	49,5
20	8	53,5

Примечание. Наплавка осуществляется проволокой НП-60.

#### 15. Режимы автоматической наплавки деталей электродной проволокой

Диаметр		Смещение в зените	Шаг наплавки	Сила тока, А	Скорость м/с	
Детали	Электродной проволоки				Подачи электродной проволоки	Наплавки
мм						
50-60	1,6	2-4	3	140-150	75-80	16-24
61-75	1,6	3-4	3,5	170-180	110-115	15-28
76-100	2	5-7	4,5	180-200	125-130	16-32
101-200	2-3	8-10	5,6	220-250	160-170	16-32
201-300	2-3	10-15	6,7	250-280	180-190	16-36

Широкое применение для наплавки получили *металло-керамические ленты* ЛМ-70ХЗНМ, ЛМ-20Х10Г10Т, ЛМ-1Х14НЗ, ЛМ-5Х4ВЗФС, разработанные в институте электросварки им. Е.О. Патона.

Наплавка металлокерамическими лентами осуществляется на постоянном токе обратной полярности. Плотность тока на электроде 10-20 А/мм<sup>2</sup>, напряжение дуги 28-32 В, скорость наплавки 0,16-0,55 см/с. Скорость подачи ленты зависит от режимов наплавки и составляет 15-150 м/ч.

Режимы автоматической наплавки деталей порошковыми проволоками приведены в табл. 16, порошковыми лентами – в табл. 17, металлокерамическими лентами – в табл. 18. Наплавку порошковой проволокой и лентой выполняют постоянным током обратной полярности.

**Биметаллические штампы холодной штамповки, изготовленные с применением наплавки**, обладают рядом преимуществ. Оптимальной является конструкция штампов, у которых корпус изготовлен из вязкой и прочной низколегированной или углеродистой стали, а на рабочую поверхность наплавлен слой износостойкого материала. Повышается стойкость штампов, появляется возможность их многократного восстановления.

Технология изготовления штампа с применением наплавки предусматривает: изготовление корпусов матрицы и пуансона из низколегированной или углеродистой стали; разделку рабочей кромки под наплавку по всему периметру 8 × 8 мм (10 × 10 мм) или 10 мм × 45°; предварительный подогрев упрочняемой детали до 400 °С; наплавку режущих кромок проволокой ПП-АН140.

Режим наплавки проволокой диаметром 2,8 мм следующий:  $I = 220 \div 260$  А,  $U = 22 \div 24$  В, полярность тока обратная. Наплавку проводят не менее чем в два



### 16. Режимы автоматической наплавки деталей порошковой проволокой

Марка проволоки	Диаметр, мм		Сила тока, А	Напряжение, В	Скорость наплавки, м/с
	Детали	Проволоки			
ПП-АН1	40-60	2,8	260-320	22-24	18-25
ПП-АН4	35-40	2,0	160-190	18-20	20-30
	45-56	2,2	180-220	20-22	20-25
	50-60	2,5	200-250	22-24	20-28
ПП-АН8	35-45	2,0	160-190	18-20	20-28
	40-5	2,2	180-220	20-22	21-28
	50-65	2,5	200-250	22-24	22-23
	60-75	3,0	280-320	26-28	28-32
ПП-АН106	45-55	2,6	160-180	22-24	25-35
	55-65		160-180	22-24	20-25
	60-75		200-220	24-26	15-20
ПП-25Х5ФМС	45-55	2,6	160-180	22-24	35-40
	50-65	3,6	200-220	22-24	30-40
	60-75	3,6	240-270	24-26	25-35
	60-80	3,2	400-420	28-32	28-32
ПП-АН125	30-40	2,6	120-130	19-20	30-35
	40-50		170-130	19-20	28-30
	50-60		160-180	20-21	28-30
ПП-АН122	60-70		170-220	20-21	24-28
	70-80		220-240	22-23	23-26
	80-100		280-300	24-26	22-26

### 17. Режимы автоматической наплавки деталей порошковыми лентами

Марка порошковой ленты	Сила тока, А	Напряжение, В	Скорость наплавки, м/ч	Способ наплавки
ПЛ-17 (10Х20С3Р4)	700-1000	28-36	15-30	Под флюсом АН-200
		28-34	20-50	Открытой дугой
ПЛ-126 (20Х2Р2М)	600-1000	28-36	15-40	Под флюсом ПН-348А
		28-32	45-60	Открытой дугой
ОЛ-101 (У30Х25Н3С3)	700-750	32-34	17-23	Под флюсом АН-200
		28-30	40-45	Открытой дугой

слоя. Отпуск при 300-400 °С в течение 1 ч с последующим замедленным охлаждением. Структура наплавляемого металла – мартенсит и карбиды с умеренным количеством остаточного аустенита.

*Ремонт изношенных рабочих элементов штампов для холодной штамповки и вырубных штампов при наличии сколов, трещин, выкрашиваний и других дефектов можно осуществить с помощью наплавки их поверхностей порошковой проволокой марки ПП-АН148 по следующей технологии: зачистка дефектного*

### 18. Режимы автоматической наплавки металлокерамическими лентами

Размеры ленты, мм		Сила тока, А	Напряжение, В	Скорость наплавки, см/с
Ширина	Толщина			
30	0,8-1,2	300-600	28-32	0,16-0,55
45		450-900		
60		600-1200		
75		750-1500		
90		900-1800		

участка; предварительный подогрев до 300 °С с целью предотвращения возникновения трещин в наплавленном слое; наплавка дефектного участка проволокой ПП-АН148 при режимах наплавки:  $I = 20 \div 40$  А в зависимости от объема наплавки;  $U$  не превышает 40 В; полярность прямая; отпуск при 300 °С в течение 1 ч; шлифовка или электроэрозионная обработка наплавленного участка.

Технология обеспечивает получение наплавляемого металла типа 80X12H4Ф3М2В2НР с твердостью 58-60 HRC уже в первом слое металла наплавки. Структура наплавляемого металла – мартенсит с умеренным количеством остаточного аустенита. Упрочняющая фаза – карбиды и бориды хрома, вольфрама и молибдена, а также интерметаллиды Fe-Co-Mo и Fe-W-Mo. Структура обеспечивает сочетание высокой твердости с удовлетворительной ударной вязкостью (до 14 Дж/см<sup>2</sup>).

**Автоматическая наплавка поверхностей** может быть выполнена в среде углекислого газа, что не требует применения флюсов. При таком способе наплавки отсутствуют вредные выделения и шлаковые корки. Открытая дуга дает возможность наблюдать и корректировать процесс, проводить наплавку при любом пространственном положении наплавляемой плоскости, механизировать наплавку, выполняемую на мелких деталях (валах диаметром 10 мм и более).

Режимы автоматической наплавки в струе углекислого газа приведены в табл. 19; рекомендуемые составы защитных газов – в табл. 20.

Процесс наплавки можно осуществить при наложении на электрод дополнительной вибрации и прерывании дуги, когда мундштук сварочной головки вместе с проходящей через него сварочной проволокой вибрирует с частотой 100-110 Гц и амплитудой колебаний до 4 мм.

*Вибрация электрода* обеспечивает стабильность процесса благодаря частым возбуждениям дуговых разрядов, способствует подаче электродной проволоки небольшими порциями и лучшему формированию наплавленных валиков. Процесс наплавки может быть осуществлен при низком напряжении (12-18 В).

Высокое качество наплавки получают при токе обратной полярности (плюс на электроде, минус на детали), шаге наплавки 2,3-2,8 мм/об и угле подвода проволоки к детали 15-30 °.

Оптимальный режим наплавки: напряжение 28-30 В, сила тока 70-75 А (диаметр проволоки 1,6 мм), скорость подачи проволоки 1,3 м/мин, скорость наплавки 0,5-0,6 м/мин, амплитуда вибрации 1,8-2 мм.

Скорость наплавки (м/мин) определяют по частоте вращения детали, равной

$$n = 250 \frac{d^2 v_{п} \eta}{SDh},$$

### 19. Режимы автоматической наплавки поверхностей в среде углекислого газа

Диаметр детали	Толщина наплавляемого слоя	Диаметр электрода	Сила тока, А	Напряжение, В	Скорость наплавки, м/ч	Смещение электрода	Шаг наплавки	Вылет электрода	Расход углекислого газа, л/мин
10-20	0,5-0,8	0,8	70-90	16-18	40-45	2-4	2,5-3,0	7-10	6-8
20-30	0,8-1,0	1,0	85-110	18-20	40-45	3-5	2,8-3,2	8-11	6-8
30-40	1,0-1,2	1,2	90-150	19-23	35-40	5-8	3,0-3,5	10-12	6-8
40-50	1,2-1,4	1,4	110-180	20-24	30-35	6-10	3,5-4,0	10-15	8-10
50-60	1,4-1,6	1,6	140-200	24-28	30-20	7-12	4,0-6,0	12-20	8-10
60-70	1,6-2,0	2,0	280-400	27-30	20-15	8-14	4,5-6,5	18-25	10-12
70-80	2,0-2,5	2,5	280-450	28-30	10-20	9-15	5,0-7,0	20-27	12-15
80-90	2,5-3,0	3,0	300-400	28-32	10-20	9-15	5,0-7,5	20-27	14-18
90-100	0,8-1,0	1,0	100-300	18-19	70-80	8-10	2,8-3,2	10-12	6-8
100-150	0,8-1,0	1,2	130-160	18-19	70-80	8-12	3,0-3,5	10-13	8-9
200-300	0,8-1,0	1,2	150-190	19-21	20-30	18-20	3,0-3,5	10-13	8-9
200-400	1,8-2,8	2,0	350-420	32-34	25-35	18-22	4,5-6,5	25-40	15-18
200-400	2,6-3,2	3,0	380-450	32-34	25-35	20-25	5,0-7,5	25-50	15-18

### 20. Рекомендуемые составы защитных газовых сред при наплавке материалов

Свариваемые и наплавляемые материалы	Составы защитных газов при использовании электрода	
	Вольфрамового	Плавящегося
Малоуглеродистые стали	Комбинированная защита Ar + CO <sub>2</sub>	1) CO <sub>2</sub> 2) 90% Ar + 10% CO <sub>2</sub> 3) Ar марки Г
Низко- и среднелегированные стали	1) Комбинированная защита Ar + CO <sub>2</sub> 2) Ar марки В	1) CO <sub>2</sub> 2) 90% Ar + CO <sub>2</sub> 3) Ar марки Г
Коррозионно-стойкие хромоникелевые высоколегированные стали	1) Ar марки В 2) He 3) Комбинированная защита	1) Ar марки В 2) He 3) Ar марки Г 4) CO <sub>2</sub> 5) 90% Ar + 10% CO <sub>2</sub>
Жаропрочные хромоникелевые сплавы	1) Ar марки В 2) He	1) Ar марки В 2) He
Алюминий и алюминиевые сплавы	Ar марки В	1) Ar марок Б и В 2) 35% Ar + 65% He

где  $n$  – частота вращения детали,  $\text{мин}^{-1}$ ;  $d$  – диаметр электродной проволоки;  $v_n$  – скорость подачи проволоки,  $\text{м/мин}$ ;  $\eta$  – коэффициент наплавки ( $\eta = 0,85 \div 0,9$ );  $S$  – шаг наплавки,  $\text{мм/об. детали}$ ;  $D$  – диаметр детали,  $\text{мм}$ ;  $h$  – толщина наплавляемого слоя,  $\text{мм}$ .

*Вибродуговая автоматическая наплавка в защитной среде водяного пара с одновременным охлаждением детали отдельной струей жидкости создает благоприятные условия формирования и кристаллизации наплавленного слоя, уменьшает склонность наплавленного металла к образованию пор и трещин, позволяет регулировать структуру и твердость наплавленного металла путем*

установления определенного расхода и места подвода охлаждающей жидкости, а также повышает прочность вследствие уменьшения дефектов в металле наплавки.

Для наплавки в среде водяного пара используют обычные сварочные полуавтоматы. Наплавку деталей проводят постоянным током обратной полярности (плюс на электроде, минус на детали).

Достаточно гладкий валик наплавленного металла с незначительной пористостью получают при скоростях наплавки 10-20 м/ч, силе тока 130-250 А, напряжении 36-48 В, скорости подачи проволоки 200-300 м/ч и ее диаметре 1,6-2 мм. Вылет электрода 20-26 мм. Оптимальная длина струи пара, подаваемая под углом 20-25° к вертикальной оси детали,  $l = 100 \div 150$  мм. Режимы вибродуговой наплавки приведены в табл. 21 и 22.

При *вибродуговой наплавке в среде углекислого газа* проволокой из стали марок Х20Н10Г6 и 30ХГСА скорость подачи проволоки составляет 32-25 мм/с, расход углекислого газа 800-1200 л/ч (табл. 23).

Для уменьшения трудоемкости обработки резанием цилиндрических деталей, наплавленных износостойкими материалами большой твердости, применяют **комплексную технологию упрочнения** – одновременные наплавку, удаление шлаковой корки, фрезерование и шлифование наплавленного металла, что позволяет увеличить долговечность инструмента благодаря меньшей твердости наплавленного металла, имеющего температуру 400-1000 °С.

**Пример.** Наплавка на деталь из стали 45 проводилась пружинной проволокой 2-го класса под флюсом АН-348А с добавлением 2,5% графита и 2% феррохрома. Твердость поверхностного слоя наплавленного металла на остывшей до 120 °С детали составляет в этом случае 56-62 HRC.

При одновременной (с наплавкой) обработке резанием усилие резания  $Q$  уменьшается в 2-3 раза. За 150 мин обработки горячего металла при глубине

## 21. Режимы вибродуговой наплавки стальных деталей

Диаметр детали	Толщина наплавленного слоя	Диаметр электродной проволоки	Сила тока, А	Скорость наплавки	Скорость подачи электродной проволоки	Расход охлаждающей жидкости, л/мин	Шаг наплавки, мм/об	Амплитуда вибрации проволоки, мм	Угол подачи проволоки к деталям, град
				м/мин					
20	0,3	1,6	120-150	2,2	0,6	0,2	1	1,5	35
40	0,7	1,6	120-150	1,2	0,4	0,4	1,3	1,8	
60	1,1	2	150-210	1	0,8	0,5	1,6	2	45
80	1,5		150-210	0,6	1	0,6	1,8		
100	2,5	2,5	140-210	0,3	1,1	0,7	2-3		

**Примечание.** Применяется постоянный ток обратной полярности, напряжение дуги 12-15 В.

**22. Режимы вибродуговой наплавки чугунных деталей**

Наплавочный материал	Толщина наплавленного слоя, мм	Скорость подачи электрода, м/мин	Сила тока, А	Число оборотов детали в минуту	Подача суппорта станка, мм/об	Припуск на механическую обработку на сторону (не менее), мм
Проволока Диаметром 1,6-1,8 мм	0,6-0,7	1,3	120-140	1200 : $\pi D$	1,8-2,2	0,4
	1,5		160-190	1000 : $\pi D$	2,3-2,8	0,8
Проволока диаметром 2,5 мм	2,5-3	1,7		300-350	200 : $\pi D$	3,3-3,4
			320-340	200 : $\pi D$	7,9	
Лента сечением 0,5 x 10 мм						

Примечание.  $D$  – диаметр направляемой детали, мм.

**23. Режимы вибродуговой наплавки в среде углекислого газа**

Толщина наплавленного слоя, мм	Диаметр электродной проволоки, мм	Сварочный ток, А	Рабочее напряжение, В
1,0	1,0	75-175	17-20
	2,0	150-300	20-24
1,5	1,2	92-225	18-21
	2,2	165-375	21-25
2,5	1,4	100-250	18-22
	2,5	190-400	22-26
2,5	1,6	120-300	19-23
	2,5	190-400	22-26
3,0	2,0	150-350	20-24
	2,5	190-400	22-26

Примечание. В числителе – минимальное значение параметра, в знаменателе – максимальное.

фрезерования 0,6 мм износ режущей кромки резца с твердосплавными пластинками Т15К6, Т5К10 и ВК8 составляет, соответственно, 0,26, 0,56 и 0,45 мм, в то время как при обработке наплавленного металла в холодном состоянии резцы выходят из строя через 5-20 мин из-за сколов или повышенного износа пластин. Режимы комплексной автоматической наплавки и обработки резанием приведены в табл. 24.

Наряду с методами автоматической электродуговой наплавки широко распространены **универсальные методы наплавки с использованием тепла газового пламени.**

Для газопламенной наплавки применяют присадочные материалы (табл. 25-29) в виде порошков или металлического стержня.

### 24. Режимы комплексной обработки автоматическая наплавка – фрезерование – шлифование

Параметры	Диаметр детали, мм		
	60	120	240
Частота вращения детали, мин <sup>-1</sup>	3	2	0,75
Диаметр электродной проволоки, мм	1,6-1,8	1,8-2,0	2-3
Шаг наплавки, мм/об	3,5-4	3,5-4,5	4-4,5
Напряжение на дуге, В	20-22	22-24	25-27
Сила тока, А	190-200	200-220	260-280
Скорость подачи проволоки, м/мин	1,35-1,5	2,3-2,5	3-4,0
Вылет электрода, мм	15-25	15-25	15-25
Скорость фрезерования, м/мин	200-250	200-250	200-250
Подача на зуб фрезы, мм	0,1-0,15	0,1-0,15	0,1-0,15
Скорость шлифования, м/с	25-50	25-50	25-50
Подача шлифованного круга, мм	0,02-0,5	0,02-0,5	0,02-0,5

### 25. Наплавочные присадочные материалы на основе кобальта для газопламенной наплавки

Марка сплава	Среднее содержание компонентов в наплавленном слое, % (мас. доля)						Твердость HRC при температуре, °С		
	C	Si	Mn	Cr	Ni	W	Fe	20	650
KB5X30	1,0	1,2	1,0	29	2,0	4,6	4	42	26
KB8X30	1,3			8,5		47		30	
KB12X30	2,4			2,15		55		36	
KB20X30	2,7			19,0		60		53	

Примечание. Остальное (до 100%) – кобальт.

### 26. Твердые сплавы, используемые в качестве присадочного материала при газопламенной наплавке

Сплав	Среднее содержание компонентов в твердом сплаве, % (мас. доля)					Твердость HRC наплавленного слоя
	C	W	Mo	Ni	Cr	
Релит	3,3	95	-	-	-	90-92
Вокар	9-10	90	-	-	-	85-90
Воломит	4	93	2	-	-	90-92
Карбиды хрома	5	-	-	25	70	90-92
Карбиды вольфрама	-	70-85*	-	-	-	-

\* Остальное – сплав медь – никель – марганец.

### 27. Высокохромистые чугуны, применяемые в качестве присадочного материала при газопламенной наплавке

Марка сплава	Среднее содержание компонентов в наплавленном слое, % (мас. доля)							Твердость HRC наплавленного слоя
	C	Si	Mn	Cr	Ni	Ti	B	
У30Х30Н4С4	2,9	3,5	1,0	28	3,5	-	-	48-54
У45Х30Г6	4,5	1,8	6,0	30	-	-	-	58-63
У45Х17Г13С3	4,2	3,0	12	16	-	-	-	55-58
У35Х25Р	3,6	0,6	1,2	26	-	-	1,5	60-65
У35Х20РТ	3,6	0,6	1,8	21	-	1,5	1,2	56-62
У15Х6МФ *	1,8	1,9	1,2	6	3	-	-	46-48
У30Х30Н4С4Т	2,9	4,2	1,0	28	3,8	0,5	-	52-54

\* Содержит также: 1,5% Мо; 1,32% V и 2,3% Nb.

**28. Сплавы на основе никеля, применяемые  
в качестве присадочного материала при газопламенной наплавке**

Марка сплава	Среднее содержание компонентов в никелевом сплаве, % (мас. доля)							Твердость HRC наплавленного слоя при температуре, °С	
	C	Si	Mn	Cr	Ni	Fe	B	20	50
X15H60	0,12	0,7	1,0	15	58	Остальное	-	18	-
X20H80	0,12	0,3	1,0	20	76	То же	-	18	-
HX10P2	0,45	2,3	-	11	80	3	2,5	35	29
HX13P3	0,60	4,0	-	13	76	4	3,0	45	42
HX15P4	0,75	4,5	-	15	70	4,5	3,5	56	48
XH80CP2	До 0,1	0,8-1,5	-	15-18	До 80	-	2,0	-	-

Поверхности с особыми свойствами наплавляют металлическими электродами с качественными легирующими покрытиями.

**Упрочнение и восстановление малогабаритных вырубных, прошивных и разделительных штампов со сложной гравюрой рабочей части методом наплавки дисперсионно-твердеющими сталями** обеспечивает увеличение стойкости в 3-6 раз по сравнению со стойкостью термически обработанного не-наплавленного инструмента. Для упрочнения используют плавящиеся электроды типа ОЗИ-4, ОЗИ-5 и ХАДИМ-1, тип наплавленного металла – Х5М5В6К15Ф (электрод ОЗИ-4), Х2М10В11К18Ф (электрод ОЗИ-5), 5Х12В8МФ (электрод ХАДИМ-1). После наплавки получают металл с низкой твердостью, обычно не превышающей 30-40 HRC, что позволяет производить обработку резанием наплавленных поверхностей обычными резцами, фрезами и сверлами. После окончательной обработки резанием наплавленные штампы подвергают нагреву в термических печах до температур, обеспечивающих развитие процессов дисперсионного твердения. При нагреве во всем объеме наплавленного металла выделяются интерметаллидные упрочняющие фазы, что вызывает повышение его твердости HRC до требуемых значений: 49-56 для штампов горячего деформирования и 60-64 для штампов холодного деформирования. В процессе эксплуатации твердость наплавленного металла фактически не изменяется, что в итоге обуславливает увеличение стойкости штампов.

Технологический процесс изготовления штампов с применением наплавки предусматривает последовательное выполнение следующих операций: предварительную обработку резанием детали по контуру с припуском 0,20-0,23 мм под окончательную обработку резанием; термическую обработку по режимам, рекомендованным для применяемых марок сталей для обеспечения твердости основного металла 49-54 HRC; наплавку слоя высотой 12-14 мм (например, по торцу рабочей части пуансона) с припуском под обработку резанием по периметру наплавленного слоя до 2 мм; предварительную обработку резанием наплавленного слоя с припуском под окончательную обработку резанием; обработку резанием наплавленного слоя с припуском под окончательную обработку резанием; окончательную обработку резанием по всему контуру детали.

**Пример.** Пуансоны, изготовленные из стали 6ХВ2С для горячей прошивки круглых (диаметром 13,4-17,5 мм) и квадратных (сечением 13,4×13,4 мм) отверстий в заготовках толщиной 28 мм, наплавляют электродами диаметром 4 мм с защитно-

**29. Сплавы, применяемые для индукционной  
и газопламенной наплавки**

Марка стали	Содержание компонентов, % (мас. доля)								Температура плавки, °С	Твердость НРС	Относительная износостойкость
	С	Si	Mn	Cr	Ni	V	Ti	B			
У30Х28Н4С4 (сормайт-1)	2,5-3,5	2,8-4,2	До 1,5	25-31	3-5	-	-	-	1275	49-54	2,6
У45Х35Г3Р2С (ФБХ-6-2)	3,5-5,5	1-2,5	1,5-4	32-37	-	-	-	1,5-2,2	1330	60-63	5,0
У60Х40Н2С2Г (УС-25)	4,4-5,5	1,8-2,8	До 2,5	38-42	1-1,8	-	-	-	1320	58-64	3,6
У35Х717	1,8-5,2	0,4-0,9	4-8	4-10	-	-	-	-	1350	52-60	-
ХТ3У	3,5	4,5	1,5	28	-	1-5	3,2	-	1350	56-60	-
Р150-У30Х28Н4С4	Релит + сормайт <sup>-1</sup>								1275	54-63	6,7
ФХ50-У30Х28Н4С4 (ПС-4)	Углеродистый феррохром (ФХ800) + сормайт <sup>-1</sup>								1275	58-64	5
ФХ60ФТ2-У30Х28Н4С4 (ПС-5)	Углеродистый феррохром (ФХ800) + ферротитан								1275	58-64	5,6
ФХ60-У30С2 (ПС-6)	Углеродистый феррохром (ФХ800) + белый чугун								1275	56-63	4,9

\* При испытании на машине Х4-Б; эталон из отожженной стали 45.



легирующим покрытием, обеспечивающим получение наплавленного металла Х2Н8М12ВФ. Сила сварочного тока 120-140 А, напряжение дуги 27-30 В. Наплавку ведут короткой дугой обратной полярности.

Рабочую часть заготовок пуансонов выполняют на 10 мм короче, что предотвращает смешение основного и наплавленного металлов в зоне рабочего торца пуансона. Наплавку проводят в составных медных формах (рис. 38). Обработку резанием осуществляют режущим инструментом, армированным твердосплавными пластинами.

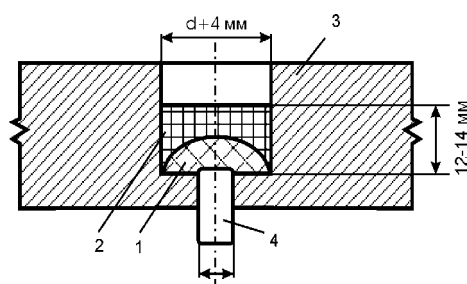
**Упрочнение и восстановление аргонодуговой наплавкой рабочих поверхностей сложных фасонных геометрических фигур штампов, валков, пресс-форм, пресс-матриц и подобных инструментов для горячего прессования, изготавливаемых из сталей типа 3Х2В8Ф.** Восстанавливаемый и упрочняемый инструмент предварительно очищают от загрязнений в пескоструйной камере. Глубокие трещины разделяют. При глубине трещины до 2 мм ее края оплавляют аргонодуговой горелкой без присадочного материала. Перед наплавкой и оплавлением инструмент (например, из стали 3Х2В8Ф) нагревают в электропечи до 750-800 °С. Режим наплавки: сила тока 100 А, полярность прямая, расход аргона 5-10 л/мин. Присадочный материал: наплавочная проволока диаметром 3 мм из инструментальной стали мартенситно-карбидного класса типа 65Х3В10МФГТ.

Способ позволяет получить беспористый слой износостойкого металла, сократить трудоемкость слесарнодоводочных работ, повысить стойкость инструмента.

**Наплавка порошковыми проволоками и легированными электродами** в ряде случаев позволяет заменить инструментальные стали (например, 5ХВ2С и Р6М5) конструкционной сталью Ст3 и многократно восстановить изношенные детали. Режимы наплавки приведены в табл. 30. наплавку порошковой проволокой ПП-АН170 осуществляют на полуавтомате типа АН-765.

Заготовки перед наплавкой подогревают до 300-350 °С, а после наплавки подвергают высокому отпуску при 650 °С в течение 2 ч для снятия внутренних напряжений и термофиксации размеров. Наплавленный металл обрабатывают абразивным инструментом. Химический состав наплавленного металла приведен в табл. 31. Срок службы наплавленных ножей увеличивается в 2-2,5 раза по сравнению с ножами из инструментальных сталей.

**Восстановление изношенных поверхностей деталей, работающих при умеренной ударной нагрузке.** Перед наплавкой на восстанавливаемую поверхность детали наносят слой (толщина 5-6 мм) порошковой смеси угольнометаллических порошков С, Cr и Fe; С, Cr, В и Fe; С, Cr, W и Fe на связующем – натрие-



**Рис. 38. Разъемная форма для наплавки торца пуансона:**  
 1 – зона смешения наплавленного и основного металлов; 2 – наплавленный металл; 3 – медные полуформы; 4 – рабочая часть пуансона

### 30. Режимы наплавки порошковой проволокой и сложнелегированными электродами

Тип наплавленного материала	Диаметр электрода, мм	Напряжение на дуге, В	Сила тока, А	Скорость подачи электродной проволоки, м/ч	Число наплавленных слоев
ПП-АН 170	3,2	30-40	320-380	158	3
ИН-1	5	24-28	150-180	-	4

### 31. Химический состав металла, наплавленного порошковой проволокой и сложнелегированными электродами

Тип наплавленного металла	Содержание компонентов в наплавленном металле, % (мас. доля)				
	C	Mn	Si	Cr	W
ПП-АН-170	0,5-0,7	0,4-0,6	0,4-0,5	18-22	2,5-2,9
ИН-1	0,3-0,4	0,8-1,0	0,6-0,7	2,1-2,4	6,8-8,2
Тип наплавленного металла	Содержание компонентов в наплавленном металле, (мас. доля)				Твердость HRC наплавленного металла
	V	Ti	S	P	
ПП-АН 170	-	0,2-0,4	0,04	0,04	54-58
ИН-1	0,2-0,3	-	0,04	0,04	52-54

вой карбон-метил-целлюлозе. Высушивают в течение 8 ч при нормальной температуре. Наплавку проводят угольным электродом диаметром 10 мм при отрицательной полярности сварочным током 250 А.

**Повышение стойкости режущих инструментов из быстрорежущих сталей.** На переднюю поверхность резца вблизи вершины главной режущей кромки наносят порошки карбидов вольфрама, титана, тантала и других металлов или, например, оксидов, нитридов, боридов, в том числе кубического нитрида бора зернистостью 10-300 мкм, с последующим оплавлением их с помощью источников высоких энергий: плазменного луча, электронного луча и т. д. диаметром 0,03-0,1 мм и образованием ванночек расплава. Наилучшие результаты дает расположение ванночек расплавленных составов на расстоянии 0,3-1 мм от вершины резца.

По сравнению с обычным инструментом из быстрорежущей стали резцы, наплавленные карбидом вольфрама, имеют более высокую стойкость: в 25 раз при высоких скоростях; в 8 раз при средних; в 3 раза при низких. Резцы, на которые нанесен карбид титана и тантал, обладают стойкостью в 2 раза большей, чем резцы, покрытые карбидом вольфрама; кубический нитрид бора еще больше повышает их стойкость. Ванночки расплава необходимо располагать на расстоянии 0,3-1 мм от вершин резца. Описанный способ повышения стойкости инструмента прост и обеспечивает значительный экономический эффект.

**Скоростная наплавка твердых сплавов.** Подлежащий наплавке участок детали включают в цепь тока высокой частоты (50-10 000 кГц). Одновременно в нем с помощью индуктора индуцируют ток. Прямой и индуцированный ток, проходя через поверхностный слой участка детали, быстро (до 3 с) нагревает ее до расплавления. В расплав засыпают порошок твердого сплава, карбида вольф-

рама, оксида алюминия, нитрида кремния, карбида кремния и других твердых и сверхтвердых материалов зернистостью менее 0,25 мм. Находясь в жидком металле, порошок после отверждения металла прочно в нем удерживается, образуя износостойкое покрытие.

Для наплавки детали на заданной длине поверхности индуктор с контактами плавно перемещают вдоль этой поверхности, непрерывно посыпая порошком расплавленный слой, в результате чего создается равномерное покрытие. Высокая скорость наплавки достигается благодаря концентрации и большой плотности энергии (например, 20 кВт/см<sup>2</sup>) на небольшом участке поверхности детали. Расстояние от проводника-индуктора до поверхности наплавляемой детали зависит от частоты тока и толщины нагреваемого слоя и равно 0,05-1 мм. Индукторный проводник, обычно выполняемый из медной трубки, охлаждается изнутри водой.

**Наплавка хромоникелевого покрытия с включениями распределенных карбидов вольфрама.** Область применения – кондукторные втулки, клапанные уплотнения, распылители и другие детали из инструментальной или легированной стали. Поверхность очищенной детали покрывают слоем консистентной густой смазки, состоящей из клея, порошка Ni-Cr-сплава, смешанного с раствором борной кислоты в дистиллированной воде. Размер зерен порошка не должен превышать нескольких мкм.

Влажный клей посыпают WC-порошком и высушивают при 176-204 °С до полного выпаривания влаги. После охлаждения детали до нормальной температуры на деталь вновь наносят слой клея приведенного состава, а на влажный клей – слой Ni-Cr-порошка. Деталь с нанесенным покрытием толщиной 0,15-0,20 мм высушивают при температуре 176-204 °С до полного выпаривания влаги; охлаждают до нормальной температуры и помещают на 3-5 мин в вакуумную печь с температурой 1040-1097 °С. В печи порошок Ni-Cr-сплава плавится и заполняет промежутки между WC-зернами. Заключительными операциями являются закалка и отпуск детали.

Затем поверхность детали подвергают обработке резанием. Окончательная толщина покрытия составляет приблизительно 0,08 мм. Стальная деталь с покрытием до твердости не уступает детали, целиком изготовленной из WC. В то же время основной материал детали сохраняет коэффициент расширения, характерный для стали, что позволяет избежать хрупкости покрытия, присущей WC.

**Поверхностное легирование крупногабаритных деталей (типа прокатных валков) методом локальной электроконтактной наплавки порошками из легирующих элементов** можно выполнить способом [а. с. 865974 (СССР)], по которому поверхность, подлежащую легированию, вначале предварительно обрабатывают резанием (точением или шлифованием) с заданными параметрами шероховатости и необходимым объемом впадин, образованных микронеровностями. В полученные впадины насыпают порошок из легирующих элементов (хрома, вольфрама, молибдена и др.) и одновременно проводят обработку поверхности изделия давящим инструментом (например, обкатывают твердосплавным роликом). Через контакт давящего инструмента с изделием пропускают электрический ток низкого напряжения.

Изменением шероховатости (параметра  $Rz$ ) поверхности, т. е. размеров (объема) впадин микронеровностей, образуемых предварительной обработкой резанием, достигают заданной степени (насыщенности) легирования поверхностного

слоя и расхода легирующих элементов, т. е. регулированием параметров шероховатости поверхности можно управлять процессом *поверхностного легирования*.

Локальный нагрев изделия совместно с нанесенным порошковым легирующим материалом, сосредоточенный только в зоне контакта давящего инструмента с изделием, происходит без наличия окисляющей среды. В результате и благодаря этому получают гладкую, чистую и упрочненную поверхность без оксидов и окалины, с плотным поверхностным слоем, обладающим повышенной термической и механической стойкостью.

**Пример.** Легирование рабочей поверхности прокатного вала осуществляют на токарном станке, в центрах которого устанавливается изделие. Перед легированием рабочую поверхность предварительно обтачивают, обеспечивая заданную шероховатость. Затем в резцедержатель токарного станка вместо резца устанавливают и электрически изолируют давящий инструмент (например, ролик из твердого сплава марки Т15К6). Перед давящим инструментом устанавливают на суппорте станка и вводят в контакт с рабочей поверхностью порошокподающее устройство. Обработку вала осуществляют поверхностным пластическим деформированием с электроконтактным подогревом. Электроконтактный нагрев металла и легирующих элементов происходит только в зоне контакта давящего инструмента с изделием при включении их в цепь вторичной обмотки понижающего трансформатора.

Сила прижатия давящего инструмента в процессе выглаживания или обкатывания равна 500-1000 Н, скорость выглаживания  $v = 12 \div 15$  м/мин, подача  $S = 1,0$  мм/об (для инструмента с тороидальной поверхностью  $R = 30$  мм,  $r = 5$  мм), плотность тока 400-600 А/мм<sup>2</sup>.

Во время обработки поверхностным пластическим деформированием в зоне деформирования металл с легирующими элементами нагревается до пластического состояния. Создаются благоприятные условия для диффузирования легирующих элементов в поверхностный слой изделия. Засыпка легирующего порошка во впадины шероховатости проводится в процессе обработки изделия поверхностным пластическим деформированием. Порошок, засыпанный во впадины микронеровностей, надежно удерживается в них благодаря наличию на поверхностях впадин ультрамикронеровностей и остаточного магнетизма, образующегося после обработки резанием. В зоне контакта давящего инструмента с изделием на поверхности изделия осуществляется металлургический процесс, протекающий фактически в закрытом объеме под давлением при высокой температуре и без доступа окисляющей среды. В результате на детали образуется легированный поверхностный слой повышенной твердости с плотной структурой, гладкой упрочненной поверхностью и высокой термической и механической стойкостью.

**Детонационный метод нанесения порошковых покрытий** основан на использовании энергии детонации в газах. Металлический или металлизированный порошок наносят с помощью взрыва ацетиленокислородной смеси, обеспечивающего скорость набрасывания частиц порошка до 800-900 м/с. Прочное соединение распыленных частиц порошка с подложкой смеси и ее взрыв происходят в специальной камере, куда порошок подается струей азота.

Подложка при взрыве совершает поступательное или вращательное движение. Материалы порошков: карбиды вольфрама и титана, оксиды алюминия и хрома, хром, кобальт, титан и вольфрам. Каждый взрыв, продолжающийся 0,2-0,23 с, образует слой покрытия толщиной 7 мкм. Многослойное покрытие может

иметь толщину 0,02-0,4 мм. Покрытия из этих порошков имеют большую твердость и очень высокую износостойкость. В результате такого напыления образуется покрытие с высокими эксплуатационными характеристиками, прочностью сцепления и малой пористостью, в большинстве случаев не превышающей 1%.

Существенным преимуществом метода является умеренный нагрев обрабатываемой детали – не выше 250 °С.

Технологические возможности детонационного способа позволяют наносить покрытия на следующие поверхности: внешние цилиндрические диаметром до 1000 мм, внутренние цилиндрические диаметром более 15 мм, плоскости сложной конфигурации. Наиболее эффективно нанесение детонационных покрытий на детали, работающие в условиях повышенных давлений и температур, а также износа в агрессивных средах.

**Пример.** Детонационно-газовые твердосплавные покрытия наносят на рабочие поверхности гибочных штампов, изготовленных из стали типа X12M, термически обработанных до твердости 56-60 HRC. Исходный материал для напыления – механическая твердосплавная смесь ВК-15. Детонационное покрытие, получаемое напылением этой смеси, отличается высокой износостойкостью и способностью воспринимать ударные нагрузки.

Перед напылением рабочую форму штампа следует очистить от загрязнений и создать на ее поверхности шероховатый рельеф, например, методом струйной обработки абразивными порошками. После окончания напыления поверхность, покрытую твердосплавными порошками, дополнительно шлифуют или полируют алмазными пастами. Метод технологически доступен и экономически эффективен, в том числе в условиях единичного многономенклатурного производства.

**Плазменное напыление композиционных порошковых материалов, состоящих из твердой тугоплавкой основы и легкоплавкой связки,** является перспективным методом нанесения покрытий. Эксплуатационные свойства таких покрытий зависят от физико-механических свойств порошковых материалов, температурных и газодинамических параметров плазмы и подготовки поверхности под напыление.

**Пример.** Упорные центры и поправки к насадным зенкерам подвергают напылению порошковыми композициями, обеспечивающими создание износостойких слоев на рабочих поверхностях инструментов, подверженных трению. Состав композиций подбирают, исходя из общей оценки условий работы поверхности, в том числе с учетом возможности отвода теплоты, свойств сопрягаемых материалов трущейся пары, требований к качеству поверхности и точности ее начальных размеров и др.

Структура нанесенного слоя состоит из хромоникелевого раствора и карбидной фазы, включающей зерна релита и упрочняющие частицы связки – карбиды и бориды хрома.

**Метод плазменных наплавки и напыления композиционных порошковых материалов** применяют для создания упрочняющих покрытий на трущихся поверхностях деталей типа поршневых колец, втулок цилиндров и шеек коленчатых валов, двигателей внутреннего сгорания, плунжерных пар насосов, направляющих колонок и втулок штампов и пр. В табл. 32-35 приведены режимы плазменной наплавки металлов и режимы плазменного напыления соответственно нитридов и карбидов, оксидов и боридов, чистых металлов и неметаллов.

**32. Рекомендуемые режимы плазменной наплавки металлов**

Размер изделия, мм		Сила тока, А		Расход газа, л/ч		Амплитуда колебаний, мм	Частота колебаний, мин <sup>-1</sup>
Толщина	Диаметр	Электрод – изделие	Электрод – присадочная проволока	Плазمو-образующего	Защитного		
<i>Прямая полярность</i>							
5-8	-	-	140-170	150-160	1000-1100	10-40	30-50
10-20	-	-	160-180	160-170	1100-1200		
22-40	-	-	190-210	160-180	1200		30-40
50-100	-	40-80	200-210	170-180	1200	10-30	40-50
-	30-40	-	140-150	150	1000-1100		35-50
-	50-70	-	160-190	150-160	1100-1200		30-50
-	80-100	-	190-210	160-170	1200	10-40	30-40
-	100-200	0-60	210-240	160-170			
-	200-500	60-90	230-250	170			
<i>Обратная полярность</i>							
8-20	-	100-140	90-150	160-180	800-900	10-60	20-40
22-40	-	140-180	140-170		900-1000		
50-100	-	180-220	170-220				
-	50-100	100-200	90-150	180-200	800-900	10-30	20-30
-	100-200	140-220	140-200		900-1000		25-40
-	200 - 500	180-200	160-200				

**33. Режимы плазменного напыления нитридов и карбидов**

Напыляемый материал	N <sub>n</sub> , кВт	I <sub>d</sub> , А	C <sub>n</sub>		C <sub>г</sub>		C <sub>м</sub>	d <sub>ч</sub> , мкм	l, см
			Ar	Nr	Ar	Nr			
			г/с						
TiN	22,4	260	-	0,64	-	0,1	0,13	15-55	7
	14,5	500	1,05	-	0,3	-	-	44	-
ZnN	24	300	-	0,64	-	0,1	0,16	10-55	7,5
B <sub>4</sub> C	21	725	0,81	-	0,49	-	-	63	-
Cr <sub>3</sub> C <sub>2</sub>	7,25	250	1,01		0,3				
TaC	19,5	750	0,67		0,22			44	
TiC	19,6	725			0,19				
WC	13,1	525	0,81		0,27			63	
	12,5	500							
ZrC	19,6	725			0,24				

**Обозначения:** N<sub>n</sub> – полная мощность плазмотрона; I<sub>d</sub> – ток дуги; C<sub>n</sub>, C<sub>г</sub> и C<sub>м</sub> – расходы соответственно плазمو-образующего и транспортирующего газов, материала (порошка); d<sub>ч</sub> – размер частиц порошка; l – дистанция напыления.

**34. Режимы плазменного напыления оксидов и боридов**

Материал	N <sub>п</sub> , кВт	I <sub>п</sub> , А	C <sub>п</sub>		C <sub>т</sub>		C <sub>м</sub>	d <sub>ч</sub> , мкм	l, см
			Ar	Nr	Ar	Nr			
			г/с						
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	13,5	450	1,01	-	0,38	-	-	44	-
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ·SiO <sub>2</sub>	14	400	1,48	-	0,38	-	-	44	-
Cd <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	14	500	0,81	-	0,27	-	-	63	-
MgO	22,5	750	0,81	-	0,24	-	-	44	-
TiO <sub>2</sub>	20,2	750	0,47	-	0,27	-	-	44	-
V <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	15,4	550	0,81	-	0,27	-	-	63	-
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	18,7	220	-	0,43	-	0,21	-	20-50	9,5
ZnO <sub>2</sub>	19,2	600	1,35	-	0,32	-	-	44	-
	20	-	0,77	-	0,06	-	0,17	43-74	10
UO <sub>2</sub>	20	-	0,77	-	0,08	-	0,5	43-74	10
BeO	30	-	0,90	-	0,21	-	-	20-60	7,5
Mo <sub>2</sub> B <sub>5</sub>	21,6	310	-	0,6	-	0,21	-	40-80	10
CrB <sub>2</sub>	11,2	400	0,81	-	0,32	-	-	63	-
TiB <sub>2</sub>	14,8	550	0,81	-	0,27	-	-	44	-
	20,6	260	-	0,64	-	-	0,11	10-40	8,8
ZrB <sub>2</sub>	17,5	650	0,74	-	0,3	-	-	63	-
	20,3	260	-	0,64	-	-	0,13	10-37	9,0
NbB <sub>2</sub>	20,8	260	-	0,64	-	-	0,11	10-53	9,0
TaB <sub>2</sub>	20,3	260	-	0,64	-	-	0,25	10-53	9,0

Примечание. Обозначения см. в табл. 33.

**35. Режимы плазменного напыления чистых металлов и неметаллов**

Напыляемый металл	N <sub>п</sub> , кВт	I <sub>п</sub> , А	C <sub>п</sub>		C <sub>т</sub>		d <sub>ч</sub> , мкм	l, см
			Ar	Nr	Ar	Nr		
			г/с					
B	21,8	750	0,81	-	0,35	-	44	-
Al	4,37	175	0,68	-	0,19	-	74	-
	22,4	280	-	0,43	-	0,21	30-60	8
Cr	15	500	1,01	-	0,24	-	63	-
	16,5-18	300	0,4	0,54	-	0,21	30-46	10
Fe	8,4	300	0,81	-	0,22	-	44	-
Co	11,6	400	0,81	-	0,27	-	63	-
Ni	18,8	650	0,81	-	0,38	-	63	-
	16-18	200	-	0,53-0,6	-	0,21	30-120	12
Cu	16	500	1,35	-	0,27	-	44	-
	17,6	220	-	0,56	-	0,21	40-60	13
Zn	6,4	200	1,48	-	0,24	-	63	-
Mo	13	450	0,81	-	0,27	-	63	-
	21-25	265	-	0,57	-	0,21	30-46	13
Ta	16	550	0,81	-	0,27	-	63	-
W	14,9	550	0,81	-	0,24	-	44	-
	22,5	300	-	0,58	-	0,13	30-46	8
Au	7	250	0,81	-	0,32	-	63	-

Примечание. Обозначения см. в табл. 33.

**Метод термонапыления** заключается в бомбардировании обрабатываемой поверхности (например, упорных центров, оправок к гидрокопировальным станкам, гибочных и раскатных роликов, направляющих оправок к насадному инструменту, борштанг, прессовых оправок и др.) частицами порошка, разогретыми до пластического состояния. Передача тепловой и кинетической энергии частицам порошка осуществляется плазменным (введением порошковых материалов в плазменную струю) и газопламенным (с введением порошков в газовую смесь) способами.

Для устойчивой работы плазмотрона электрическая дуга должна быть сформирована и стабилизирована вдоль продольной оси плазмотрона.

Используются порошки самофлюсующихся сплавов системы Ni-Cr-B-Si-C марок СНГН, ПГХН80СР и ВСНГН с температурой плавления 1050 °С, зернистостью 20-150 мкм, обеспечивающие твердость 35-62 HRC<sub>3</sub>.

Недостатками плазменно-напыленных покрытий являются низкие прочность сцепления с основой, адгезионная прочность и термостойкость покрытия, что связано с различными коэффициентами температурного расширения покрытия и основы. Обладая значительной пористостью, плазменно-напыленные покрытия не защищают поверхность от окисления, что приводит к ускоренному разрушению (отслаиванию) покрытия.

Увеличить адгезионную прочность, термостойкость и стойкость покрытия в окислительных средах можно следующим способом [а. с. 676641 (СССР)]. На металлическую поверхность изделия наносят газотермическим напылением порошковое покрытие. Затем подвергают ее азотированию любым из известных способов до образования нитридной прослойки.

Так как порошковое покрытие пористое, то оно не препятствует диффузии атомов азота к поверхности защищаемого металла. Наоборот, благодаря усилению адсорбционных и абсорбционных процессов ускоряется насыщение поверхности основного металла азотом и образование в поверхностном слое нитридов тех элементов, которые входят в состав защищаемого металла (железа, хрома, вольфрама, титана, алюминия и др.). Поскольку нитриды имеют плотность меньшую, чем металлы (плотность оксидов 3-5 г/см<sup>3</sup>, а плотность стали 7,8 г/см<sup>3</sup>), то при своем образовании они заполняют микропоры порошкового покрытия, увеличивая тем самым сцепляемость по типу механического зацепления. Одновременно повышается термостойкость покрытия, так как образовавшиеся нитриды играют роль прослойки, коэффициент термического расширения которой близок к значению порошковых материалов, созданных на основе оксидов. Нитридная прослойка обеспечивает также коррозионную стойкость защищаемого металла.

### **Повышение рабочих характеристик поверхностных слоев дейдвудных валов при их восстановлении**

Дейдвудные валы являются важным конструктивным элементом силовой судовой установки. Они передают крутящий момент от главного дизеля к винту судна и имеют размеры до 900 мм диаметром и 10 м длиной. В процессе эксплуатации поверхности дейдвудных валов постепенно выходят из строя, приобретая ряд дефектов и разрушений.

При восстановлении дейдвудных валов в основном применяют следующую технологию восстановления. Сначала на прогретый до 350 °С вал наплавляют проволоку типа Св08А, Св08ГС или ленту 08кп, 10сп, после чего наплавляют