

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Оренбургский государственный университет»

С.И. Богодухов, Е.С. Козик, Е.В. Свиденко

ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ В МАШИНОСТРОЕНИИ

Учебно-методическое пособие

Рекомендовано ученым советом федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Оренбургский государственный университет» для обучающихся по образовательным программам высшего образования по направлениям подготовки 15.03.01 Машиностроение, 22.03.01 Материаловедение и технологии материалов

Оренбург
2021

УДК 621:620.22(075.8)

ББК 34.43я73

Б74

Рецензент – доктор технических наук, профессор А. Н. Поляков

Богодухов, С.И.

Б74

Инструментальные материалы в машиностроении: учебно-методическое пособие / С.И. Богодухов, Е.С. Козик, Е.В. Сви-денко ; Оренбургский гос. ун-т. – Оренбург : ОГУ, 2021. ISBN 978-5-7410-2550-5

В учебно-методическом пособии рассмотрены вопросы получения инструментальных сталей и сплавов, виды заготовок, методы присоединения рабочей и соединительной частей инструмента, классификация инструментальных сталей и сплавов, углеродистые инструментальные стали, легированные инструментальные стали, валковые стали, быстрорежущие стали, штамповые стали, твердые сплавы, сверхтвердые материалы, абразивный инструмент, упрочняющие технологии при производстве инструментов.

Пособие рекомендовано для самостоятельной работы обучающихся по образовательным программам высшего образования по направлению подготовки 15.03.01 Машиностроение, по профилю «Оборудование и технология повышения износостойкости и восстановление деталей машин и аппаратов» и 22.03.01 Материаловедение и технологии материалов, общий профиль, для закрепления теоретических и практических знаний, полученных на занятиях по инструментальным материалам, а также может быть использовано при выборе материалов для конкретных деталей.

УДК 621:620.22(075.8)

ББК 34.43я73

© Богодухов С.И.,

Козик Е.С

Свиденко Е.В., 2021

© ОГУ, 2021

ISBN 978-5-7410-2550-5

Содержание

Введение.....	5
1 Инструментальные материалы	6
1.1 Виды заготовок.....	7
1.2 Методы присоединения рабочей и соединительной частей инструмента	15
1.3 Классификация инструментальных сталей и сплавов.....	23
1.4 Влияние легирующих элементов на свойства стали	26
1.5 Углеродистые инструментальные стали.....	36
1.6 Легированные инструментальные стали	37
1.7 Валковые стали.....	39
1.8 Быстрорежущие стали	42
2. Штамповые стали.....	75
2.1 Штамповые стали для холодного деформирования.....	75
2.2 Штамповые стали для горячего деформирования	79
3 Твёрдые сплавы	85
3.1 Пример изготовления твёрдосплавных пластин в условиях цеха машиностроительного завода	91
3.2 Пайка твёрдосплавных пластин.....	95
3.3 Изготовление резцов с механическим креплением твёрдосплавной пластинкой.....	97
3.4 Литые и наплавочные твёрдые сплавы	99
3.5 Рекомендации по выбору марки твёрдого сплава для обработки труднообрабатываемых материалов	100
4 Сверхтвёрдые материалы	101
4.1 Алмаз	101
4.2 Сверхтвёрдые материалы на основе нитрида бора.....	103
5 Абразивный инструмент.....	105
5.1 Виды абразивных материалов.....	105
5.2 Характеристика абразивного инструмента	107
5.3 Типы абразивных и алмазо-абразивных инструментов	110
5.4 Алмазная и эльборовая паста, ГОИ.....	118
5.5 Влияние алмазной и эльборовой обработки на качество инструмента	123
6 Методы упрочнения инструментальных материалов.....	128

6.1 Методы повышения стойкости режущих инструментов	128
6.2 Методы нанесения покрытий на режущие инструменты	133
6.3 Физико-механические свойства материалов с покрытиями ...	138
6.4 Анализ методов термообработки режущих инструментов.....	144
6.5 Лазерная обработка режущих инструментов	149
7 Контроль технологических режимов и качества режущего инструмента	154
Список использованных источников	157
Приложение А	161

Введение

Учебное пособие предназначено для студентов высших учебных заведений, обучающихся по направлению подготовки 15.03.01 Машиностроение, по профилю «Оборудование и технология повышения износостойкости и восстановление деталей машин и аппаратов» и 22.03.01 Материаловедение и технологии материалов, общий профиль.

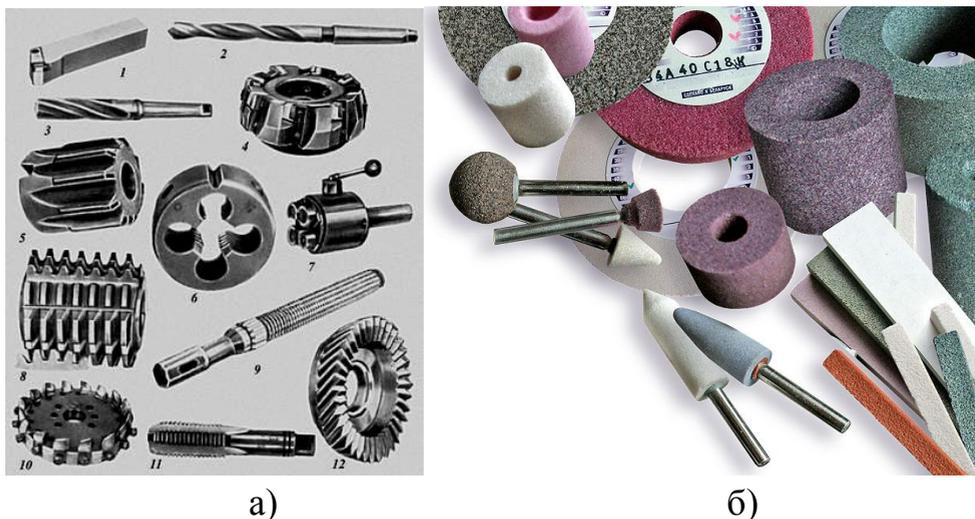
Прогресс в металлообрабатывающей промышленности в первую очередь связан с применением новых инструментальных материалов и повышением качества и стойкости металлорежущего инструмента.

Это достигается за счет использования новых инструментальных материалов, применением прогрессивных режимов термических обработок, а также нанесением износостойких покрытий.

Однако авторы пособия не претендуют на всеобъемлющее представление всех видов новейших тенденций создания металлообрабатывающего инструмента в мире. Лекционные занятия будут дополнены фильмами по получению и упрочнению, термической и химико-термической обработке, инструментальных материалов, которые помогут увидеть этапы становления и развития, функции, структуру, задачи и методы освоения науки «Инструментальные материалы».

1 Инструментальные материалы

Инструментальные материалы подразделяют на стали (углеродистые, легированные, быстрорежущие), валковые инструментальные стали, твёрдые сплавы и сверхтвёрдые материалы. На рисунке 1 представлен виды инструмента из инструментальных материалов, а также абразивный инструмент.



а - 1 – резец; 2 – сверло; 3 – зенкер; 4 – торцевая насадная фреза; 5 – машинная развёртка с твердосплавными пластинками; 6 – плашка; 7 – винторезная головка с круглыми гребёнками; 8 – червячная фреза; 9 – шлицевая протяжка; 10 – резцовая головка для обработки конических колёс; 11 – метчик; 12 – зуборезный круг; б – абразивные круги.

Рисунок 1 – Станочный металлорежущий инструмент

Наиболее обширную и важную в практическом отношении группу составляют инструментальные стали. Они предназначены для изготовления режущих и измерительных инструментов, штампов холодного и горячего деформирования. Основные свойства, которыми должен обладать материал для режущих инструментов – твёрдость, износостойкость и теплостойкость. Штампы для горячей обработки давлением должны обладать высокой жаропрочностью – сопротивлением действию механических нагрузок, окалинностойко-

стью (жаростойкостью) – способность стали сопротивляться окислению (коррозии) при высоких температурах, повышенной прокаливаемостью – это способность стали получать закаленный слой определенной глубины.

1.1 Виды заготовок

В качестве исходных заготовок в инструментальном производстве режущего инструмента применяется прокат \varnothing до 30-40 мм и кованные заготовки. Заготовки различают по качеству металла, по виду и по сортаменту. Качество металла – это физические и механические свойства металла, определяемые химическим составом [1]. Вид – это внешнее состояние прутков, полученное в результате технологии их изготовления на металлургических заводах. Прутки изготавливают коваными, горячекатаными, холоднотянутыми (калиброванными) и холоднотянутыми шлифованными (серебрянка). Сталь поставляется круглой, диаметром от 5 до 270 мм, квадратной, полосовой, шестигранной, а также в виде лент, намотанных в бобины от 25 м до 50 м.

Кованую быстрорежущую сталь, поставляемую металлургическими заводами диаметром 40-200 мм (ГОСТ 1173-93), применяют для изготовления режущих инструментов больших размеров, например, для сверл, концевых фрез диаметром 50-80 мм. Этот вид металла применяют также дляковки фрез диаметром 63 мм и выше в целях улучшения балла карбидной неоднородности.

Горячекатаную быстрорежущую сталь широко применяют для изготовления режущего инструмента диаметром до 50 мм. Эта сталь изготовления по ГОСТ 2590-2006, по которому отклонения от номинального размера отсчитывается в стороны увеличения и уменьшения.

Горячекатаную углеродистую конструкционную сталь (например, 40, 45) и углеродистую легированную сталь (например, 20X, 40X) применяют для изготовления хвостовиков режущих инструментов, а также корпусов сборных фрез, разверток, зенкеров

(ГОСТ 2590-2006).

Холоднотянутая (калиброванная) сталь характеризуется хорошей отделкой поверхности. Она поставляется по ГОСТ 7417-75 диаметром 3-100 мм с отклонениями (в сторону минус) по диаметру в соответствии с квалитетами точности 8, 9, 10 и 11. Холоднотянутую сталь применяют при работе на автоматах и полуавтоматах.

Прутки из горячекатаной стали на станках-автоматах применять нельзя, поскольку их диаметр имеет значительные отклонения и овальность. Овальность сечения (разность между наибольшим и наименьшим диаметрами прутков) не должна превышать 0,5 суммы предельных отклонений по диаметру.

Поковки. Изготовление крупногабаритного режущего инструмента целесообразно производить из поковок, а не из сортовой горячекатаной стали. Режущий инструмент, изготавливаемый из хорошо прокованной стали обладает большей стойкостью, чем режущий инструмент, изготовленный из горячекатанной стали, вследствие улучшения структуры – более равномерного распределения карбидов и их размельчения. Ковку в штампах выгодно производить в условиях серийного производства при изготовлении изделий, имеющих сложное очертание, например зуборезных долбяков, угловых фрез и фасонных круглых резцов пр. Ковка осуществляется на более простых дешевых штампах, так называемых подкладных штампах в условиях мелкосерийного производства.

Литье из серого, высокопрочного, ковкого и легированного чугуна применяют для корпусов муфтонарезных патронов.

Отливки из быстрорежущей стали подвергают многократному обжатию и ковке, а затем отжигу, нагревая их до 860-900 °С в течении 10-12 ч. После отжига, структура быстрорежущей стали состоит из сорбита, куда входят очень мелкие эвтектоидные карбиды, мелких вторичных карбидов, выделившихся при охлаждении из аустенита, и более крупных обособленных первичных карбидов, входящих в состав эвтектики.

Припуски. Слой металла, снимаемый с заготовки при механи-

ческой обработке для получения готового изделия, называется припуском. Припуски разделяются на общие и операционные. Общий припуск определяется как разность между размером исходной заготовки и окончательным размером готового изделия. Этот припуск должен быть достаточен для снятия местных дефектов (вмятин) с поверхности заготовки кованного или горячекатаного прутка и обезуглероженного слоя с поверхности заготовки, которой весьма значителен на поковках, кованных и горячекатаных прутках инструментальных сталей. Например, наибольшая глубина на сторону обезуглероженного слоя (феррит и переходная зона) для сталей Р9 и Р6М5 (ГОСТ 19265-83) в зависимости от размера горячекатаной кованой заготовки не должна превышать величины, указанные ниже:

Размер, мм	5-15	15-30	30-50	50-70	70-80	80-100
Глубина, мм	0,4	0,5	0,7	0,8	1	1,3

Методы получения заготовок. Величина общего припуска на обработку зависит от принятого метода изготовления заготовки. Небольшие припуски на обработку получают при ковке в штампах. При свободной ковке заготовок общие припуски намного больше. Значительного уменьшения припусков на обработку можно достигнуть сваркой заготовок встык на электросварочных машинах или на машинах для сварки трением (рисунок 2).

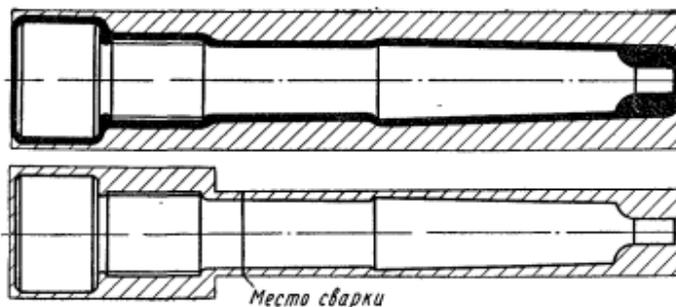


Рисунок 2 – Схема распределения припусков

Величина припуска на электроконтактную сварку. Припуск на сварку складывается из припуска на подогрев, оплавление и

осадку. По разработанной технологии сварки быстрорежущих сталей общая величина припусков распределяется следующим образом: на подогрев – 0,2, на искрообразование – 0,4 и на осадку – 0,4 от величины общего припуска на сварку [2].

Установлено, что на осадку достаточно 2-3 мм, на оплавление 2-3 мм, на подогрев 1-2,5 мм, в зависимости от величины площади свариваемого сечения. Это представляет собой необходимый и достаточный припуск на сварку на обе заготовки.

Величины припуска в зависимости от сечения заготовок и распределения общего припуска приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Припуски при сварке заготовок

№ п/п	Диаметр заготовки, мм	Площадь свариваемого сечения, мм ²	Припуск на сварку, мм	
			Быстрорежущая сталь	Углеродистая сталь
1	От 6 до 10	30-80	3	2
2	От 11 до 22	30-80	3	2

Величина припуска на сварку трением. Технологическая карта сварки трением заготовок инструмента из стали Р18 и стали 45 представлена в таблице 2. Припуск на сварку трением указан в таблице 3.

Таблица 2 – Технологическая карта сварки трением заготовок инструмента из стали Р18 и стали 45

	Наименование операции	
	Сварка	
	Оборудование	
	Машина сварки трением МСТ-35 МФ-327; МФ-341	
	Измерительный инструмент	1. Линейка измерительная L=500мм ГОСТ 427-75 2. Штангенциркуль 3. Манометр типа МТИ ГОСТ 2405-80
Вспомогательный инструмент	1. Набор гаечных ключей 2. Набор цанг 3. Набор оправок	

Технические требования

1. Твердость в состоянии поставки должна составлять:
 - Сталь Р18 – 207-218 НВ
 - Сталь 45 – 150-200 НВ
2. Смещение осей заготовок не должно превышать 0,3 мм.
3. Овальность заготовок не должна превышать 0,6 мм допускового отклонения на диаметр.
4. Неровность торцев не должна превышать 0,5 мм для обеих заготовок.
5. На каждую машину должен быть график зависимостей между давлением воздушной сети и силой, действующей на шток. 1 раз в месяц производить тарировку машины по давлению.
6. Проверку смещения осей подвижного и неподвижного суппорта производить ежегодно.

Таблица 3 – Припуски при сварке трением

№ п/п	Диаметр заготовок		Допуск на диаметр		Площадь свариваемого сечения, мм ²	Вылет из зажимов, мм		Вылет из оправки, мм	Число оборотов шпинделя, об/мин	Давление, кг/мм ²		Усилие на штоке, кг		Время сварки, с					Производ. шт/ч	Припуск на сварку в мм.		
	Р9	Сталь 45	Р9	Сталь 45		Р 9 «А»	Сталь 45 «В»			«С»	Р _{под}	Р _{ос}	Подогрев	Осадка	t _{под}	t _{ос}	t _{св}	t _{всп}		t _{общ}	Р9	Сталь 45
1	12	12	+0,5	+0,3 -0,5	131,1	9,0	35	2,0	1500	13	19,0	1470	2150	12	2,0	14,0	8,0	22,0	163	2,0	3,5	5,5
2	18	18	+0,7	+0,4 -0,5	254,5	12,0	35	2,0	1500	7,0	12,0	1780	3670	20	2,0	16,0	8,0	24,0	125	1,5	3,0	4,5
3	24	24	+0,5	+0,4 -0,5	452,4	40	35	1,5	1000	7,5	14,0	3400	6334	25	1,5	26,5	10,0	36,5	98	1,5	2,5	4,0
4	28	28	+0,9	+0,4 -0,7	615,8	40	35	1,5	1000	8,0	14,0	4930	8624	25	1,5	26,5	10,0	36,5	98	1,0	2,0	3,0
5	32	32	+0,9	+0,4 -0,7	804,2	40	35	1,5	1000	8,0	14,0	6440	11256	30	1,5	31,5	10,0	41,5	86	1,0	2,0	3,0
6	40	40	+1,3	+0,4 -1,0	125,7	40	35	1,5	1000	7,5	13,0	9430	16340	30	1,5	31,5	11,0	41,5	86	1,0	2,0	3,0

При сварке происходит неодинаковый угар быстрорежущей и углеродистой стали. Объясняется это тем, что при температуре искрообразования быстрорежущая сталь более жидкотекучая, чем углеродистая и при взрывах жидких перемычек легче выбрасывается из зазора между стыками. Кроме того, при осадке, поскольку быстрорежущая сталь нагревается несколько больше, чем углеродистая, она деформируется в большей степени. Измерением длин заготовок до сварки и после сварки установлено, что быстрорежущая сталь выгорает приблизительно вдвое больше, чем углеродистая. Наплыв при сварке образует грат с твердостью 50-55 HRC (рисунок 3). Грат снимается после отжига заготовки. Снятие графа производится на токарных станках или на наждачном круге. На некоторых заводах при мелкосерийном производстве сварного инструмента производится срубание крупных капель графа зубилом и последующее снятие графа на точиле, этим сокращается расход абразивных кругов.



Рисунок 3 – Грат при сварке трением

При сварке возможны следующие виды брака: искажение форм заготовок (смещение шва, кривизна) трещины, поджоги и низкая прочность сварного соединения. На сварных заготовках из быстрорежущей конструкционной стали и на сварном инстру-

менте, после термической обработки его, иногда наблюдаются трещины в околосшовной зоне со стороны быстрорежущей стали. Эти трещины появляются в результате действия внутренних напряжений, величина которых в месте разрушения превышает предел прочности стали.

Коэффициенты использования материалов для различных режущих инструментов представлены в таблице 4.

Таблица 4 – Коэффициенты использования материала для различных режущих инструментов

Инструмент	Диаметр, мм	$K_{и.м.}$	Материал
Сверла: Спиральные с цилиндрическим хвостовиком (ГОСТ 10902-77)	0,25-0,8 1,1-3,3 3,5-6,7	0,67 0,62 0,60	Быстрорежущая сталь (горячекатаная)
Метчики: Машинно-ручные (ГОСТ 3266-2018)	2,5-2,8	0,3	Быстрорежущая сталь, горячекатаная
Развертки машинные: С цилиндрическим хвостовиком (ГОСТ 1672-2016)	3-9	0,60	Быстрорежущая сталь
Фрезы: Червячно-модульные для цилиндрических зубчатых колес (ГОСТ 9324-2015)	57-115	0,29 0,4	Быстрорежущая сталь, поковки

Для отрезки заготовок применяются ленточные пилы. Ленточные пилы представляют собой полосу с бесконечным ноже-

вым полотном. Вследствие непрерывной работы (отсутствие холостых ходов) производительность этих станков высокая. Ленточные пилы выпускаются для отрезки заготовок диаметром 250 мм и больше; толщина полотна 1,5 мм. Отрезка заготовок осуществляется со скоростью 12-118 м/мин и подачей на зуб 0,02-0,04 мм.

Ленточные пилы целесообразно применять для отрезки заготовки из быстрорежущих сталей. Как правило, производят отрезку заготовок для узких фрез из быстрорежущей стали.

Абразивно-отрезные станки режут заготовки узкими (2-3 мм) шлифовальными кругами на вулканической или бакелитовой связке. Заготовки отрезают шлифовальным кругом диаметром 300-400 мм при скоростях резания 50-80 м/с. Отрезка заготовок производится с обильным охлаждением. Подача колеблется от 60 до 120 мм/мин.

1.2 Методы присоединения рабочей и соединительной частей инструмента

Неразъемное соединение частей инструмента. Присоединение режущей части, изготовленной из инструментальных материалов, к корпусу инструмента может производиться следующими методами: сваркой или наваркой пластин из быстрорежущей стали, а также напайкой пластинок из быстрорежущей стали и твердого сплава, позволяющих рационально использовать дорогостоящие инструментальные материалы. При рассмотрении этих операций необходимо учитывать некоторое различие в физической сущности этих операций. Соединение двух разнородных заготовок при различных видах сварки производится благодаря молекулярному схватыванию соединяемых материалов. При наварке и напайке пластин из быстрорежущей стали, а также при напайке пластин твердого сплава происходит взаимная диффузия

свариваемых порошков или припоев с материалом державки, или корпуса. Следует также отметить, что при наварке пластинок из быстрорежущей стали обязательно присутствие сварочных порошков (ферромарганца и ферросилиция), а при напайке - припоя на медной основе. Перед этим и процессами необходимо производить очистку от оксидов соединяемых поверхностей корпуса и пластинок.

Стыковая сварка. Этим методом изготавливают как стержневые инструменты диаметром 6 мм и выше (сверла, метчики, фрезы), так и инструменты, у которых соединение их частей происходит по относительно небольшому поперечному сечению (гребенки, отрезные резцы).

Заготовки под сварку должны иметь одинаковую форму и размеры свариваемых концов торец должен быть перпендикулярен оси. Перед сваркой торцовые и боковые контактные поверхности должны быть очищены от окалины или грязи гидроабразивным способом, галтовкой или механической обработкой.

Заготовки сваривают на стыковых машинах чаще всего методом оплавления. Широко применяется способ сварки оплавлением с предварительным подогревом путем прерывистого оплавления. При этом методе свариваемые поверхности сводятся до соприкосновения, а затем включается ток. После предварительного подогрева концов производят их размыкание (0,2-0,25 с) и замыкание (0,25-0,5 с).

Для равномерного нагрева свариваемых концов надо, чтобы вылет заготовки из быстрорежущей стали от контактных зажимов был примерно в два раза меньше вылета заготовки из конструкционной стали. После сварки заготовки для создания перлитно-сорбитной структуры в зоне сварки подвергают отжигу, т. е. нагревают печи до температуры 820-850 °С и после некоторой выдержки при этой температуре охлаждают до 730-760 °С со скоростью 30-40 км/ч, а затем выдерживают при этой температуре 3-4 часа и охлаждают на воздухе.

Сварка трением. Эта сварка является разновидностью контактной сварки и производится на сварочных автоматах и полуавтоматах с производительностью до 200-300 сварок в час. При сварке трением основной нагрев свариваемых поверхностей заготовок производится за счет совместного пластического деформирования, молекулярного схватывания свариваемых частей, вращающихся одна относительно другой. При этом обеспечивается, по сравнению с электроконтактной сваркой, меньшее обезуглероживание и обеднение карбидами сварочного шва. Кроме того, вместо ледебуритной структуры получается более качественная структура аустенита с включением первичных карбидов. К достоинствам сварки следует отнести также меньший припуск на угар свариваемых заготовок значительная экономия меди для изготовления электродов, а также экономия электроэнергии.

Наварка или приварка, пластин из быстрорежущей стали. Наварка пластинок производится в инструментах с небольшой опорной поверхностью под пластинки. Это связано с тем, что прочность шва, получаемого наваркой меньше прочности сварного шва.

Наварка производится с помощью сварочных порошков, температура плавления которых близка к температуре закалки быстрорежущей стали. Для улучшения процесса наварки эти порошки должны взаимодействовать с металлами пластинки и державки. Для наварки пластинок из стали Р18 рекомендуется сварочный порошок состоящий из 70 % малоуглеродистого ферромарганца МН1 и МНГ и 30 % переплавленной технической буры $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 - 10\text{H}_{20}$. Для приварки пластинок из стали Р9 хорошо зарекомендовал себя порошок состава 60% ферромарганца марок МН1 и МНГ, 30 % переплавленной буры и 10 % порошка меди. Присутствие малоуглеродистого ферромарганца обеспечивает прочную наварку и лучшую обрабатываемость наварного шва, а присутствие меди, образующей с марганцем твердый раствор, снижает твердость наварного шва и температуру его плавления.

Нагрев инструмента для приварки осуществляется на высокочастотных установках. Перед закалкой в державке фрезеруется гнездо по форме пластинки, а затем в гнездо засыпается слой сварочного порошка толщиной 2-3 мм, сверху укладывается пластинка, в вертикальный шов дополнительно насыпается сварочный порошок. Затем производится нагрев до температуры плавления буры, в результате очищается соединяемая поверхность гнезда державки и пластинки от оксидов, затем до температуры плавления сварочного порошка. После этого пластинка прижимается к державке вне источника нагрева. При изготовлении многолезвийного режущего инструмента быстрорежущие пластинки навариваются также сварочными порошками. Эти пластины привариваются корпусам, которые в дальнейшем обрабатываются лезвийным инструментом. Для улучшения обрабатываемости наварного инструмента приварку пластинок следует производить сварочными порошками, в состав которых дополнительно входит стальная углеродистая мелкая стружка и техническая сода. Кроме того, для удержания сварочного порошка на поверхностях заготовки корпуса его состав добавляется для связки раствор жидкого стекла. Полученная тестообразная масса наносится лопаточкой на свариваемые поверхности, а затем производится процесс наварки аналогичный выше указанному. После наварки с целью улучшения обрабатываемости резанием производится отжиг полученных заготовок, который осуществляется по режиму отжига быстрорежущей стали.

Припайка пластинок быстрорежущей стали. Припайка пластинок осуществляется сравнительно легкоплавкими припоями ГФК, ГПФ, медью, алюминиеноникелемарганцовистой бронзой путем нагрева на установках ТВЧ, в соляных ваннах, газовых печах. Хорошо зарекомендовали себя при напайке многолезвийных инструментов припой ГФК состоящий из 70-75 % Cu, 4-5 % Ni, 5-7 % Fe, 4-5 % Mn, 3-5 % Si и 7-8 % Zn.

При напайке многолезвийного инструмента пластинки в корпуса предварительно закрепляются с помощью штифтов или про-

волокой, затем в специальные пазы или выточки укладывается припой. После этого осуществляется сначала предварительный до температуры 750-800 °С, а затем окончательный до температуры 1240-1260 °С нагрев, который производится чаще всего в соляных ваннах. Припайка пластинок обычно совмещается с термической обработкой. В этом случае инструмент, нагретый при напайке, охлаждается до температуры 1000-1050 °С на воздухе, а потом до температуры 100-150 °С в масле и затем на воздухе. После пайки производится трехкратный отпуск при температуре 540-560 °С.

Припайка пластинок твердого сплава. Твердосплавные пластинки перед припайкой проверяются на наличие трещин, сколов, вмятин и коробления и при необходимости производится шлифовка поверхностей. После этого они обезжириваются промывкой в четыреххлористом углероде или бензине. Нагрев инструмента под напайку осуществляется различными методами. Наибольшее распространение получила напайка на установке ТВЧ или печная напайка.

Индукционная напайка инструмента производится путем нагрева в индукторе, изготовляемом различной формы из медных трубок диаметром 8 мм. Напайку пластинок из твердого сплава на корпуса таких режущих инструментов, как зенкеры, развертки, фрезы и другие, рекомендуется производить припоем марки Пр МНМЦ 68-4-2 (62-68 % Cu ; 4-5 % Ni; 1,5-2,0 % Mn; остальное - цинк), а для инструментов, работающих в тяжелых условиях, применяется припой марки Пр АНМЦ 06-4-2 (0,4-0,6 % Al; 3-4 % Ni; 15-20 % Mn, остальное - медь) В качестве припоя для инструментов простой формы можно использовать электролитическую медь или латунь в виде тонких пластинок.

Для напайки сплавов группы ВК в качестве флюса применяется бура, а при напайке сплавов группы ТК - сплав буры с фтористым кальцием. При напайке инструмента в гнездо со слоем флюса устанавливают твердосплавную пластинку посыпают флюсом после чего кладут пластинку припоя. Далее производят

ся нагрев сначала до температуры плавления флюса, а затем припоя. После пластинку прижимают в гнезде корпуса инструмента и медленно охлаждают его (в угольной крошке, нагретом песке, печах и т.д.), что предохраняет пластинки от появления трещин.

Наплавка. Существующие методы наплавки используются при изготовлении нового и восстановлении изношенного режущего инструмента. Изготовление наплавленных режущих инструментов проводится двумя способами: 1) наплавкой с изотермической закалкой; 2) наплавкой с последующим отжигом и механической обработкой, а затем закалкой и заточкой.

Оба способа можно выполнять вручную, так и с применением специальных установок, электродов из быстрорежущих сталей и расплавлением стружки в зоне наплавки электрической, а в отдельных случаях пламенем ацетиленовой горелки.

Способ наплавки с изотермической закалкой используется при изготовлении нового, простого по форме, а также при восстановлении изношенного режущего инструмента. Для изготовления нового инструмента заготовки корпусов делаются из конструкционных сталей, а затем производится наплавка зубьев быстрорежущей сталью вручную постоянным током с помощью сварочных преобразователей или переменным током с использованием сварочных трансформаторов типа СТЭ и СТН.

К недостаткам этого метода следует отнести: сравнительно невысокую производительность процесса, большой объем снимаемого металла при заточке и шлифовке инструмента абразивными кругами, кроме того, при наплавке нельзя получить лезвия с небольшим радиусом округления.

Второй способ наплавки используется при изготовлении многолезвийного режущего инструмента. С применением автоматической наплавки под слоем флюса, которая осуществляется стационарными сварочными головками и на специальных автоматах.

При наплавке применяются электроды диаметром 3-6 мм, изготовленные из быстрорежущей стали с флюсовой обмазкой или из малоуглеродистой стали с легированной обмазкой. В каче-

стве присадочного материала также используются отходы и лом быстрорежущей стали. Для лучшего оформления зубьев инструмента применяются медные или графитовые формы. Для улучшения процесса наплавки заготовки корпуса следует предварительно нагревать до температуры 700-750 °С.

В таблице 5 приведены режимы предварительной термообработки (ковки и отжига) заготовок и окончательной термообработки: закалки при длительности окончательного подогрева до 5 мин и отпуска в течение 30 мин 1-3 крат (таблица 6) из инструментальных материалов.

Правку инструментов из быстрорежущих сталей в отличие от инструментов из других сталей лучше всего выполнять сразу после закалки или при нагреве закаленной стали до 300-350 °С, то есть в условиях, когда сталь имеет пониженное сопротивление пластической деформации. В связи с этим после отпуска делается при необходимости лишь дополнительная правка. Следует указать на некоторую особенность закалки сварного инструмента, который в процессе нагрева при закалке должен погружаться в ванну, чтобы верхняя зона рабочей части инструмента находилась выше уровня соли в ванне, так как инструмент за счет теплопроводности прогревается еще на некоторую часть своей длины, выступающей над поверхностью ванны. В связи с этим во избежание сильного нагрева сварной шов обычно располагается выше рабочей части на величину, примерно равную диаметру рабочей части.

Таблица 5 – Режимы предварительной термической обработки

Марка стали	Теплостойкость, °С	Ковка		Отжиг	
		Температура нагрева, °С	Конец обработки, °С	Температура нагрева, °С	Изотермическая выдержка, °С
У10А	200	1100-1125	775-860	750-780	620-680
ХВ5	-	1100-1125	820-900	730-750	-
9ХС	325	1100-1140	800-870	770-790	670-720
ХВГ	-	1100-1140	800-860	770-790	670-720
Р9	610	1100-1150	875-900	850-870	720-740
Р18	610	1100-1180	875-900	850-870	720-740
Р12	610	1100-1150	875-900	850-870	720-740
Р18Ф2	650	1140-1180	875-900	850-870	720-740
Р9Ф5	645	1140-1180	930-950	850-870	720-740
Р10К5Ф5	650	1140-1180	930-950	850-870	720-740
Р18К5Ф2	650	1140-1180	875-900	850-870	720-740

Таблица 6 – Режимы окончательной термической обработки

Закалка			Отпуск		
Первый подогрев, °С	Второй подогрев, °С	Окончательный нагрев, °С	Температура отпуска, °С	Охлаждающая среда	Твердость отпуска, °С
550-600	-	760-810	-	Вода и масло	62-65
550-600	-	800-820	120-150	Вода	65-70
550-600	-	840-860	150-200	Масло	Не менее 62
550-600	-	830-850	160-250	Масло	Не менее 62
400-500	780-840	1240-1260	560	В масле до температуры 200-250 °С	62-65
400-500	780-840	1260-1280	560-570	и далее на воздухе	62-65
400-500	780-840	1245-1255	560	селитрованная ванна с температурой	62-65
400-500	830-860	1270-1290	565-575	450-550 °С с последующим охлаждением на воздухе	63-64
400-500	830-860	1230-1250	575-585		64-65
400-500	830-860	1230-1250	575-585		64-65
400-500	830-860	1230-1250	575-585		64-65
400-500	830-860	1270-1290	575-585		64-65

Таблица 7 – Режимы нагрева заготовок

Тип инструмента	Температура нагрева для сталей марок, °С						
	P18 P18Ф2 P18K5Ф2	P12	P9	P9Ф5	P14Ф4	P10K5Ф5	С 8% Мо
Резцы, сверла диаметром более 15-20 мм	1280-1300	1245-1255	1240-1250	1240-1260	1250-1270	1230-1250	1200-1215
Фасонный инструмент диаметром (толщиной) 10-60 мм и сверла диаметром 5-15 мм	1270-1290	1225-1245	1220-1240	1240-1260	1250-1260	1230-1240	1190-1210
Фасонный инструмент диаметром 5-10 мм и диаметром более 60 мм	1260-1280	1215-1235	1210-1230	1240-1260	1250-1270	1230-1250	1175-1200
Инструменты диаметром менее 3мм	1250-1260	1210-1220	1200-1212	1220-1230	1230-1240	1210-1220	1190-1210

В таблице 7 приведены режимы нагрева заготовок из инструментальных материалов.

1.3 Классификация инструментальных сталей и сплавов

В зависимости от условий работы различного инструмента возникает необходимость применять большое количество марок инструментальных сталей (рисунок 4), (таблица 8).

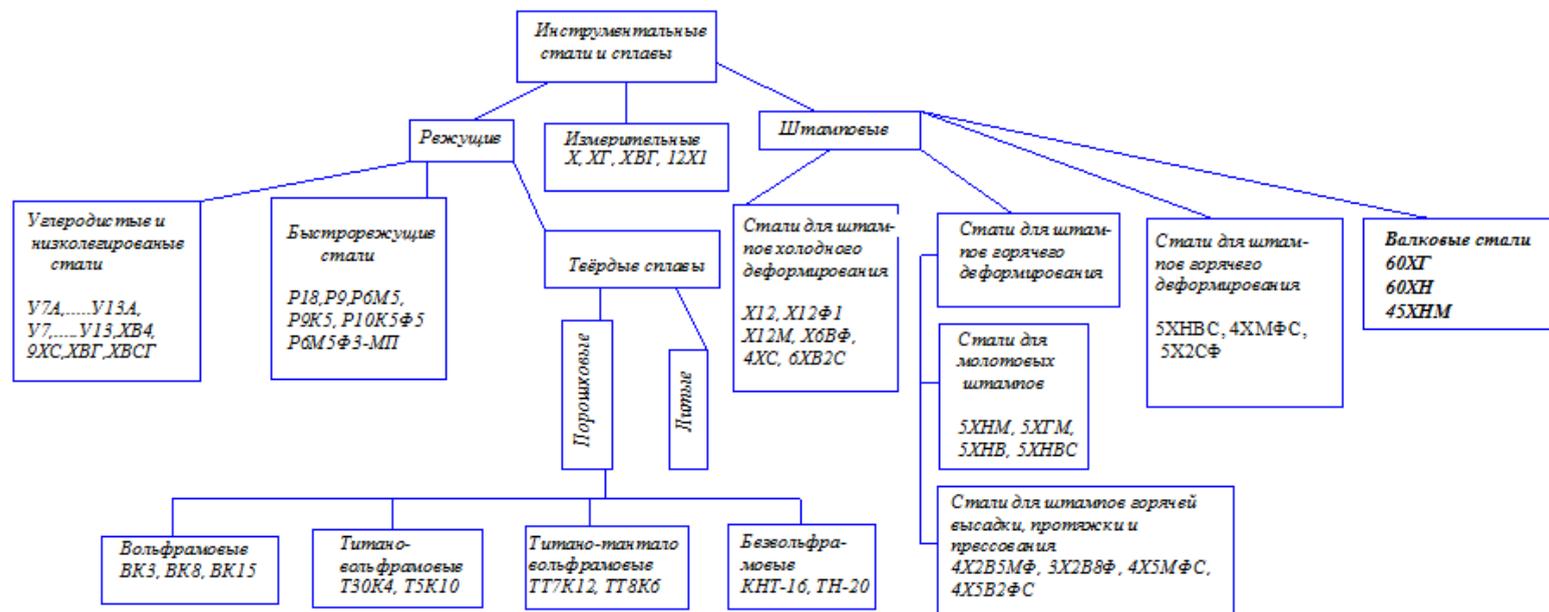


Рисунок 4 – Классификация инструментальных сталей и сплавов

Таблица 8 – Инструментальные стали

Марка	Разновидность	Обозначение	Расшифровка
Углеродистая сталь	Качественная сталь	У7-У13	У- углеродистая, цифра означает десятые доли процента углерода
	Высококачественная сталь	У7А-У13А	А- сталь более чистая по содержанию серы, фосфора остаточных примесей и неметаллических включений
Низколегированная сталь	Хромистая сталь	Х, ХГ	Х- хром Г- марганец
	Хромокремнистая сталь	9ХС	С- кремний, цифра означает десятые проценты углерода
	Вольфрамовая сталь	В1	В- вольфрам, цифра означает процентное содержание вольфрама
	Хромовольфрамовая сталь	ХВ5	
	Хромовольфрамомарганцевая сталь	ХВГ	
	Хромовольфрамокремниевомарганцовистая сталь	ХВГС	
	Хромовольфрамованадиевая сталь	Х6ВФ	Ф- ванадий
Быстрорежущая сталь	Нормальной теплоустойчивости	Р9, Р12, Р18, Р6М5	Р- Rapid (быстрый) М- молибден, цифры означают процентное содержание металла
	Повышенной теплоустойчивости	Р9К5, Р9К10, Р18Ф2, Р14Ф4, Р6М5К5 10Р6М5	К- кобальт, цифра 1 перед обозначением марки показывает, что в стали содержится около 1% углерода
	Порошковая	Р9П, Р6М5П	П - порошковый материал
	Маловольфрамовая	Р2М5	
	Безвольфрамовая	11М5Ф, 11РЗМЗФ2, 15М5Х5Ф5С	Экспериментальная Мосстанкина, экспериментальная МГТУ
	Литая	Рл-1, Рл-2, Рл-3, Рл-4	Л- литая

1.4 Влияние легирующих элементов на свойства стали

Преимущества легированных сталей, а также характерные для них специальные свойства проявляются только после соответствующей термической обработки. Поэтому из легированных сталей изготавливают инструмент, обязательно подвергаемый термической обработке. Улучшение механических свойств обусловлено влиянием легирующих элементов на свойства феррита, дисперсность карбидной фазы, устойчивость мартенсита при отпуске, прокаливаемость, размер зерна и т.д.

Для достижения высокой прокаливаемости сталь чаще всего легируют дешёвыми элементами – марганцем, хромом, бором, вместо более дорогих и дефицитными – никелем и молибденом.

Рассмотрим влияние отдельных химических элементов на свойства сталей. Хром (Cr) (в конструкционных сталях его содержится до 3 %) повышает твёрдость и прочность стали при незначительном понижении пластичности и вязкости. Присутствие Cr увеличивает прокаливаемость стали при термической обработке. Cr вводится в состав шарикоподшипниковых и быстрорежущих сталей. При содержании свыше 13 % Cr сталь становится нержавеющей.

Cr имеет решётку K8 с параметром, близким к α -Fe. Этим объясняется неограниченная взаимная растворимость α -Fe и Cr. При введении Cr в Fe точка A_{c1} понижается быстрее, чем A_{c3} , и γ -область замыкается при 13 %.

Никель (Ni) – ценный легирующий элемент (в конструкционных сталях его от 1 % до 5 %) придаёт стали прочность, высокую пластичность и вязкость, а также увеличивает глубину прокаливаемости при термообработке.

Ni обладает решёткой K12 с параметром, близким к γ -Fe, что обеспечивает образование непрерывного ряда твёрдых растворов от γ -Fe до Ni. Он повышает точку A_{c4} и снижает A_{c3} , расширяя γ -область. При охлаждении диффузия Ni и Fe затруднена и превращение $\gamma \rightarrow \alpha$ происходит по мартенситному (бездиффузионному) типу, а обратное превращение $\alpha \rightarrow \gamma$ происходит по диффузионному типу.

В сплавах с большим содержанием Ni может образоваться упорядоченный твёрдый раствор $FeNi_3$ (никелид железа). Температура упорядочения для сплава $FeNi_3$ с 78 % Ni равна 612 °C.

Вольфрам (W) является ценным легирующим элементом (в конструкционных легированных сталях до 1,5 %), повышает твёрдость и прочность стали, способствует образованию мелкозернистой структуры.

В связи с изоморфностью и близостью параметров решёток W к Mo диаграммы состояния Fe-Mo и Fe-W весьма схожи. Область γ -фазы выклинивается при 6,5 % W. При содержании от 6 % до 32 % W сплавы способны к дисперсному твердению.

Fe и W образуют два химических соединения – Fe_2W (ϵ -фаза) при температуре 1040 °C и Fe_3W_2 (ξ -фаза).

Молибден (Mo) – дефицитный элемент (в конструкционных сталях содержится до 0,6 %), повышает прочность и твёрдость стали, незначительно снижает пластичность и вязкость, уменьшает отпускную хрупкость. Mo имеет решётку K8. Значительно больший параметр решетки Mo по сравнению с α -Fe препятствует образованию непрерывного ряда твёрдых растворов. Растворимость Mo в α -железе составляет 5 % при 20 °C и 26 % при 1450 °C (максимальная растворимость).

Ванадий (V) вводят в небольших количествах в конструкционные (0,1-0,3 %), инструментальные (0,15-0,65%) и быстрорежущие (до 2,5 %) стали. Он повышает твёрдость стали, способ-

ствует образованию мелкозернистой структуры, повышает упругость и сопротивление усталости.

V имеет решётку K8 и образует с Fe системы, весьма сходные с системами Fe-C; γ -область выклинивается примерно при 0,5 % V.

Марганец (Mn) – недорогой легирующий элемент, является неизбежной примесью стали. В конструкционных сталях Mn присутствует не более 2 %. Mn способствует глубокой прокаливаемости стали и улучшает её механические свойства. При повышенных содержаниях Mn придаёт стали износостойчивость и магнитоустойчивые свойства.

γ -Mn имеет тетрагональную гранцентрированную решётку, близкую по параметрам к решётке K12 (γ -Fe), что обуславливает образование непрерывного твёрдого раствора от γ -Fe до γ -Mn.

Si является, как и Mn, неизбежной примесью в сталях. В конструкционных сталях Si содержится до 2 %. Он повышает прочность и упругость стали при сохранении вязкости (рессорные и пружинные стали). Повышенное содержание Si (до 2,4 %) увеличивает электросопротивление и магнитную проницаемость сталей. Si обладает решёткой типа решётки алмаза. Растворимость в α - A_γ составляет 15 % при 200 °C и 18,5 % при 1030 °C. Эти сплавы почти не склонны к дисперсионному твердению. Повышая точку A_{c3} , Si снижает точку A_{c4} и при 2 % Si полностью выкликивает γ -область. Si образует с Fe ряд соединений-силицидов.

Ниобий (Nb) и титан (Ti) добавляют в сталь в небольших количествах (0,1-0,2 %). Они измельчают размер зерна, повышают механические свойства.

Бор (B) вводится для повышения твёрдости азотируемой стали. Введённый в незначительных (до 0,002 %) количествах

бор, существенно увеличивает прокаливаемость стали. Присутствие бора повышает ударную вязкость стали после низкого отпуска. Даже 0,01 % В повышает жаропрочность сплавов.

Распределение легирующих элементов в стали может быть следующим:

а) в свободном состоянии (не растворяются серебро, свинец, медь свыше 1 %);

б) в форме интерметаллических соединений с железом или между собой (особенно в высоколегированных сталях);

в) в виде оксидов, фосфидов и неметаллических включений;

г) в виде карбидов (образуют карбиды элементы левее Fe);

д) в форме раствора в железе, кроме С, N, О, В. Элементы, расположенные левее Fe в периодической системе (Mn, Cr, Mo, W, Nb, V, Zr, Ti), образуют карбиды и растворы с Fe. Установлено, что в сталях могут образовываться следующие карбидные соединения двух групп:

– карбиды 1-й группы (фазы замещения) Fe_3C ; Mn_3C ; $Cr_{23}C_6$; Cr_7C_3 ; Fe_3Mo_3C ; Fe_3W_3C ;

– карбиды 2-й группы (фазы внедрения): Mo_2C ; W_2C ; WC ; VC ; TiC ; NbC ; TaC ; Ta_2C ; ZrC .

Карбидам 1 и 2 группы свойственны химические соединения:

Карбиды 1-й группы

M_3C ;

M_7C_3 ;

$M_{23}C_6$;

M_6C .

Карбиды 2-й группы

MC ;

M_2C .

Однако в сталях в чистом виде перечисленные карбиды не существуют. Карбиды всех легирующих элементов содержат в растворе железо.

Чем дальше удалён элемент от железа, тем устойчивее его карбиды и тем труднее они растворяются в аустените. Устойчивость соединений достигается тем, что углерод отдаёт свои валентные элементы на дополнение подгрупп 3d, 4d, 5d у металла, что обеспечивает у карбидов прочную металлическую связь.

У всех карбидообразующих элементов (кроме Fe, Mn, Cr) отношение атомных радиусов углерода к металлу меньше 0,59 (атомный радиус «C» 0,79). Карбиды по характеру своей атомной кристаллической решётки подразделяют на две группы:

- карбиды 1-й группы Fe_3C , Mn_3C , Cr_7C_3 имеют сложные кристаллические решётки, построенные из закономерно расположенных атомов металла и углерода;

- карбиды 2-й группы W_2C , WC , Mo_2C , VC , TiC имеют сравнительно простые кубическую или гексагональную решетки построенные из атомов металла, а атомы углерода оказываются внедрёнными в них. Карбиды 2-й группы называются фазами внедрения.

Введение в сталь легирующих элементов смещает температурные границы процессов при нагревании (рисунок 5).

Легирующие элементы понижают содержание «C» в эвтектоиде и сдвигают точку S на диаграмме Fe-C (W, Si, Cr) влево и точку E – вправо (S и V). Пример – сталь с 5 % Cr и 0,6 % C являются эвтектоидной (рисунок 6).

Добавки легирующих элементов уменьшают склонность аустенита к росту зерна, за исключением В, Mn, Cr, W, Mo, V, Ti – сильно измельчено зерно. Это связано с тем, что избыточные карбиды, нерастворённые в аустените, препятствуют росту зерна, и сталь сохраняет мелкозернистое строение до весьма высоких температур, т. е. является природно-мелкозернистой.

Карбидообразующие элементы вносят не только количественное, но и качественное изменение в кинетику изотермического превращения аустенита (рисунок 7).

Ni, Si, Mn, и др. элементы, растворённые в феррите, повышают устойчивость аустенита и сдвигают вправо кривые начала превращения

Cr, W, Mo и карбидообразующие элементы вызывают на кривых начала превращения два выступа. При этом верхний выступ сдвигается влево или вправо, но в меньшей степени, чем при перлитном превращении. Это указывает на то, что карбиды значительно меньше тормозят промежуточное превращение.

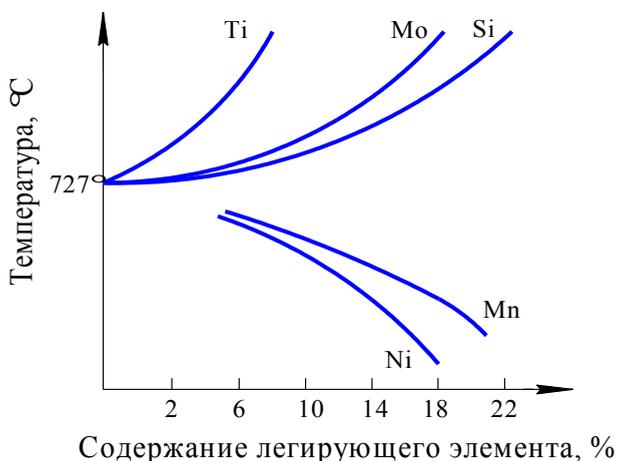


Рисунок 5 – Влияние легирующих элементов на положение температурных интервалов линии A_1

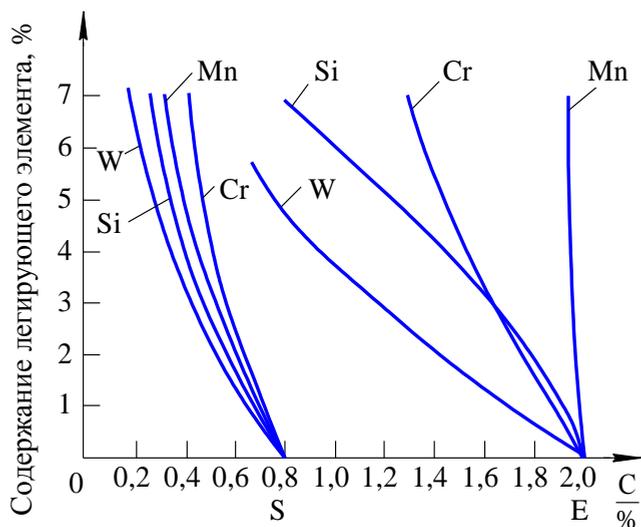
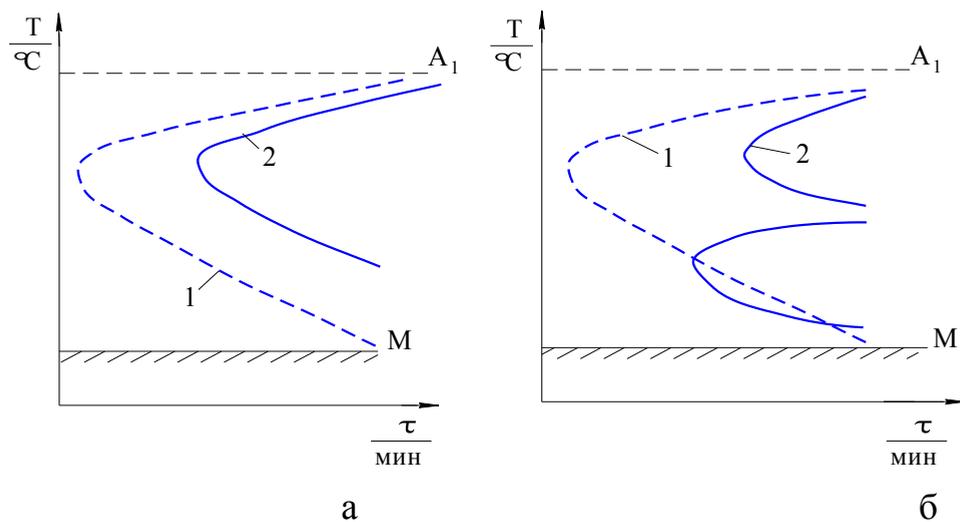


Рисунок 6 – Влияние легирующих элементов на положение точек S и E



а - углеродистая сталь (1) и сталь, легированная некарбидообразующими элементами (2); б - углеродистая сталь (1) и сталь, легированная карбидообразующими элементами (2).

Рисунок 7 – Схема диаграмм изотермического распада аустенита в стали

Во время перлитного превращения атомы легирующих элементов, присутствуя как в аустените, так и в карбидах и заполняя собой дислокации, тормозят диффузию.

Практически наиболее важным является способность легирующих элементов замедлять скорость распада в районе перлитного превращения, что выражается в смещении вправо линии на диаграмме. Это способствует более глубокой прокаливаемости и переохлаждению аустенита до интервала мартенситного превращения при более медленном охлаждении. Сильно увеличивают прокаливаемость Cr, Mo, Ni, Mn.

Сталь У7 прокаливается на 8-14 мм, сталь с содержанием 0,1 % хрома, 0,4 % Mo, 3,25 % Ni имеет прокаливаемость до 250 мм.

Влияние легирующих элементов сказывается исключительно на положении температурного интервала мартенситного превращения. Некоторые элементы повышают мартенситную точку и уменьшают количество остаточного аустенита (Al, Co), либо мало влияют на неё (Si). Большинство же снижают мартенситную точку и увеличивают количество остаточного аустенита.

Сталь с 5 % Mn имеет мартенситную точку около 0 °С, следовательно, после охлаждения можно зафиксировать аустенитное состояние.

Влияние легирующих элементов на температуру отпуска.

Легирующие элементы замедляют процесс распада мартенсита. Легированные стали нужно нагревать при отпуске до более высоких температур и увеличивать продолжительность выдержки по сравнению с углеродистой сталью (рисунок 8).

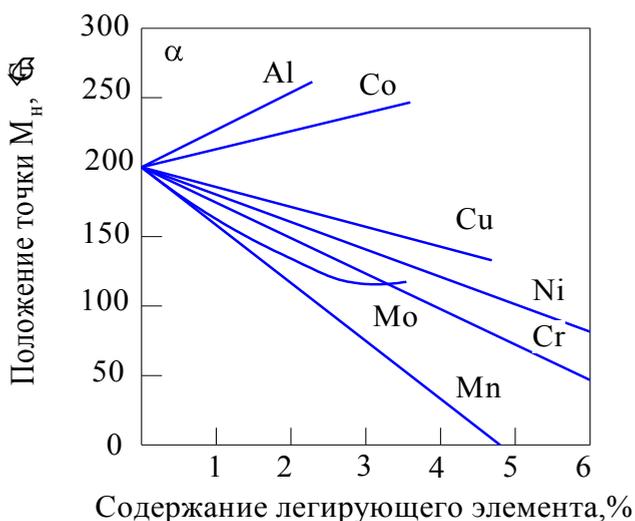


Рисунок 8 – Влияние легирующих элементов на температуру мартенситного превращения

Легирующие элементы задерживают развитие диффузионных процессов, в связи с чем превращения при отпуске сдвигаются при легировании в сторону более высоких температур. Например, структура отпуска мартенсита в углеродистых сталях сохраняется после отпуска на 250-300 °C, а в легированных сталях отпущенный мартенсит получается при температуре отпуска 450-500 °C и выше.

Особенностью отпуска высоколегированных сталей является:

- а) повышение температуры отпуска;
- б) двух стадийный распад, который обеспечивает появление вторичной твёрдости.

Важной характеристикой инструментальных сталей является теплостойкость (таблица 9).

Таблица 9 – Теплостойкость инструментальных сталей

Для режущего инструмента		Для штампов и пресс-форм			
неглубокой прокаливаемости	глубокой прокаливаемости и красностойкости		для деформирования заготовок		для ударного инструмента
	быстро-режущие	легированные	в холодном состоянии	в горячем состоянии	
t_p до 280 °С	t_p до 600 °С	t_p до 250 °С	$t_p = 20\text{ °С}-40\text{ °С}$	$t_p = 400\text{ °С}-800\text{ °С}$	t_p до 200 °С
У8; У10; У12; 7ХФ; 7ХФ; 11ХФ	P18; P9; P6M5; ХГС;	9ХС; ХВГ 9Х5В	Х5ВФ; Х12; Х12ВМФ 7ХГ2ВМФ	7ХЗ; 5ХНВ 4Х5МФС; 4Х5В2ФС	40ХС; 5ХВГ 4ХВ20; 6ХВ2С
Примечание - t_p – рабочая температура					

Теплостойкими являются высоколегированные стали, которые приобретают твёрдость в результате мартенситного превращения при закалке и дисперсионного твердения при высоком отпуске (500-620 °С) в результате выделения дисперсных фаз – упрочнителей. Этими фазами являются сложные карбиды вольфрама, молибдена, ванадия.

Полутеплостойкими являются средне- и высоколегированные (в основном хромом) стали, которые сохраняют повышенную твёрдость до температуры 300-500 °С.

Нетеплостойкими являются углеродистые и низколегированные высокоуглеродистые стали, которые после закалки имеют высокую твёрдость и износостойкость в результате мартенситного превращения. При нагреве до 200-300 °С основное количество углерода выделяется из мартенсита, в результате сталь теряет твёрдость, износостойкость.

К этой группе сталей относятся:

- углеродистые стали небольшой прокаливаемости (У7);

- легированные стали повышенной прокаливаемости (7ХФ).

Углеродистые стали небольшой прокаливаемости У7, У8, У9, У10, У11, У12, У13. Эти стали содержат от 0,7 % до 1,3 % С и подвергаются закалке и низкому отпуску.

1.5 Углеродистые инструментальные стали

Производят качественные У7, У8-У13 и высококачественные У7А, У8А-У13А. Буква У в марке показывает, что сталь высокоуглеродистая, а цифра – среднюю массовую долю углерода в десятых долях процента. Углеродистые стали используют для инструментов, не подвергаемых в процессе работы воздействию температур свыше 150-200 °С и не требующих в процессе изготовления значительного шлифования (напильники, метчики, развёртки, ножовки, топоры, стамески, слесарно-монтажные и хирургические инструменты, а также некоторые штамповые и измерительные инструменты).

Доэвтектоидную сталь У7 закаливают с нагревом выше точки A_{c3} (на 30-40 °С) и отпускают при температуре 150-160 °С (на твёрдость 61- 63 HRC) и при температуре отпуска 275-325 °С (на твёрдость 48-58 HRC) (таблица 11).

Таблица 10 – Углеродистые стали небольшой прокаливаемости

Марка стали	Термическая обработка		Твёрдость HRC
	$t_{\text{зак}}, ^\circ\text{C}$	$t_{\text{отп}}, ^\circ\text{C}$	
У7	800-820	150-160	61-63
		275-325	48-55
У8	780- 800	150-160	61-63
		200-220	57-59
У9 – У13	760-780	150-160	62-63
		200-220	58-59

Высокая твёрдость (62-63 HRC) углеродистых сталей достигается уже при 0,6 % углерода в инструменте диаметром (толщиной) от 1 до 5 мм. В инструменте большего сечения такую твёрдость на поверхности можно получить лишь при массовой доле углерода 0,8-0,9 %. С увеличением массовой доли углерода (более 0,9-1,0%) твёрдость можно повысить до 65 HRC. Оптимальная массовая доля углерода определяется особенностями работы инструмента, его формой и технологией изготовления.

1.6 Легированные инструментальные стали

Они содержат до 5 % легирующих элементов, которые вводят для увеличения закаляемости, прокаливаемости, уменьшения деформаций и опасности растрескивания инструмента. Хром является постоянным элементом нелегированных сталей. Для улучшения свойств в них дополнительно вводят марганец, кремний, вольфрам.

Низколегированные инструментальные стали 11ХФ, 13Х (с цементацией), ХВСГ, 9ХС, ХВ4 подобно углеродистым не обладают теплостойкостью и пригодны для резания материалов высокой прочности ($\sigma_b = 500-600 \text{ Н/мм}^2$) с небольшой (от 5 м/мин до 6 м/мин) скоростью. Их используют для инструмента, не подвергаемого в работе нагреву свыше 200-250 °С (таблица 11).

Таблица 11 – Режимы термической обработки наиболее применяемых инструментальных сталей

Марка стали	Массовая доля углерода, %	Температура, °С		Твёрдость HRC	Назначение
		закалки	отпуска		
У7	0,66-0,73	800-820	150-160 200-220	61-63 57-59	Инструменты для обработки дерева (топоры, стамески, долота), слесарно-монтажные инструменты (кусачки, плоскогубцы, молотки, кувалды, отвёртки и др.)
У10	0,96-1,03	760-780	150-160 200-220	62-63 58-59	Столярные пилы ручные и машинные, ручные ножовки, напильники, спиральные свёрла, накатные ролики, калибры, метчики, штампы для холодной штамповки деталей небольших размеров
Примечание – Закалка в воде					
Низколегированные инструментальные стали.					
9ХС	0,85-0,95	840-860	180-250	58-62	Свёрла, развёртки, метчики, гребёнки, фрезы, клейма, деревообрабатывающий инструмент
ХВСГ	0,95-1,05	840-860	140-160	60-62	Инструмент для ручной работы – плашки, свёрла, развёртки, деревообрабатывающий инструмент
Примечание – Закалка в масле					

1.7 Валковые стали

Данные стали применяют для рабочих, опорных и прочих валков прокатных станов, бандажей составных опорных валков, ножей для холодной резки металла, обрезных матриц и пуансонов.

К валковым сталям относят такие марки стали, как 45ХНМ, 60ХГ и указанные в таблице 12.

Таблица 12 – Валковые стали

Материал	Применение
45ХНМ	Оси составных опорных валков листовых станов для горячей прокатки металлов, шестеренные валы и другие.
60ХГ	Рабочие валки штрипсовых и мелкосортных станов для горячей прокатки металлов.
60ХН	Рабочие валки блюмингов, слябингов, заготовочных, рельсобалочных и крупносортовых станов, рабочие опорные валки листовых станов для горячей прокатки металлов.
90ХМФ	Опорные валки всех размеров и бандажи составных опорных валков листовых станов для горячей прокатки металлов.
9Х2МФ	Рабочие валки для станов холодной прокатки металлов при особо тяжелых условиях эксплуатации, рабочие валки проволочных обжимных и сортовых станов.

Требования к стали для валков. Высокая прокаливаемость. Для обеспечения высокой закаливаемости необходимо использование таких марок стали, устойчивость переохлажденного аустенита которых в обеих областях превращения, по возможности, достаточной для развития мартенситного превращения при минимальных скоростях охлаждения, например, в масле.

Глубокая прокаливаемость. Прокаливаемость – это глубина закаленного слоя или, другими словами, глубина образования мартенсита. Она зависит от химического состава, размеров деталей и условий охлаждения. Легирующие элементы, а также увеличение содержания углерода (0,8%) в стали способствуют увеличению ее прокаливаемости. Для данного типа стали необходима практически сквозная прокаливаемость, так как при этом обеспечивается жесткость валка. Среди элементов, увеличивающих прокаливаемость – кремний и бор.

Высокая контактная прочность. Контактная прочность рабочего слоя валков должна быть выше контактных напряжений, возникающих в процессе прокатки с учетом естественных нагрузок.

Высокая износостойкость необходима для безаварийной работы стана. При высокой износостойкости образование абразивных частиц износа не происходит, система подшипников работает более надежно. К числу эффективных мероприятий по повышению износостойкости, являющейся наиболее важной эксплуатационной характеристикой качества валков, можно отнести повышение их поверхностной твердости и увеличение содержания углерода и хрома в валковых сталях.

Резкое повышение стойкости прокатных валков может быть достигнуто путем увеличения твердости их рабочего слоя. Чем больше твердость валков и выше их стойкость, тем большее количество металла можно прокатать за период между перевалками. Износостойкость стальных валков тем выше, чем меньше в металлической основе структурно свободного феррита и больше избыточных карбидов. Чем больше суммарная поверхность карбидных включений, чем мельче зерно и карбидные частицы, тем больше твердость валков и выше их стойкость против истирания.

Отсутствие в микроструктуре валков хрупких составляющих, содержащих более 0,10 % фосфора, способствует повышению прочности сердцевины, увеличению вязкости и износостойкости отбеленного рабочего слоя.

Валки холодной и горячей прокатки подвергают предварительной и окончательной термической обработке.

Предварительная термообработка проводится с целью перекристаллизации структуры ковального металла, снижения твердости и уровня остаточных напряжений, подготовки структуры к механической обработке и последующей закалке, предотвращения флокенообразования (все валковые стали флокеночувствительны).

К предварительной термообработке поковок валков относят: отжиг, улучшение, нормализация с отпуском и др. Выбор режима определяется размерами валков, технологией прокатки, условиями эксплуатации. Назначается предварительная термообработка в зависимости от марки стали:

Для сталей марок Х9ВМФ, 8Х5СВМФ, 75 ХСМФ - изотермический отжиг;

6Х6М1Ф - изотермический отжиг и нормализация с отпуском;

75ХСМФ - изотермический отжиг с улучшением;

9Х1, 80ХФ, 9Х2МФ - отжиг и улучшение или отжиг и нормализация с отпуском.

После предварительной термообработки валков снимают припуск 3-15 мм. Твердость сталей марок 9Х2МФ, 150ХНМ после отпуска 260-290 НВ, после закалки 352-429 НВ.

Основная цель окончательной термообработки - получение высокой твердости на поверхности бочки валков. Чаще всего используют в качестве окончательной термообработки закалку с индукционного нагрева токами промышленной частоты (на установках ТП4-700). Валок нагревается внутри многovitкового кольцевого индуктора. Охлаждение производят водой через спрейер под давлением 0,3-0,7 МПа.

Для более глубокого прогрева валков по сечению, обеспечения более плавного перехода от закаленного слоя к незакаленному внутреннему и создания более благоприятного распределения остаточных напряжений по сечению после закалки валки предварительно подогревают на установке ТПЧ до температуры 850 °С. на поверхности бочки. Число подогревов зависит от требуемой глубины активного слоя и диаметра бочки валка.

После закалки валки холодной прокатки подвергают низко-температурному отпуску (130-200 °С). Отпуск приводит к значительному снятию и перераспределению остаточных напряжений в валке, образованию дисперсных карбидов, распаду остаточного аустенита, стабилизации размеров, выравниванию твердости поверхности бочки валка.

Для повышения эксплуатационной стойкости валков рекомендуется готовые рабочие валки подвергать среднетемпературному отпуску при печном или индукционном нагреве.

1.8 Быстрорежущие стали

Это высоколегированные инструментальные сплавы ледебуритного класса. Быстрорежущие стали предназначены для изготовления режущего инструмента, работающего при больших скоростях. Они обладают высокой красностойкостью (способностью сохранять твёрдость в нагретом состоянии).

Быстрорежущая сталь была разработана и применена в начале XX века и до настоящего времени широко используется для изготовления режущих инструментов, работающих в условиях значительного нагружения и нагрева рабочих кромок. Инструменты из быстрорежущих сталей обладают достаточно высокой стабильностью свойств. Из такой стали изготавливают режущие инструменты высокой производительности: свёрла, фрезы, развёртки, протяжки, долбяки, зенкеры и другие (рисунок 9).



Рисунок 9 – Разновидности сверл различных конструкций (с оправкой и без) и местом закрепления цанги

Требования, предъявляемые к быстрорежущим сталям. В общем случае к материалам режущих инструментов из быстрорежущих сталей, с точки зрения их долговечности, предъявляются следующие требования - прочность. В процессе обработки режущей инструмент выдерживает значительные контактные напряжения в области его соприкосновения со стружкой. Режущее лезвие должно выдерживать эти нагрузки в течение длительного времени. Высокая прочность должна сочетаться с высокой:

- твердостью. Чем больше разница в твёрдости между инструментом и деталью, тем выше режущая способность инструмента.

- теплостойкостью. В процессе обработки в зоне резания возникают высокие температуры, способствующие снижению

твердости контактных поверхностей инструмента, которые приводят к резкому увеличению их износа. Под теплостойкостью понимают способность материала сохранять при его нагреве твердость 58-60 HRC , необходимую для осуществления процесса резания.

- износостойкостью – способность инструментального материала сопротивляться удалению его частиц с контактных поверхностей в процессе резания. Износостойкость зависит от твердости, прочности, теплостойкости, степени сродства инструментального обрабатываемого материала,

- слипаемостью, которая характеризуется температурой, при которой происходит «слипание» двух материалов. Особенно это отгостится к материалам, обладающим физико-химическим «сродством». Чем выше температура, тем меньше «слипания»

Прочность быстрорежущей стали высока даже при больших размерах. Распределение карбидов и химический анализ образцов в исходном состоянии представлен на рисунке 10, 11.

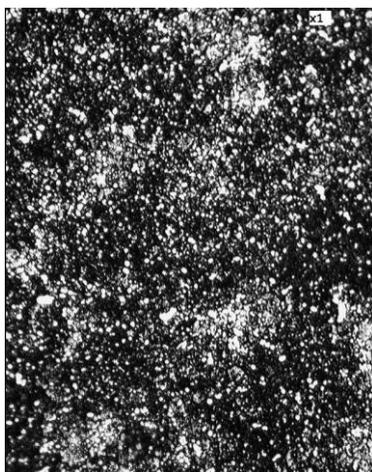
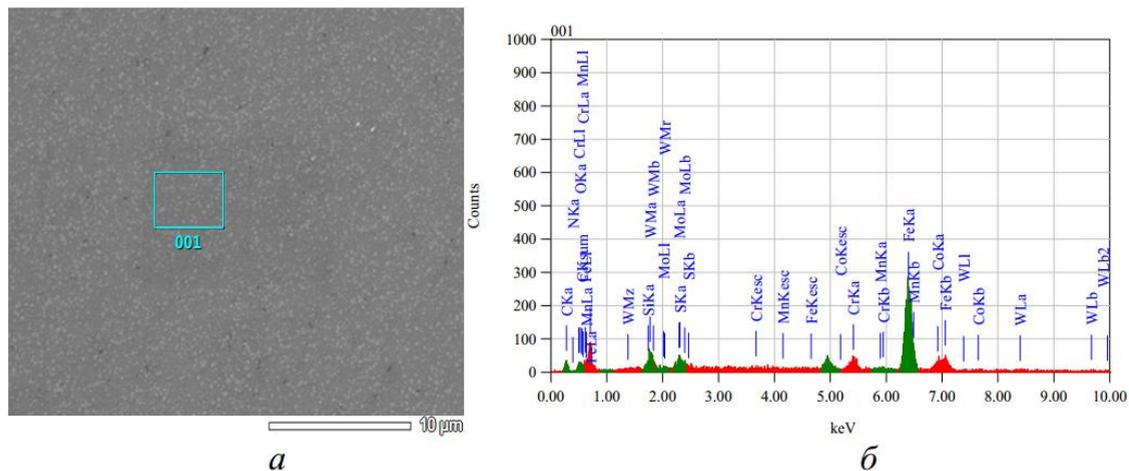


Рисунок 10 – Распределение карбидов в металлической основе материала P6M5 в состоянии поставки при увеличении×500



а – область химического анализа; б – результат химического анализа.

Рисунок 11 – Химический анализ образцов в исходном состоянии (JEOL JCM-6000)

Химический анализ был произведен на растровом электронном микроскопе JEOL JCM-6000. Более интенсивны линии элементов: W, Mo, Cr, Mn. Наиболее универсальна по своим свойствам сталь P18, пригодная для любых режущих инструментов, хорошо шлифуемая и технологичная. Ограничение применение она имеет вследствие большого содержания дефицитного вольфрама. Основной маркой для широкого использования является сталь P6M5, близкая по режущим свойствам к стали P18, более прочная и дешевая, но склонная к обезуглероживанию при нагреве и требующая большей культуры в эксплуатации (таблица 13-15). Все быстрорежущие стали повышенной теплостойкости имеют пониженную шлифуемость и требуют при заточке применение эльборовых шлифовальных кругов. Порошковые быстрорежущие стали, имея равномерную микроструктуру, обладают повышенной прочностью и износостойкостью, хорошо шлифуются.

Таблица 13 – Химический состав быстрорежущих сталей

Марка стали	C, %	W, %	Cr, %	V, %	Mo, %	Co, %	Si, %
P18	0,7-0,8	17-18,5	3,8-4,4	1-1,4	1	-	≤0,5
P18Ф2К5	0,85-0,9	17-18,5	3,8-4,4	1,9	1	5-6	0,5
P6M5K5	0,8-0,88	6-7	3,8-4,4	1,7-2,2	4,8	4,8	0,5

Таблица 14 – Химический состав литых быстрорежущих сталей

Марка стали	C, %	W, %	Cr, %	V, %	Mo, %	V, %	Mn, %
РЛ-1	0,85-0,95	5-7	3-4	2-2,6	3-4	2-2,6	0,4-0,7

Таблица 15 – Прочностные характеристики быстрорежущих сплавов

Марка стали	Ударная вязкость, КДж/м ²	Предел прочности при растяжении, МПа	Предел прочности при сжатии, МПа	Предел текучести при сжатии, МПа
P6M5	42	2780	5060	3030
P8M3K6C	8,6	1930	4510	3370

Для инструментальных сталей характерно сильное влияние распределения вторичной фазы в структуре на свойства. Карбидная и интерметаллидная неоднородность, увеличивающаяся с ростом диаметра проката снижает прочность, пластичность и ударную вязкость тем значительнее, чем больше количество второй фазы.

Карбидную неоднородность быстрорежущих сталей оценивают баллами шкалы согласно ГОСТ 19205-83, прутки и полосы

разделяют на две группы диаметр и толщина заготовок I группы составляет 80-200 мм, II группы 20-150 (таблица 16).

Таблица 16 – Карбидная неоднородность быстрорежущих сталей, баллы не более 3,4

Диаметр или сторона, мм	Группа		Диаметр или сторона, мм	Группа	
	I	II		I	II
20	-	2	80-100	5	6
20-40	-	3	100-150	6	7
40-60	-	4	150-180	7	-
60-80	-	5	180-200	8	-

Вследствие значительного содержания карбидов быстрорежущие стали имеют ограниченную пластичность, поэтому их деформируют при высоких температурах (таблица 17).

Таблица 17 – Температура горячего деформирования быстрорежущих сталей, °С

Диаметр или сторона, мм	Слитки		Заготовки	
	Нагрев	Окончание обработки	Нагрев	Окончание обработки
P18; P6M5	1150-1200	975-1000	1140-1180	900-920
P9K5	1150-1200	975-1000	1140-1180	900-920
P6M5K5	1100-1130	950-975	1080-1120	925-940

Влияние термоциклической обработки (ТЦО) на структуру и свойства быстрорежущих сталей. Для исследования принималась сталь P6M5. Она хорошо обрабатывается, в частности, отжиг ее дает стабильные результаты, но требует значительного времени и точного соблюдения температурного режима. В опы-

тах использовались образцы размерами 10x20x100 мм, твердостью HV от 5340 Н/мм² до 5780 Н/мм².

В результате проведенных исследований установлено, что оптимальным режимом ТЦО литой стали Р6М5 является пятикратный нагрев со скоростью 40-50 °С/мин до 820-850 °С с последующим охлаждением со скоростью 100 °С/мин (на воздухе) до 600-650 °С. Окончательное охлаждение до комнатной температуры – на воздухе. При ТЦО происходит полный распад ледебуритной структуры с формированием структуры зернистого перлита (таблица 18).

На основании проведенных опытов установлено, что ТЦО может быть применена:

- вместо традиционного отжига быстрорежущих сталей;
- в лабораториях и заводских условиях на металлургических заводах, производящих быстрорежущие стали.

Таблица 18 – Изменение твердости литых сталей Р6М5 и РЛ-1 при термоциклической обработке

Термообработка	Твердость HV, Н/мм ²	
	Р6М5	РЛ-1
Исходное состояние	5460...5780	5500..5700
ТЦО с циклами		
1	4070...4300	3700...3800
2	3210...3520	3100...3200
3	2770...3000	2700...2800
4	2550...2690	2600...2700

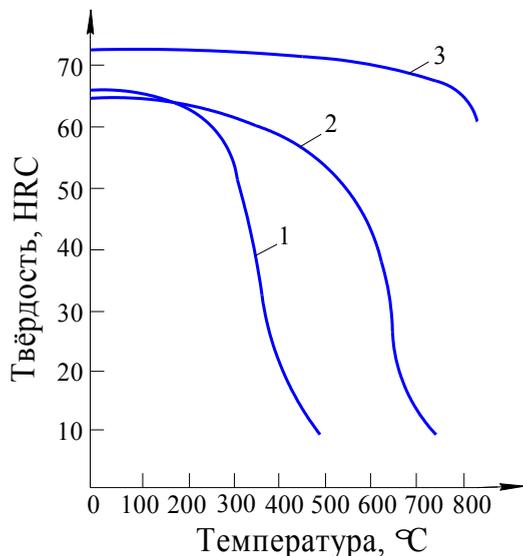
К аналогичным выводам пришли работы, изучавшие влияние ТЦО на структуру и свойства инструмента из стали РЛ-2. В связи с устранением карбидной сетки по границам зерен в стали при ТЦО удалось в готовом инструменте получить, например,

прочность на изгиб 1190 МПа, а на нетермоциклированных образцах – 590 МПа. Твердость быстрорежущих сталей после отжига должна быть 2550 HV. Для быстрорежущих сталей с кобальтом или высоким содержанием ванадия допускается твердость 2690-2850 HV.

Быстрорежущие стали обладают высокой твердостью (58-65 HRC), износостойкостью, высокой прочностью при удовлетворительной пластичности и вязкости, повышенной прокаливаемостью. Основное свойство быстрорежущих сталей – высокая (до 580-670 °С) теплостойкость. Под теплостойкостью понимают способность стали сохранять свои свойства в нагретом состоянии. Изменение твердости различных инструментальных материалов в зависимости от температуры нагрева показано на рисунке 12. Как видно из рисунка 12, инструментальные углеродистые стали сохраняют твердость, а следовательно, и режущие свойства до 200 °С (напильники, инструмент по дереву), быстрорежущие стали – до 550-600 °С (фрезы, сверла, зенкеры, развертки), твердые сплавы – до 800-1000 °С. Следует отметить, что твердость в холодном состоянии не определяет режущей способности стали, при высоких скоростях резания (в условиях повышенной температуры требуется также высокая твердость).

Высокие эксплуатационные свойства быстрорежущих сталей создаются легированием карбидообразующими элементами в таком количестве, при котором они связывают почти весь углерод в карбиды и существенно меняют характер структурных превращений. Такими карбидообразующими элементами являются вольфрам, молибден, хром, ванадий. Увеличению теплостойкости и твердости после термической обработки способствует кобальт. Ванадий способствует повышению стойкости карбидов, образуя очень твердый карбид VC, который повышает твердость (износостойкость).

стойкость) инструмента, но ухудшает шлифуемость. Хром увеличивает прокаливаемость.



1 – углеродистая сталь (У12); 2 – быстрорежущая сталь;
3 – твердый сплав

Рисунок 12 – Изменение твёрдости различных материалов в зависимости от температуры нагрева

Быстрорежущие стали маркируются буквой «Р» («рапид» – быстрый) и цифрой после «Р», показывающий в процентах массовую долю основного легирующего элемента – вольфрама (например, Р18, Р9). При наличии в стали значительного количества (более 2 %) ванадия его массовая доля отмечается в марке стали цифрой после буквы "Ф", а массовая доля молибдена и кобальта – цифрой после букв "М" и "К" соответственно. Наличие хрома в маркировке не указывается, поскольку во всех быстрорежущих сталях его массовая доля составляет около 4 %.

Химический состав некоторых марок широко применяемых быстрорежущих сталей умеренной (до 620 °С) теплостойкости приведен в таблице 19.

Таблица 19 – Химический состав быстрорежущих сталей

Марка стали	Содержание основных элементов, %					
	C	Cr	W	V	Co	Mo
P6M5	0,85-0,95	3,0-3,6	5,5-6,5	2,0-2,5	-	3,0-3,6
P9	0,85-0,95	3,8-4,4	8,5-10,0	2,0-2,6	-	≥0,3
P9K10	0,9-1,0	3,8-4,4	9,0-10,5	2,0-2,6	9,5-10,5	≥0,3

Стали умеренной теплостойкости рекомендуются для всех видов инструментов при обработке углеродистых и легированных сталей. Наиболее часто применяют сталь P6M5 с меньшей массовой долей вольфрама.

Для обработки высокопрочных, коррозионностойких и жаропрочных сталей и сплавов применяют быстрорежущие стали повышенной теплостойкости (630-640 °С), содержащие кобальт и повышенную массовую долю ванадия: P18K5Ф2, P9K5, P6M5K5, P9M4K8, P2AM9K5, P2AM9K5. Для инструментов чистовой обработки вязкой аустенитной стали и материалов, обладающих абразивными свойствами, используют сталь P12Ф3 с высокой массовой долей ванадия.

1.8.1 Структура и свойства быстрорежущей стали

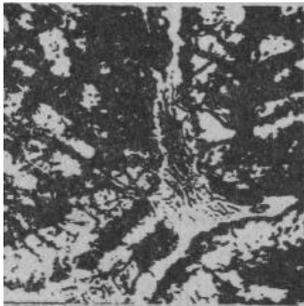
Структуры сталей могут быть изучены наиболее полно, если проследить за их изменением на различных этапах её обработ-

ки: литьё, горячая деформация, отжиг, закалка и отпуск (на примере стали Р6М5).

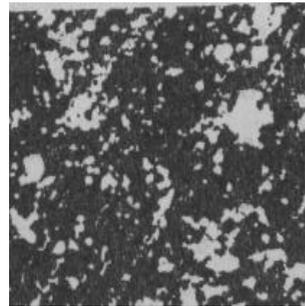
В литом состоянии структура стали Р6М5 имеет ледебуритную эвтектику, которая вызывает хрупкость (рисунок 13).

Для её разрушения и равномерного распределения карбидов, а также для подготовки структуры к последующей термообработке быстрорежущую сталь подвергают горячей деформации (ковке или прокатке) с последующим изотермическим отжигом для снижения твёрдости до 210-260 НВ.

Обработка давлением изменяет строение быстрорежущей стали, так как эвтектика разбивается на обособленные карбиды. Структура деформированной и отожжённой стали состоит из сорбитообразного перлита с большим количеством равномерно распределённых крупных первичных и более мелких вторичных карбидов (рисунок 13 б).



а



б

а – после литья; б – деформированной и отожжённой.

Рисунок 13 – Микроструктура стали Р6М5, х 500

При недостаточной деформации наблюдается карбидная ликвация (неоднородность), которая представляет участки неразрушенной эвтектики, вытянутой в направлении деформации. При

наличии карбидной ликвации уменьшается стойкость инструмента, возрастает хрупкость.

В карбидах содержится 80-95 % вольфрама и ванадия, 5 % хрома; остальная часть легирующих элементов растворена в феррите. Массовая доля карбидов в стали Р6М5 достигает 22 %.

Для проведения термической обработки используются соляные печи-ванны. Обезуглероживающую активность соляных ванн рекомендуется проверять методом фольги – по изменению содержания углерода (0,1-0,2) в стальной ленте, нагреваемой в расплавленных солях. Для этой цели берут образец ленты из стали 13Х шириной 30-35 мм и длиной 80-100 мм. Содержание углерода в ленте в состоянии поставки может быть предварительно определено химическим анализом.

Образцы ленты нагревают в ванне при рабочей температуре с выдержкой 1 минуту в высокотемпературной ванне, 10 минут – в среднетемпературной, Затем их охлаждают в воде, дробят в порошок и определяют содержание углерода химическим анализом или на приборе.

Контроль микроструктуры. Величина зерна любой быстрорежущей стали, особенно легированной кобальтом и молибденом, весьма чувствительна к изменению температуры окончательного нагрева и нестабильная в различных плавках. Поэтому температуру окончательного нагрева при закалке каждой плавки любой быстрорежущей стали необходимо контролировать по величине зерна.

Для этой цели перед закалкой партии инструмента проводят пробную закалку 1 штуки инструмента из партии или специального образца, изготовленного из той же плавки, что и инструмент. Далее изготавливают шлиф и определяют величину зерна аустенита по шкале 1, ГОСТ 5639-2015.

Для различных марок быстрорежущей стали в зависимости от вида и режима его обработки допускается своя величина аустенитного зерна, соответствующая, в основном, 10-11 баллу указанной шкалы. Более подробные рекомендации о допустимой

величине зерна для инструмента из быстрорежущей сталей приведены в техническом регламенте на термическую обработку металлорежущего инструмента (ОС2-040-56-88).

В случае отклонений от заданного размера зерна необходимо произвести корректировку температуры и вновь провести пробную закалку.

Контроль твердости производится обычным методом – с помощью твердомера Роквелла и тарированных напильников.

Твердость режущей части инструмента, имеющего ленточки, можно также измерять без разрушения изделий, на ленточке по Виккерсу, с нагрузкой 10 кг в специальных приспособлениях.

Качество отпуска инструмента из быстрорежущей стали проверяют магнитным методом, а при отсутствии магнитных приборов проверяют микроструктуру.

Красностойкость быстрорежущих сталей характеризуется способностью сохранять твердость режущими кромками инструмента в процессе резания.

Красностойкость создается легированием твердого раствора элементами W, Mo, Cr, V в процессе нагрева под закалку. При этом они связывают почти весь углерод в специальные карбиды.

Отпуск при рабочих режимах на красностойкость не влияет. Красностойкость инструмента из быстрорежущей стали определяют путем измерения твердости закаленного инструмента после дополнительного нагрева в течение четырех часов при 620, 640 °С.

Поверхностные дефекты и качество очистки инструмента после термической обработки определяют обычными методами, подробно описанными в типовой технологии металлообрабатывающего инструмента.

Отклонение от прямолинейности проверяется в нескольких точках по длине в плоскости инструментов, имеющих большое отношение длины к диаметру или толщине.

При температуре от 1280 °С до 1300 °С сталь растворяет часть карбидов. Крупные карбиды не растворяются. Нужно опасаться перегрева и пережога. После закалки стали P18 образуется

– 55 % мартенсита, 30 % - аустенита и 15 % - нерастворимых карбидов.

С повышением температуры закалки в аустените увеличивается массовая доля углерода и легирующих элементов, что влечёт увеличение (30 %) остаточного аустенита. Повышение твёрдости при отпуске называется вторичной твёрдостью и она возрастает от 60-62 HRC до 64-65 HRC.

При отпуске выше 600 °С твёрдость может понизиться вследствие распада мартенсита и коагуляции карбидов (рисунок 14). Устойчивость мартенсита в быстрорежущей стали при нагреве до 500-600 °С (против 200 °С у стали У7) объясняется наличием легирующих элементов (W, Cr, V, Mo), которые образуют специальные карбиды.

Скорость резания этими сталями увеличивается в два-три раза по сравнению с углеродистыми.

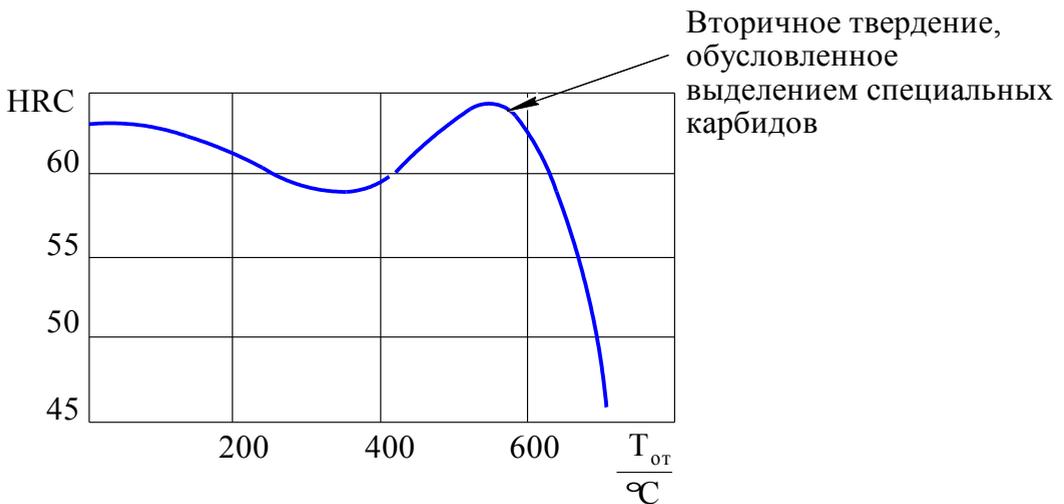


Рисунок 14 – Изменение твёрдости закалённой стали Р6М5 при отпуске

Для стали Р18 характерен нафталиновый излом (хрупкий с крупным зерном), который наблюдается, если:

а) подвергать сталь двойной закалке без промежуточного отжига;

б) заканчивать деформацию при температуре 1000-1100 °С (нужно при температуре ниже 1000 °С). При степени деформации от 30 % до 40 % нафталинистый излом не наблюдается, а при деформации от 1 % до 5 % имеется.

Повышение стойкости инструмента обеспечивают:

- цианированием инструмента;
- обработкой перегретым паром при 550-570 °С (образуется плёнка толщиной от 0,002 до 0,006 мм);
- алмазной доводкой.

Высокие режущие свойства быстрорежущей стали обеспечиваются её закалкой и отпуском, в результате чего образуется структура стойкого мартенсита против распада легированного мартенсита с учётом отпуска при температуре около 600 °С. Для получения такого мартенсита сталь под закалку нагревают до высоких температур. Высокая температура нагрева нужна для того, чтобы перевести в твёрдый раствор (аустенит) возможно большее количество трудно растворимых вторичных карбидов.

Температура нагрева под закалку зависит от марки стали, формы, размеров, назначения, условий работы инструмента и выбирается в пределах от 1160 °С до 1240 °С. Нагрев выше определённой оптимальной температуры (для каждой марки стали) ведёт к значительному росту зерна, образованию сетки карбидов и может даже приводить к оплавлению режущих кромок инструмента.

Нагрев под закалку осуществляют в соляных расплавах для уменьшения окисления и обезуглероживания. Инструмент из быстрорежущей стали подвергают предварительному и затем окончательному нагреву. В первом случае осуществляется постепенный нагрев до температуры 950-1100 °С с выдержкой 12-15 с

на каждый миллиметр толщины сечения изделия. При окончательном нагреве инструмент нагревают до температуры 1240 °С с выдержкой от 8 с до 10 с на каждый миллиметр сечения инструмента.

Повышенная температура и излишнее время выдержки при окончательном нагреве под закалку приводит к образованию крупно игольчатого мартенсита и ледебуритной сетки. Температуру нагрева под закалку нужно тщательно контролировать. Допускается отклонение температуры от оптимальной в пределах ± 5 °С.

Охлаждение стали при закалке до температуры мартенситного превращения должно быть быстрым, чтобы аустенит не успел превратиться в промежуточные структуры. Каждой марке стали соответствует своя скорость охлаждения, при которой аустенит сохраняется до перехода в мартенсит. Эта скорость достигается охлаждением в различных средах: масле, солях, в струе воздуха – для мелкого инструмента. Различные способы и скорости охлаждения следует выбирать также в зависимости от формы и размеров сечения инструмента, так как они главным образом оказывают влияние на величину напряжений и деформаций в закалённом состоянии.

Для нагрева стальных деталей под закалку и отпуск, а также для охлаждения при изотермической закалке в термических цехах применяют расплавленные соли и их смеси, кислоты, щелочи, охлаждающие жидкости.

Для ванн нагрева под закалку используется, как правило, хлористый натрий, хлористый барий, углекислый натрий и другие соли для отпуска селитры и щёлочи [2].

Хлористый натрий, или поваренная соль (NaCl), представляют собой бесцветные кристаллы, хорошо растворимые в воде. Удельный вес и температура плавления хлористого натрия и других солей приведены в таблице 20. Хлористый натрий применя-

ется в расплавленном виде в смеси технических солей для нагрева металла под закалку.

Таблица 20 – Физические свойства солей

Наименование солей	Химическое обозначение	Удельный вес, г/см ³	Температура плавления, °С
Хлористый барий	BaCl ₂	3,86	962
Поваренная соль	NaCl	2,16	800
Безводная бура	Na ₂ B ₄ O ₇	2,37	710
Нитрат натрия	NaNO ₂	2,17	280
Натриевая селитра	NaNO ₃	2,26	308
Калиевая селитра	KNO ₃	2,11	333
Кальцинированная сода	Na ₂ CO ₃	2,53	851
Каустическая сода	NaOH	2,13	318

Наличие пленки солей на поверхности инструментов, извлекаемых из соляных ванн, предохраняет их от воздействия воздуха также и при последующем охлаждении.

Применение щелочей в качестве охлаждающей среды, в сочетании с нагревом в расплавленных солях определенного состава, обеспечивает выполнение светлой закалки.

Составы соляных ванн с интервалом рабочих температур принимали следующие:

- а) 28 % NaCl + 72 % BaCl₂; T_{нагр.} = 795-1235 °С;
- б) 100 % BaCl₂; T = 995-1335 °С;
- в) 50 % KNO₃ + 50 % NaNO₂; T_{нагр.} = 245-535 °С;
- г) Н-495 (25-35 % BaCl₂ + 50-55 % CaCl₂ + 15-20 NaCl).

Для нагрева под закалку и отпуск быстрорежущего инструмента применяют печи-ванны.

Глубина ванны С-35 составляет 420 мм, ток к электродам подается от трансформатора, рабочая температура до 1300 °С. Равномерный нагрев обеспечивается вследствие интенсивной циркуляции расплавленной соли. В результате взаимодействия

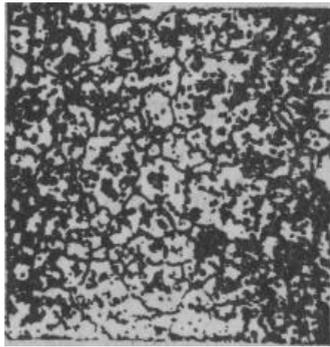
магнитных полей соль расплавляется. Температуру контролируют радиационным пирометром.

При нагреве в солях возможно обезуглероживание при наличии в них растворенного кислорода и оксидов. Поэтому перед работой и в процессе работы периодически ванну раскисляют введением ректификаторов. В качестве ректификаторов применяют буру, 80 % - ный ферросилиций, а для хлористого бария – фтористый магний. При плохо раскисленной ванне нагрева может быть увеличение массы изделий от 0,5 до 1 г на 100 г изделия.

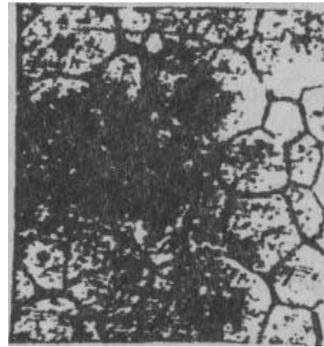
Закалку инструмента рекомендуется проводить в расплаве 60-65 % KNO_3 + 35-40 % NaOH при температуре от 400° С до 450° С с изотермической выдержкой и последующим охлаждением на воздухе. Изотермическую закалку применяют с целью уменьшения деформации инструмента в области мартенситного превращения.

После закалки с оптимальных температур микроструктура стали Р6М5 состоит из мартенсита, карбидов и большого количества остаточного аустенита. На рисунке 15а приведена микроструктура стали Р6М5 после закалки от температуры 1220° С. При травлении плохо выявляется основная структурная составляющая – мартенсит. Он настолько мелко игольчатый ("бесструктурный"), что структура кажется состоящей только из аустенита и карбидов. В действительности после закалки в быстрорежущих сталях содержится примерно 60-70 % мартенсита, 10-15 % карбидов и 25-30 % остаточного аустенита.

Микроструктура быстрорежущей стали, закалённой с температуры выше оптимальной (перегрев), характеризуется значительным ростом зерна, с образованием сетки карбидов (рисунок 15.5б).



а



б

а – нормальный нагрев, закалка от температуры 1220 °С;

б – перегрев, закалка от температуры 1250 °С.

Рисунок 15 – Микроструктура быстрорежущей стали Р6М5 после закалки с различных температур, х 500

Однако перегрев быстрорежущей стали приводит к короблению изделий (рисунок 16).



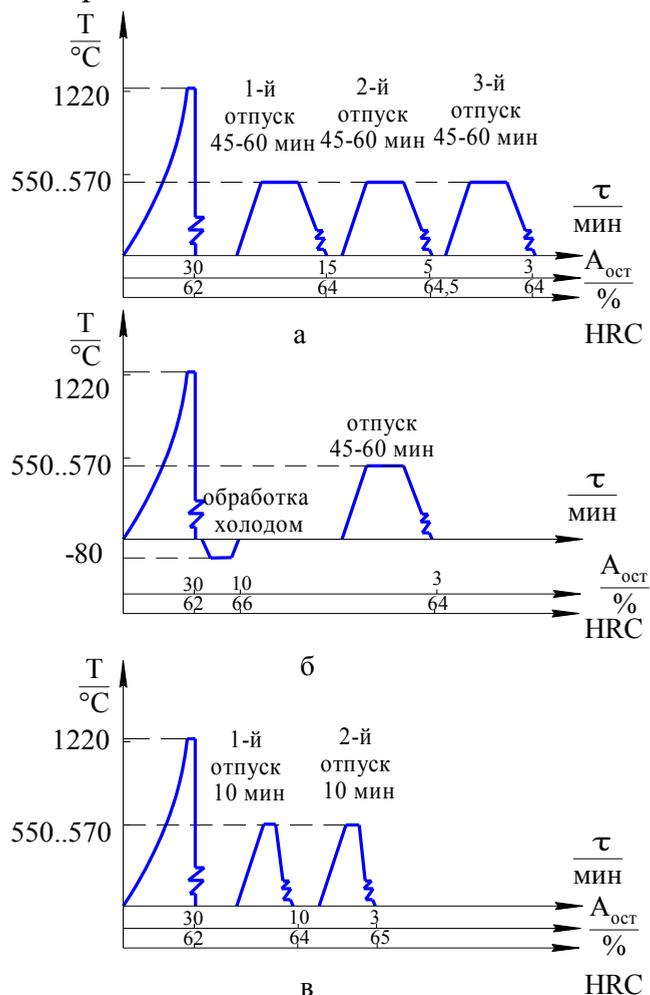
Рисунок 16 – Внешний вид сверла из быстрорежущей стали

Р6М5 после перегрева (1260-1280 °С)

Наличие остаточного аустенита снижает твёрдость, режущие свойства и стабильность размеров инструмента. Для устранения этих явлений инструмент подвергают отпуску. Отпуск не-

обходим для превращения остаточного аустенита в мартенсит и выделения карбидов.

Наиболее полно превращения протекают при трёхкратном отпуске, который проводят при температуре 550-570° С с выдержкой по 1 ч с каждым отпуском (рисунок 17). Вследствие уменьшения остаточного аустенита будет возрастать количество мартенсита и твёрдость стали.



а – стандартный режим; б – с обработкой холодом (по А.П. Гуляеву); в – режим Оренбургского завода свёрл.

Рисунок 17 – Схемы режимов термической обработки быстрорежущих сталей

Наиболее часто применяют традиционный режим (рисунок 17 а), реже – режим термической обработки, предложенный в 1939 г. профессором А.П. Гуляевым (рисунок 17 б).

Так как точка конца мартенситного превращения располагается в области отрицательных температур, то для уменьшения количества остаточного аустенита быстрорежущую сталь непосредственно после закалки обрабатывают холодом при температуре от минус 75 °С до минус 80 °С, при этом значительная часть аустенита переходит в мартенсит, что позволяет ограничиться одним отпуском.

В 70 годах 20 века на Оренбургском заводе свёрл был разработан режим термической обработки свёрл (таблица 21), достоинство которого состоит в том, что в результате повышения температуры отпуска резко сократилась длительность процесса отпуска (см. рисунок 13 в).

Микроструктура быстрорежущей стали Р6М5 после термической обработки показана на рисунке 18.

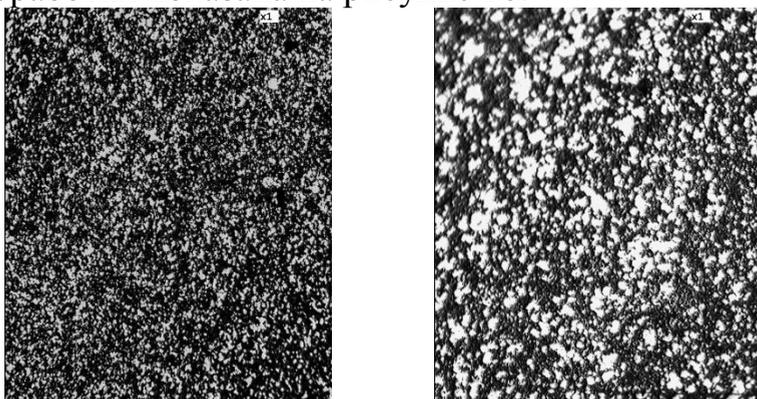


Рисунок 18 – Микроструктура быстрорежущей стали Р6М5 после закалки (а) и закалки и отпуска (б) по режиму Оренбургского завода свёрл, х 500

Таблица 21 – Технология термической обработки свёрл из стали Р6М5 на автоматической линии Оренбургского завода свёрл

Наименование операции	Среда	Температура, °С	Время, мин
Забивка свёрл в кассеты			1
Нагрев под закалку лапок	75 % BaCl ₂ + 25 % NaCl	900-920	1 мин 45 с
Закалка с самоотпуском	Вода проточная	20	2 мин 45 с
Предварительный нагрев под закалку рабочей части	100 % BaCl ₂	1050	1 мин 30 с
Перемещение под окончательный нагрев	–	–	10 с
Окончательный нагрев под закалку рабочей части	100 % BaCl ₂	1220	1 мин 30 с
Закалка рабочей части	Соль Н-495 (состав: 25-35 % BaCl ₂ , 50-55 % CaCl ₂ , 15-20 % NaCl)	600	10
Охлаждение окончательное	Сжатый воздух с водой	До 20	10 мин 30 с
Первый отпуск	Соль Н-495	600	10
Охлаждение	Сжатый воздух с водой	До 20	10
Второй отпуск	Соль Н-495	600	10
Охлаждение	Сжатый воздух с водой	До 20	10
Выварка	Вода	100	10
Травление	Вода + 10 % HCl	100	5
Промывка под душем	Вода	20	5
Выбивка из кассет	–	–	1
Гидрополирование	Электрокорунд, сода кальцинированная, нитрит натрия, вода	20	10
Пассивирование	Вода, NaNO ₂ – 160 г/л, NaOH – 650 г/л	140	10
Примечание – Режимы нагрева приведены для свёрл диаметром 29 мм			

Температурные режимы термической обработки инструментов из быстрорежущих сталей представлены в таблице 22.

Основные типы и размеры спиральных сверл приведены в таблице 23.

Таблица 22 – Температурные режимы термической обработки инструментов из быстрорежущих сталей

Марка стали	Закалка			Отпуск		
	Температура, °С	Твёрдость HRC	Массовая доля аустенита, %	Температура, °С	Число отпусков	Твёрдость HRC
P18	1270-1290	62—64	25	560	3*	63-65
P12	1240-1260	62—64	25	560	3	63-65
P9	1220-1240	62—64	30	560	3	63-65
P6M3	1210-1230	62—64	25	550	2-3	63-65
P6M5	1210-1230	62—64	25	550	2-3	63-65
P9Ф5	1230-1250	62—64	40	570	3	64-66
P14Ф4	1240-1260	62,5—64,5	35	570	3	64-66
P18Ф2	1270-1290	62—64	35	570	3	64-66
P9K10	1220-1240	62,5—64,5	30	570	2-3	64-66
P10K5Ф5	1230-1250	62,5—64,5	35	570	3	64-67
P18K5Ф2	1270-1290	62,5—64,5	30	570	3	64-66
P9M4K8	1220-1240	63—65	35	550	2-3	65-68

* Массовая доля остаточного аустенита после отпуска составляет 2-4 %

Таблица 23 – Основные типы и размеры спиральных сверл с цилиндрическим хвостовиком

Наименование, тип и основные размеры	Эскиз
Сверла спиральные с цилиндрическим хвостовиком. Короткая серия (ГОСТ 4010-77*)- $d = 1,0-20$; $L = 32-130$; $l = 6-65$; средняя серия (ГОСТ 10902-77*)- $d = 0,25-2,0$; $L = 20-205$; $l = 3-140$; длинная серия (ГОСТ 886-77*)- $d = 1,95-20$; $L = 85-255$; $l = 55-165$	
Сверла спиральные цельные твердосплавные укороченные для обработки труднообрабатываемых материалов (ГОСТ 17273-71*) $d = 1,5-6,5$; $L = 35-65$; $l = 5-25$; $d_1 = 4,0-10,0$	

В настоящее время широкое распространение получили сверла с механическим креплением сменных неперетачиваемых пластин (СНП). Существует два вида сверл с СНП. Наиболее распространена схема установки пары ромбических пластинок (рисунок 19), где наружная и внутренняя пластины работают на разных радиусах и поэтому имеют разные скорости резания. Поэтому для наружной пластины выбирают более износостойкую марку твердого сплава, а для центральной – более вязкую и прочную.



Рисунок 19 – Сверла с механическим креплением СНП

1.8.2. Структура и свойства быстрорежущей порошковой стали ASP2030 в исходном состоянии

Изучение микроструктуры стали ASP2030 производилось на электронном микроскопе при увеличении 100, 500, 1500. Химический состав стали ASP2030 представлен в таблице 24. Микроструктура детализировалась путем травления реактивом (4% раствором HNO_3 в спирте, после травления образцы промывались водой и просушивались спиртом).

Таблица 24 – Характеристики марки стали ASP 2030

Элементы	C	Si	Cr	Mn	V	Cr	Mo	W	Fe
Содержание, %	1,17	0,4	6,7	0,4	2,	3,8	4,7	6,0	Остал
	-	5	6	0	7	-		-	.
	1,27					4,5		6,7	

В исходном состоянии сталь ASP2030 имеет перлитную основу с выделениями карбидов Cr, W, V, Mo. Изучение микроструктуры стали произведены на электронном микроскопе, результаты приведены на рисунке 16.

Карбидная ликвация снижает стойкость инструмента и увеличивает его хрупкость. Деформированную сталь для снижения твердости (до 2070-2550 НВ) подвергают изотермическому отжигу.

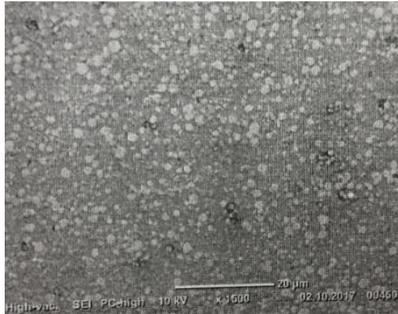
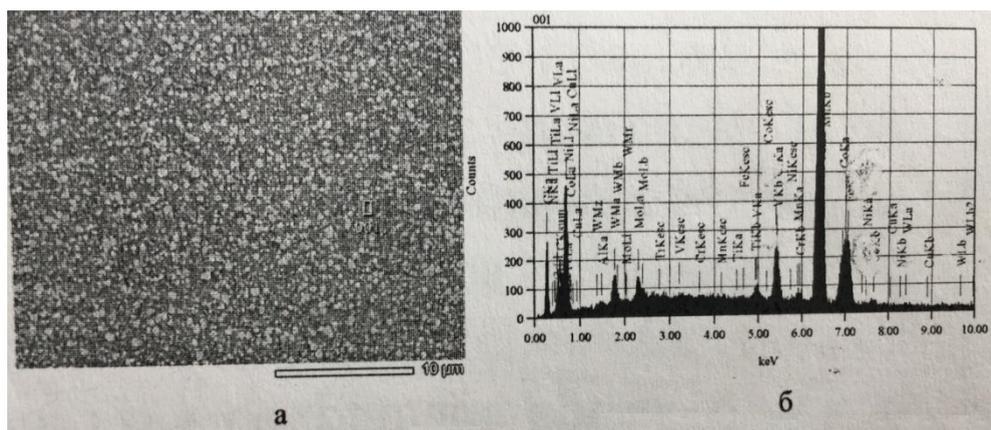


Рисунок 16 – Микроструктура быстрорежущей порошковой стали ASP2030 в исходном состоянии, х 500

Структура отожженных сталей состоит из сорбитообразного перлита, вторичных и более крупных первичных карбидов. Общее количество карбидов в стали составляет 22 %. В карбидах содержится 80-95 % вольфрама и ванадия и 50 % хрома. Остальная часть легирующих элементов растворена в феррите. Микроструктура порошковой быстрорежущей стали ASP2030 представлена на рисунке 20. Более интенсивны линии элементов: W, Mo, Cr, Mn.



а – область химического анализа; б – результат химического анализа

Рисунок 20 – Микроструктура порошковой быстрорежущей стали ASP2030 в отожжённом состоянии с результатами химического анализа, х 1500

Из-за низкой теплопроводности сталь при закалке нагревают медленно с прогревами при 850 °С, применяя соляные ванны для уменьшения окисления и обезуглероживания. Особенность закалки стали ASP2030 – высокая температура нагрева. Она необходима для обеспечения теплостойкости – получение после закалки высоколегированного мартенсита в результате перехода в раствор максимального количества специальных карбидов.

Легирование аустенита происходит при растворении вторичных карбидов. Первичные карбиды не растворяются и тормозят рост зерна аустенита, поэтому, при нагреве близком к температуре плавления в быстрорежущих сталях сохраняется мелкое зерно.

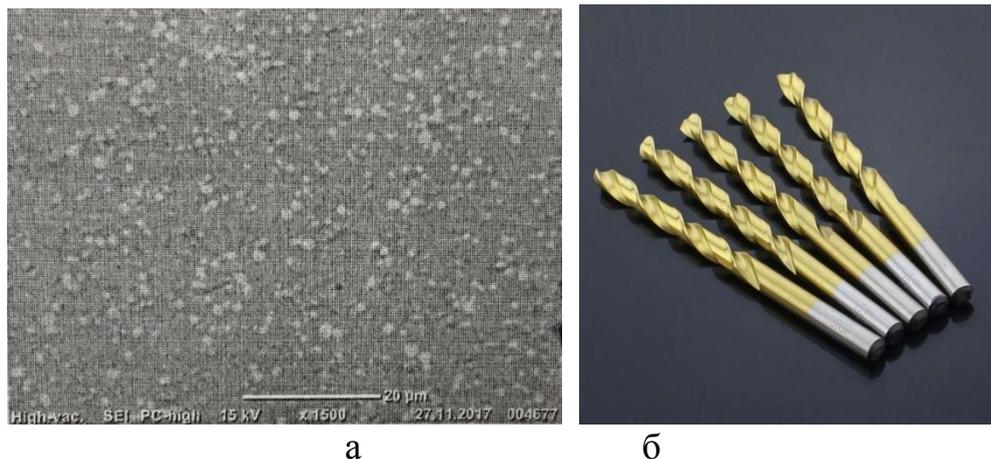
После закалки не достигается максимальная твердость сталей (60-62 HRC, а практически получают 53 HRC), так как в структуре кроме мартенсита и первичных карбидов содержится 30-40 % остаточного аустенита, присутствие которого вызвано снижением температуры точки M_k ниже 0°C. Остаточный аусте-

нит превращают в мартенсит при отпуске или обработке холодом.

Отпуск проводят при температуре 560° С. В процессе отпуска, при выдержки, из мартенсита и остаточного аустенита выделяются дисперсные карбиды M_6C . Аустенит, объединяясь с углеродом и легирующими элементами, становится менее устойчив и при охлаждении ниже точки M_n испытывает мартенситное превращение (то есть аустенит переходит в мартенсит в результате отпуска). Однократного отпуска не достаточно, для перехода всего остаточного аустенита. Применяют двух, трехкратный отпуск с выдержкой по одному часу и охлаждением на воздухе. При этом количество аустенита снижается до 3-5 % (рисунок 20). В результате получаем микроструктуру, состоящую из мартенсита отпуска и карбидов. Микроструктура порошковой быстрорежущей стали ASP2030 в отпущенном состоянии и сверла представлена на рисунке 21. Обозначение марок быстрорежущих сталей в странах приведено в таблице 25.

Таблица 25 – Обозначение марок быстрорежущих сталей в ряде стран

Страна	Марка				
	Россия	P6M5	P18	P6M5K5	P18K5Ф2
Германия	1.3343	1.3355	1.3243	1.3255	S2-10-1-8
США	T11302	T1	T11341	T12004	M30
Япония	SKH51	SKH2	SKH55	SKH3	SKH59
Англия	3343	3355	3243	BT4	BM42



а – микроструктура порошковой быстрорежущей стали ASP2030 в отпущенном состоянии мартенсит отпуска и карбиды, твердость 64-66 HRC; б – сверла из порошковой быстрорежущей стали ASP2030

Рисунок 21 – Микроструктура и внешний вид сверл из порошковой быстрорежущей стали ASP2030

1.8.3 Контроль качества термической обработки инструментов из быстрорежущей стали

Качество инструментов из быстрорежущей стали, подвергнутого термической обработке, обеспечивается строгим соблюдением заданного режима нагрева, выдержки и охлаждения, зависящего от марки стали, типоразмера и технологии изготовления. Надежность поддержания требуемого режима связана с характером оборудования и степенью его автоматизации. В конкретном случае объектом контроля являются нагревательные печи, соляные ванны для нагрева, ванны для отпуска, среды нагрева и охлаждения, ванны для травления. Контролируемыми параметрами для них могут являться температура, химический состав, то есть содержание HCl, NaOH, NaNO₃.

Другими объектами контроля могут быть поковка (заготовка), контрольные образцы или инструмент (изделие). В этом случае к важнейшим параметрам контроля относят твердость, глубину закаленного слоя, микроструктуру, величину биения. Предупреждает обезуглероживание при закалке применение ускоренного способа контроля обезуглероживающей активности соляных ванн с использованием термо ЭДС. Этот способ позволяет в течении 3-4 мин получить заключение о каждой из работающих соляных ванн и при необходимости ввести соответствующий ректификатор, например, фтористый магний (0,6-0,8 %), ферросилиций (0,35-0,5 %) или буру (0,6-0,8 %).

Метод пробных закалок при термообработке используют для оценки размера аустенитного зерна, особенно для инструментов из стали Р6М5 или другой быстрорежущей стали с содержанием вольфрама до 6 %. Это объясняется более узким интервалом закалочных температур, чем у применявшихся ранее сталей Р18 или Р14. Одним из способов ускоренного контроля теплостойкости заключается в дополнительном нагреве закаленных образцов при температуре 675 °С в течение 20 мин. Данный метод позволяет оценить теплостойкость непосредственно в процессе закалки и, следовательно, изменить в случае необходимости ее режим.

Рассмотрим технологический регламент наиболее распространенных методов контроля качества термообработки конечного инструмента. До выполнения предварительной термической обработки контролю подвергается металл в состоянии поставки. В ходе проверки поставленной быстрорежущей стали (в виде серебрянки, калиброванной и горячекатаной) проверяют наличие клейм на прутках, соответствие марок сталей пробой на стилоскопе или «по искре». Контролируется наличие поверхностных дефектов, соответствие твердости.

Контролируемым параметром при отжиге поковок и сварных заготовок является температура нагрева. Она составляет 850-880 °С при времени нагрева 20 мин на 1 мм толщины. Время выдержки при температуре нагрева составляет 3-4 ч. выгрузка из

печи осуществляется при температуре не выше 550-600 °С. Охлаждение до этой температуры непрерывное со скоростью не более 30 °С/ч.

Твердость отожженной стали для марки Р6М5 не должна превышать 255 НВ; для марок Р9К5, Р12Ф3, Р6М5К5, Р9К10 – 269 НВ; для марок Р18К5Ф2, Р9М4К8, Р9К5Ф3 – 285 НВ. Для сварных заготовок контроль твердости следует проводить в зоне сварки. Биение сварных заготовок не должно превышать 0,5 мм. Измеряют его биениметром после центрирования заготовок.

При предварительной термообработке сверл, изготавливаемых методами пластической деформации, контролируется температура соляных ванн, используемых для высокого отпуска (770 °С), с точностью регулирования температуры +10 °С, или температура печи для ускоренного отжига (820 °С) с изотермической выдержкой при 770 °С продолжительностью 3-4 ч. Контролируемым параметром является также твердость заготовок, которая не должна превышать 35 HRC при высоком отпуске и 25 HRC при ускоренном отжиге.

При закалке инструментов объектами контроля являются соляные ванны для подогрева и окончательного нагрева, контрольные образцы, закаленные инструменты. Режим, среда нагрева и охлаждения, выдержки принимаются в соответствии с материалом и типоразмерами инструмента. При закалке в многоместных приспособлениях расстояние между инструментами должно обеспечивать свободное омывание расплавами и растворами.

Контролируемым параметром является температура ванн. Она измеряется радиационными пирометрами или приборами автоматического регулирования с диапазоном 700...1400 °С и точностью +10 °С (типа КСП-3, КСП-4). Время выдержки оценивается с помощью реле времени или автоматических часов, имеющих точность +0,5 с. Контрольные образцы проверяются с помощью металлографического микроскопа (после закалки по заданному режиму), на балл зерна аустенита. Величина его для сверл с цилиндрическим хвостовиком должна составлять 11-12, для

сверл и зенкоров с коническим хвостовиком 9-11, для разверток и хвостовых фрез 10-11 баллов.

В контрольном образце или изделии из быстрорежущей стали определяется теплостойкость, зависящая от марки стали.

Отпуск закаленного инструмента при крупносерийном и серийном производстве следует производить на автоматических линиях или полуавтоматических агрегатах, при мелкосерийном и единичном производствах – в ваннах. При использовании автоматических линий допускается применение кратковременного отпуска при температуре 580-620 °С и выдержкой 10 мин. Контроль температуры ванн осуществляется с помощью термопар и приборов автоматического контроля, обеспечивающих точность регулирования +5 °С. Качество отпуска при контроле изделия (инструмента) определяется с помощью твердомера, магнитного аустенометра, металлографических микроскопов.

Значение твердости после закалки и отпуска должно быть для инструментов из стали Р6М5, Р6МФ3, Р12Ф3, Р18КФ2, Р9К5, Р9К10 не менее 63 HRC; из стали Р10К5Ф5, Р9М4К8, Р6М5К5 – не менее 64 HRC. Развертки, изготавливаемые из стали 9ХС, должны иметь твердость рабочей части 61-63 HRC при диаметре менее 8 мм и 64 HRC при диаметре свыше 8 мм.

Твердость рабочей части разверток из быстрорежущей стали должна обеспечивать твердость не менее 58 HRC, после отпуска в течение 4 ч при температуре 620 °С для инструментов из стали Р6М5; 630 °С – из стали Р6М5Ф3, Р12Ф3, Р9К5, Р6М5К5, Р9М4К8 и 640 °С – из стали, Р18КФ2, Р10К5Ф5, Р9К10.

Инструмент, деформирующийся в процессе термической обработки, должен подвергаться правке. Осуществляется она при крупносерийном производстве с помощью автоматизированных правильных машин, при мелкосерийном и единичном производстве – с помощью механических и ручных прессов. Контролируемым параметром является биение инструмента, имеющего на торцах центровочные отверстия. Контроль производится с помощью прибора для проверки биение в центрах. Нормы радиально-

го биения определяются типом и размерами инструментов (табл. 6.4).

Таблица 26 – Величина радиального биения инструментов в зависимости от его диаметра

Инструмент	Диаметр, мм	Допуск на биение, мм (не более)
Сверла с цилиндрическим хвостовиком	3...10	0,04...0,08
Сверла и зенкеры с коническим хвостовиком	От 3 до 10 Св.10	0,08...0,12 0,12...0,16
Развертки	3...10	0,006...0,016
Фрезы концевые	10...20 20...50	0,10 0,15

Примечание. На сверлах диаметром 1...3 мм вместо контроля биения контролируется кривизна, она составляет не более 0,03...0,04 мм.

1.8.4 Исследование режущих свойств

С целью установления влияния метода термической обработки на стойкость сверл из стали Р6М5 диаметром 8,5; 14,5; 21,25 и 29,5 мм, изготовленных на Оренбургском заводе сверл, были проведены исследования их режущих свойств. В каждой партии принималось 15-25 сверл. После термообработки определялись: твердость, балл зерна, количество остаточного аустенита

и микроструктура. Стойкостные испытания проводились на вертикально-сверлильных станках моделей 2А125 и 2А135.

Закрепление сверл в шпинделе станка осуществлялось с помощью патрона повышенной точности, а затем проверялось индикатором часового типа с ценой деления 0,01мм. Биение испытуемых сверл не превышало допуска по ГОСТ 2034-80.

Сверлению подвергались заготовки из стали 45 (ГОСТ 1050-88, имеющий сертификат, нормализованной до твердости 187-217 НВ). Заготовки вырезались из штанг сечением 40х40, 80х80 и 100х100 мм. Разброс твердости в партии заготовок, отобранных для испытаний, не превышал 10 единиц по НВ. Поверхность заготовок подвергалась фрезерованию до параметра шероховатости $R=20$, с допустимой непараллельностью сторон не более 0,2 мм на 100 мм.

Режим резания в зависимости от диаметра сверл принимался следующим: скорость 25,4-29,6 м/мин, подача 0,4-0,43 мм/об. В качестве СОЖ использовался 5 % раствор эмульсии с расходом 6-8 л/мин. Обрабатывались глухие отверстия на глубину, равную трем диаметрам сверла.

Сверла испытывались до принятого критерия износа по h_3 , величина которого принималась в зависимости от их диаметра в пределах от 0,5 до 2 мм. Часть сверл (четыре партии по пять в каждой) диаметром 8,5 и 14,5 мм с термообработкой на автоматической линии и по рекомендации испытывались до полной потери режущей способности.

Износ режущих кромок сверл фиксировался по задней и передней поверхности, по ленточным и в зоне поперечной кромки. Износ измерялся инструментальным микроскопом после каждых 20-50 просверленных отверстий. Анализ характера износа режущих кромок сверл с термообработкой показывает, что эти сверла сохраняют режущую способность кромок при величине износа их, значительно превышающего установленный нормативами.

Исследование шероховатости поверхности (отверстия) производилось на образцах-сегментах, вырезанных из стальных

заготовок. Высота неровностей определялась с помощью профилографофилометра.

2. Штамповые стали

2.1 Штамповые стали для холодного деформирования

По условиям работы штамповые стали можно разделить на четыре группы:

- 1) высокой и повышенной износостойкости;
- 2) высокого сопротивления смятию и высокой теплостойкости;
- 3) высокопрочные с повышенной ударной вязкостью;
- 4) для ударных инструментов.

Для штампов простой формы (первая группа) для гибки, вытяжки, формовки, работающих при небольших удельных давлениях и поэтому не разогревающихся, рекомендуются стали общего назначения: инструментальные углеродистые У7, У8, У9, У10, У11, У12, У13 и У7А, У8А, У9А, У10А, У11А, У12А, У13А для штампов небольших размеров (углеродистые стали имеют низкую прокаливаемость), а для более крупных штампов низколегированные 8ХФ, 9ХФ, 11ХФ, ХВ4, 9ХС, ХГС, 9ХВГ, ХВГ, ХВСГ. Высокая твердость, прочность и износостойкость штампов из этих сталей достигаются высоким содержанием в них углерода и закалка на мартенсит с последующим низким отпусканием на структуру мартенсит отпуска (и вторичного цемента, легированного для легированных сталей).

Для штампов сложной конфигурации (вторая группа), работающих в условиях повышенного износа и значительных удельных давлениях (до 1400-1600 МПа), но при небольшом

разогреве рабочих частей (до 80-100°C), к которым относятся штампы прецизионной вырубki и пробивки, некоторые виды вытяжных и формовочных штампов, рекомендуются штамповые стали холодного деформирования, а также быстрорежущие стали, графитизируемые стали, твердые сплавы и другие материалы.

Для ударных инструментов используют стали 4ХС, 6ХС, 4ХВ2С, 5ХВ2С, 6ХВ2С, 6ХЗФС, 6ХВГ. Это стали эвтектоидные и заэвтектоидные, содержащие от 0,4 до 0,6 % углерода, легированные хромом, марганцем, кремнием, и вольфрамом. Они характеризуются повышенной вязкостью, высокой прокаливаемостью, и закаливаемостью. Для получения высокой прокаливаемости рекомендуется закалка (с 860-900 °С в масло) и отпуск на твердость 44-58 HRC (240-470 °С). Структура после такой термической обработки мартенсит отпуска либо тростомартенсит. Применение изотермической закалки способствует возрастанию почти в два раза ударной вязкости и уменьшению деформации термообработанного инструмента. В ряде случаев для ударных инструментов целесообразно применение штамповых сталей горячего деформирования типа 5Х2МАФ (ДИ 32), 4Х5МФС, 4Х4ВМФС (ДИ 22), которые после закалки и отпуска при 200-550 °С обеспечивают получение удовлетворительных значений твердости (52-56 HRC) в сочетании с повышенной ударной вязкостью (KCU=30-50 Дж/см²). Для повышения износостойкости штампы из этих сталей подвергают химико-термической обработке (азотирование, нитроцементация), обеспечивающей значительное возрастание поверхностной твердости без заметного снижения сопротивления хрупкому разрушению.

Штамповые стали холодного деформирования подразделяются на три подгруппы:

а) высокохромистые повышенной износостойкости Х12, Х12М, Х12ВМ, Х12Ф1, Х6ВФ, 8Х6МФТ, 9Х5ВФ, 6Х4М2Ф (ДИ 55);

б) экономно легированные с повышенной ударной вязкостью 7ХГ2ВМ, 7ХЗВМФС, (ДИ 18), 7ХГНМ (ДИ 56);

в) высокопрочные комплексно легированные повышенной теплостойкости 8Х4В3М3Ф2 (ЭП 570), 8Х4В2С2МФ (ЭП 761), 6Х6В3МФС (ЭП 569), 6Х4М2ФС (ДИ 55), Х5С4В2Ф2НМ (ДИ 57), 11Х4В2МФ3С2 (ДИ 37).

Стали первых двух подгрупп рекомендуются для штампов второй группы.

Для штампов (третья группа), работающих в условиях высоких удельных давлений (до 2200-2500 МПа) и значительного разогрева (до 270-300 °С) без охлаждения и (до 120-180 °С) при охлаждении маслом (штампы объемной штамповки, прессования, высадки, редуцирования, калибровки, чеканки, а также обрезных штампов для вырубки, пробивки, просечки) используют штамповые стали третьей подгруппы, быстрорежущие стали и спеченные твердые сплавы.

Инструмент для деформации металла в холодном состоянии должен иметь твердость 58-60 HRC. Для штампов небольших размеров применяют У10 - У12 - стали малой прокаливаемости; ШХ15 - для более крупных штампов. Для инструмента ударного действия в холодном состоянии применяют стали 4ХС, 6ХС, 4ХВ2С, 5ХВ2СФ, 6ХВ2С: С = 0,55-0,65 % С, W = 2,2-2,7 %, Cr = 1,0-1,3 %, Si = 0,5 - 0,8 %, Mn = 0,15 – 0,45 %.

Температура закалки - 860 °С - 900 °С в масле, отпуск 240-270 °С. Твёрдость 53-55 HRC. Условия работы инструмента определяют выбор режимов термической обработки сталей. Во избежание возникновения чрезмерных термических напряжений из-за низкой теплопроводности сталей перед окончательным нагревом под закалку рекомендуется одноступенчатый (при 650-700 °С) или двухступенчатый нагрев (при 300-400 °С + 800-860 °С).

Инструменты холодного деформирования, работающие в условиях значительного изнашивания, изготавливают преимуще-

ственно из сталей с 12 % хрома - X12ВМФ, X12, X12Ф1, X12МФ. Используют также стали с 6 % хрома - X6Ф4М и X6ВФ.

Штампы для работы с небольшим нагревом.

Стали X12, X12Ф1, X6ВФ, X12МФ - C = 1,45-1,65 %, Cr = 11,0-12,5 %, Mo = 0,40-0,60 %; V = 0,15-0,30 %. Эти стали относятся к ледебуритной группе.

Термическую обработку таких марок сталей проводят:

а) на первичную твёрдость. Температура закалки – 1170 °С в масло, отпуск – 150-180 °С. Твёрдость 62-65 HRC.

б) на вторичную твёрдость. Температура закалки – 1140-1160° С, охлаждение в соли при 400-450 °С. Многократный (три-четыре раза) отпуск – 510-520 °С. Твёрдость 45-50 HRC.

в) на минимальную деформацию. Температура закалки – 1080-1100° С. Закалка при температуре – 400-475° С и далее на воздухе. Затем (один-три раза) отпуск при температуре – 475-500 °С.

Стали с высоким сопротивлением смятию и высокой теплостойкостью – 8X4B2MΦC2 и 11X4B2MΦ3C2.

6X4M2ΦC, 6X6B3MΦC и 7XГ2ВМФ – высокопрочные стали с повышенной ударной вязкостью.

Марки сталей для прессового инструмента, работающего при 600° С – 4X5B2ΦC, 9XC, P11, реже P18. Температура закалки – 1100° С, отпуск 550 – 600 °С. Твёрдость – 40-45 HRC.

Инструменты холодного деформирования, работающие в условиях динамического нагружения с изнашиванием или смятием, но без высоких давлений, изготавливают из сталей 4XC, 6XC, 5XB2CΦ, 6XBГ, 6X3MΦC.

2.2 Штамповые стали для горячего деформирования

Чтобы обеспечить необходимую стойкость инструмента, штамповые стали для горячего деформирования должны иметь:

- 1) теплостойкость, обеспечивающую необходимое сопротивление пластической деформации;
- 2) вязкость, особенно при работе с динамическими нагрузками;
- 3) износостойкость;
- 4) разгаростойкость;
- 5) окалиностойкость, определяющую скорость окислительного изнашивания, особенно выше 600 °С;
- 6) прокаливаемость для достижения равнопрочности по сечению.

Способность металла сопротивляться окислению при высоких температурах называется окалиностойкостью. Сохранение твёрдости при высоких температурах называется теплостойкостью, или красностойкостью.

Термостойкость, или разгаростойкость – это сопротивление термической усталости. Она связана с циклическим нагревом и охлаждением штампов.

По условиям работы и уровню основных свойств рассматриваемые стали можно разделить на четыре группы:

- умеренной теплостойкости и повышенной вязкости – стали 5ХНМ, 5ХНВ, 5ХНВС, 4ХМФС, 5Х2МНФ;
- повышенной теплостойкости и вязкости – стали 4Х5МФС, 4Х5МФ1С, 4Х5В2ФС, 4Х3ВМФ, 3Х3М3Ф, 4Х4ВМФС;
- высокой теплостойкости – стали – 4Х2В5МФ,

5ХЗВЗМФС;

- нетеплостойкие стали повышенной вязкости – 7ХЗ, 8ХЗ, применяют для инструмента горячей высадки крепежа и заготовок из углеродистых и низколегированных сталей.

Марки сталей для молотовых штампов – 5ХНМ, 5ХНВ, 5ХНВС, 4ХМФС и др. (таблица 27). На рисунке 22 показаны графики, иллюстрирующие свойства стали 5ХНМ при различных температурах отпуска.

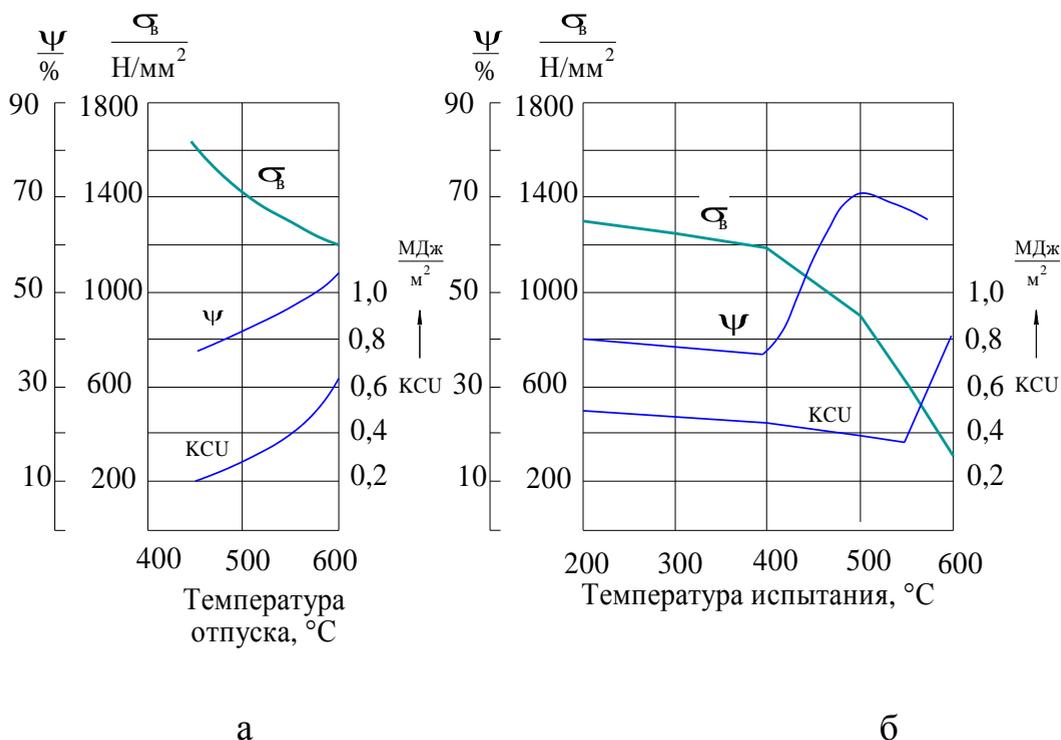
Таблица 27 – Марки и химический состав стали для молотовых штампов (ГОСТ 5950-2000)

Марка стали	Содержание, %							
	C	Mn	Si	Cr	Ni	Mo	W	V
5ХНМ	0,50-0,60	0,50-0,80	0,10-0,40	0,50-0,80	1,40-1,80	0,15-0,30		
5ХНВС	0,50-0,60	0,30-0,60	0,60-0,90	1,30-1,60	0,80-1,20		0,40-0,70	
5ХНВ	0,50-0,60	0,50-0,80	0,10-0,40	0,50-0,80	1,40-1,80		0,40-0,70	
4ХМФС	0,37-0,45	0,50-0,80	0,50-0,80	1,50-1,80	-	0,90-1,20	-	0,30-0,50

Из приведенного графика следует, что прочность снижается с повышением температуры отпуска, а пластичность и вязкость возрастают; повышение температуры испытания влияет в том же направлении (рисунок 22).

Как видно из таблицы 27, стали марки 5ХНМ содержат 0,5-0,6 % С. Такая массовая доля углерода обеспечивает достаточно высокую вязкость, хром повышает прочность и прокаливаемость, никель повышает вязкость и прокаливаемость, вольфрам и молибден повышают так называемую горячую твёрдость и измельчают зерно.

Для уменьшения коробления при нагреве (особенно в соляных ваннах) применяют промежуточный нагрев однократный при 650-690 °С или 840 -870 °С и двукратный – в обеих температурах интервалах. При медленном нагреве под закалку (в ящиках с защитным материалом) промежуточный нагрев не обязателен. Сталь Х12Ф1 по структурному признаку является сталью ледебуритного класса, то есть содержит в литом состоянии карбидную эвтектику. Для измельчения карбидной эвтектики и снижения балла карбидной неоднородности стали ледебуритного класса перед отжигом обязательно куят в интервале температур 850-1100 °С.



а – от температуры отпуска; б – от температуры испытания.
 Рисунок 22 – Свойства стали 5ХНМ в зависимости от температуры отпуска и температуры испытания [23]

В процессековки карбидная эвтектика дробится и более равномерно распределяется по структуре (рисунок 23), но сохраняется карбидная неоднородность. Послековки подвергаем заготовку из стали X12Ф1 изотермическому отжигу. Отжиг применяется с целью снятия внутренних напряжений, улучшения обрабатываемости резанием, получения мелкозернистой равномерной структуры стали для последующей качественной закалки инструмента, исправления дефектной структуры легированных сталей. Предварительная термическая обработка проводится с целью получения оптимального состава и свойств стали в исходном состоянии.



Рисунок 23 – Микроструктура стали X12Ф1 (перед отжигом ковка в интервале температур 850-1100°С), х 500

Стойкость штампового инструмента зависит от правильности выбора и качества выполнения термической обработки (таблица 28). Оборудование и режим термической обработки круп-

ных штампов и сменного штампового инструмента малых и средних размеров различны.

Таблица 28 – Режим окончательной термической обработки штамповых сталей

Марка стали	Содержание углерода, %	Температура закали, °С	Охлаждающая среда	Температура отпуска, °С	Твердость HRC, не менее	Назначение
Стали для штампов холодной обработки давлением						
X12	2,00-2,20	960-980	Масло	180 ± 10	62	Гибочные и формовочные штампы сложной формы, матрицы и пуансоны вырубных и просечных штампов
X6ВФ	1,05-1,15	980-1000	Масло, щелочь, селитра То же	160 ± 10 290 ± 10	62 58	Матрицы и пуансоны холодного прессования; резьбо- и зубонакатный инструмент
Стали для штампов горячей обработки давлением умеренной теплостойкости и повышенной вязкости						
5ХНМ	0,50-0,60	840-860	Масло То же	550 ± 10 500 ± 10	40 42	Молотовые и прессовые штампы, штампы машинной скоростной штамповки
5ХНВ	0,50-0,60	840-860	Масло	500 ± 10	42	Молотовые штампы
Повышенной теплостойкости и вязкости						
4Х5В2ФС	0,35-0,45	1030-1050	Масло или воздух	1-й отпуск 560-580 2-й отпуск 530-540	47-49	Молотовые и прессовые вставки; инструмент для высадки заготовок из легированных конструкционных и жаропрочных материалов на ГКМ; пресс-формы литья под давлением алюминиевых, магниевых и цинковых сплавов
Высокой теплостойкости						
4Х2В5МФ	0,30-0,40	1060-1080	Масло	610-630 630-640	45-49 42-45	Тяжелонагруженный прессовый инструмент; инструмент для высадки на ГКМ

3 Твёрдые сплавы

В нашей стране промышленное производство твёрдых сплавов было начато на Московском электрозаводе в 1929 г. выпуском вольфрамокобальтового твёрдого сплава марки ВК10 («Победит»).

Они обладают высокой твёрдостью (80-92 НРС в зависимости от состава), теплостойкостью (до 900-1000° С), износостойкостью. Находят широкое применение для изготовления режущего инструмента. По своим эксплуатационным свойствам они превосходят инструменты из быстрорежущей стали и их применяют для обработки резанием с высокими скоростями. Недостатки – сложность изготовления фасонных изделий, низкая прочность и высокая хрупкость.

Твёрдые сплавы разделены на четыре группы: вольфрамовые (ВК), титановольфрамовые (ТК), титанотанталовольфрамовые (ТТК) и безвольфрамовые (таблица 29).

Таблица 29 – Твёрдые инструментальные сплавы

Вид материала	Разновидность	Обозначение	Расшифровка
Твердый сплав (ГОСТ 3882-74)	Однокарбидный	ВК6, ВК8, ВК10	Цифра обозначает процентное содержание кобальта, остальное карбиды вольфрама
	Двухкарбидный	T15K6, T14K8	Первая цифра обозначает процентное содержание карбидов титана, вторая – кобальта, остальное – карбиды вольфрама
	Трёхкарбидный	ТТ7К12, ТТ20К9	Первая цифра обозначает суммарное содержание карбидов титана и тантала
	Безвольфрамовый	КНТ16, ТН20	Сплавы с никелемолибденовой связкой

К группе ВК относят однокарбидные твёрдые сплавы, состоящие из карбида вольфрама и из кобальта – ВК3, ВК4, ВК6, ВК8, ВК10, ВК15, ВК20, ВК25. Вольфрамовые сплавы маркируют буквами ВК и цифрой, указывающей массовую долю кобальта, в процентах, например, сплав ВК6 содержит 6 % кобальта, остальное (94 %) – карбид вольфрама. Буква М в марке сплава обозначает, что сплав мелкозернистый (ВК6-М), буква К – крупнозернистый (ВК20-К), буква В указывает, что изделия спекали в атмосфере водорода (ВК6-В). Чем больше кобальта в твёрдом сплаве, тем выше прочность, но ниже твёрдость и износостойкость. Теплостойкость сплавов группы ТК – до 800 °С. Для сплава ВК8, например, предел прочности при изгибе $\sigma_u = 1717 \text{ Н/мм}^2$, твёрдость 87,5 НРА, а для сплава ВК25: $\sigma_u = 2452 \text{ Н/мм}^2$, 83 НРА.

Сплавы ВК3 - ВК9 применяют для режущих инструментов при обработке материалов, дающих прерывистую стружку; сплавы ВК10, ВК15 используют для волоочильных и буровых инструментов; сплавы ВК20, ВК25 применяют для изготовления штамповых инструментов (таблица 30).

Титановольфрамовые твёрдые сплавы маркируют буквами Т и К, а также цифрами, стоящими после каждой буквы, цифры, которые указывают в процентах соответственно массовую долю карбида титана и кобальта. Так, сплав Т15К6 содержит 15 % карбида титана, 6 % кобальта, остальное – карбид вольфрама. Теплостойкость сплавов группы ТК – до 900-1000° С. К группе ТК относят двухкарбидные твёрдые сплавы, состоящие из карбида титана, карбида вольфрама и из кобальта – Т30К4, Т15К6, Т5К10..

Титанотанталовольфрамовые сплавы маркируют буквами ТТК и цифрами: ТТ7К12 – карбидов титана и тантала (в сумме) – 7 %, кобальта 12 %, остальное – карбид вольфрама. Теплостойкость сплавов группы ТТК – до 1000° С.

Таблица 30 – Состав, основные свойства и применение твёрдых сплавов

Группа	Марка	Массовая доля компонентов, %				Физико-механические свойства		Плотность кг·10 ³ /м ³	Примечание
		WC	TiC	TaC	Co	$\sigma_{изг}$, Н/мм ²	HRA, не менее		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Вольфрамовая	ВК6	94	-	-	6	1550	88,5	14,6-15,0	Черновая обработка чугуна, цветных металлов, танталовых сплавов, нержавеющей сталей
	ВК8	92	-	-	8	1700	87,5	14,4-14,8	Черновая обработка чугуна, цветных металлов, жаропрочных сталей, волочение стали
	ВК10	90	-	-	10	1800	87	14,2-14,6	Волочение сталей, быстроизнашивающиеся детали
	ВК15	85	-	-	15	1900	86	13,9-14,1	Быстроизнашивающиеся детали машин, бурение крепких горных пород, волочение сталей, штамповый инструмент
	ВК25	75	-	-	25	2150	83	12,9-13,5	Быстроизнашивающиеся детали, штамповый инструмент, работающий при больших ударных нагрузках

Продолжение таблицы 30

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Титановоль- фрамовая	T15K6	79	15	-	6	1200	90	11-11,6	Черновое и получистовое точение, фрезерование углеродистых и легированных сталей.
	T5K10	85	5	-	10	1450	88,5	12,4-13,1	Чистовое точение, строгание, черновая обработка поковок, штампованных заготовок, стальных отливок
	T30K4	66	30	-	4	1000	92	9,5-9,8	Тонкое точение закалённых сталей
Титанотантало- вольфрамовая	ТТ7К12	81	4	3	12	1650	87	13-13,3	Тяжёлое черновое точение стальных заготовок
	ТТ10К7	82	3	7	8	1450	89	13,5-13,8	Черновое и получистовое точение труднообрабатываемых материалов
Безвольфрамовая	КНТ16	74 % TiC, 19,5 % Ni			6,5 % Mo	1200	89-90	5,8	Черновое и получистовое точение углеродистых и легированных сталей, цветных металлов
	ТН20	79 % TiC			6 % Mo	1100	89	5,8	

Безвольфрамовые твёрдые сплавы отличаются высокой окалиностойкостью, отсутствием дефицитного вольфрама, вдвое меньшей плотностью по сравнению со сплавами группы ВК, однако уступают им по прочности, ударной вязкости и теплопроводности.

Безвольфрамовые твёрдые сплавы:

- карбидтитановые ТН20 и др. (сплавы ТН-20, ТН-30, ТН-40);
- карбиднитридтитановые КНТ16 и др. (КНТ16 и др.).

Безвольфрамовые твёрдые сплавы на основе карбида и карбонитрида титана КНТ16 (25-45 % TiC, 25-45 % TiN, 30-35 % Ni - Mo), ТН20 (70-80 % TiC, 20-40 % Ni - Mo) и др. отличаются высокой окалиностойкостью, отсутствием дефицитного вольфрама, вдвое меньшей плотностью, по сравнению со сплавами группы ВК, однако уступают им по прочности, ударной вязкости и теплопроводности.

При обработке сталей используют сплавы группы ТК, а чугунов – группы ВК. Сплавы группы ТТК более универсальные, их применяют для обработки сталей и чугунов при наиболее тяжёлых условиях резания (черновая обработка слитков, отливок, поковок). Безвольфрамовые твёрдые сплавы рационально использовать при получистой и чистовой обработке углеродистых сталей и цветных металлов.

Типовая технологическая схема производства спечённых твёрдых сплавов группы ТК предусматривает получение порошков вольфрама, соответствующих карбидов и кобальта; а также приготовление смеси карбидов с кобальтом, прессование заготовок из смесей и последующее спекание (рисунок 23).

Приготовление твердосплавных смесей, состоящих из порошков карбидов и металлов, обычно сочетается с измельчением исходных порошков. В практике наиболее распространено механическое смешивание порошков в шаровых вращающихся мельницах. Шаровые мельницы, используемые при размоле, представляют собой стальной барабан, футерованный твёрдым сплавом. Размер твердосплавных шаров от 6 мм до 18 мм. Интенсивность размола повышается с увеличением диаметра шаровой мельницы, а также с уменьшением диаметра размольных шаров, что благоприятно сказывается на свойствах спечённых твёрдых сплавов. Длительность размола составляет 24, 48, а иногда и 120 ч. Такое смешивание (совместный размол) можно проводить в газовой атмосфере (воздух, инертный газ), в вакууме или жидкой среде (этиловый спирт, циклогексан в количестве 220 г/кг смеси сплавов ВК и 500 г/кг смеси при размоле сплавов на основе карбида титана). Мокрый размол предпочтителен, так как обеспечивает лучшее распределение кобальта между карбидными частицами. Условия размола (смешивания) порошков существенно влияют на конечные свойства спечённого твёрдого сплава.

В дальнейшем смесь процеживают через сито и подвергают сушке при температуре 80 °С в вакуумных сушильных шкафах для удаления спирта. Высушенные смеси протирают через сито.

Для улучшения условий прессования, устранения расслоения и повышения прочности прессовок в твердосплавную смесь вводят пластификатор – раствор синтетического каучука в бензине. Эти растворы добавляют к порошковой смеси из расчёта массовой доли добавки 1-1,25 % после испарения бензина. В зарубежной практике в качестве пластификаторов используют парафин, а также полиэтилен-гликоль, вводимый в смесь в процессе размола.

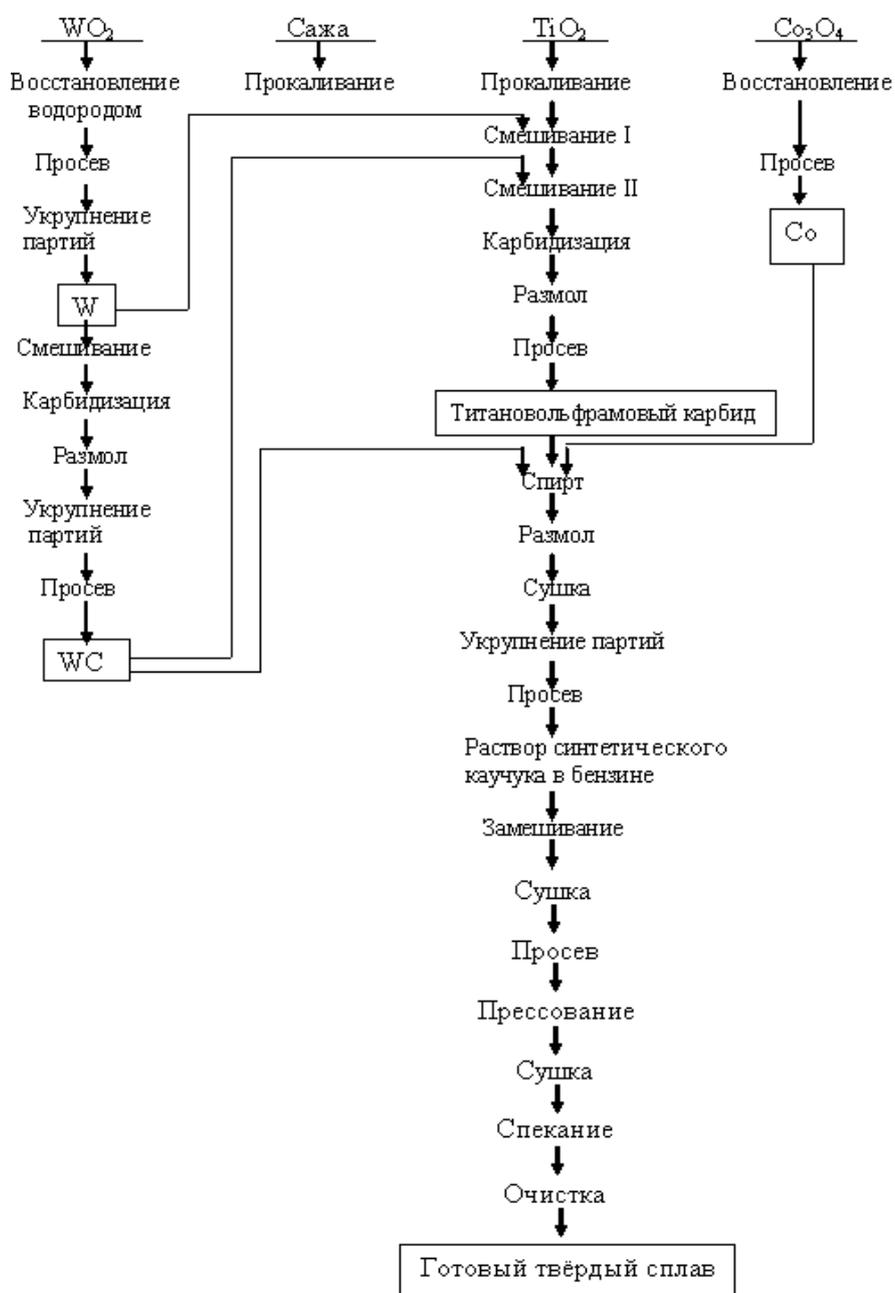


Рисунок 23 – Технологическая схема изготовления твёрдых сплавов типа ТК

При прессовании в пресс-формах давление ограничивают значением 130 МПа, так как при более высоких давлениях возникает опасность появления расслоенных трещин. Качество прессовок заметно улучшается с повышением времени выдержки под давлением, особенно для крупногабаритных изделий, однако излишне большие выдержки резко снижают производительность прессования. Твердосплавные заготовки затем подвергаются сушке при 150-200 °С.

Твердосплавные заготовки спекают исключительно в присутствии жидкой фазы. Это обуславливает необходимость применения высоких температур и достаточно длительных выдержек. Спекание заготовок твёрдых сплавов проводят, как правило, в две стадии.

На первой низкотемпературной стадии процесс спекания ведут в среде водорода при температурах до 900-1150 °С. На этой стадии нагрев до температуры 300 °С ведут медленно во избежание растрескивания изделий; в процессе подъёма температуры происходит удаление пластификатора. При 900-1150 °С происходит предварительное упрочнение изделий перед механической обработкой и окончательным спеканием.

Окончательное спекание в присутствии жидкой фазы проводят для вольфрамовых сплавов в среде водорода или в вакуумных печах при температурах 1340-1480 °С в течение 3-5 ч. Температура их спекания зависит от массовой доли в сплаве кобальта (чем его больше, тем ниже температура изотермической выдержки), например, для сплава ВК15 – (1390 ± 10) °С; для сплава ВК8 – (1480 ± 10) °С. Окончательное спекание карбидотитановых, карбонитридотитановых сплавов проводят только в вакууме. Температура спекания сплавов группы ТК практически не зависит от марки твёрдого сплава и составляет 1450-1480 °С. Сплавы группы ТТК спекают только в вакууме; сплав ТТ17К12 – при (1490 ± 10) °С, ТТ20К9 – при 1450 °С.

3.1 Пример изготовления твёрдосплавных пластин в условиях цеха машиностроительного завода

Взвешивают готовую смесь сплава ВК8, которую поставляют комбинаты твёрдых сплавов, добавляют пластификатор – раствор синтетического каучука в бензине Б70 (примерно 1 л 4 %-ного раствора каучука), перемешивают, сушат, протирают через сито, затем прессуют в изделия необходимой формы. Спекание заготовок производят в печах с молибденовыми нагревателями в защитной среде водорода. Заготовки укладывают в графитовые лодочки, пересыпают засыпкой из порошка белого электрокорунда.

Предварительное спекание ведут медленно: нагрев до 100 °С проводят ориентировочно со скоростью 100 °С /ч, затем до 950 °С - со скоростью 200 °С/ч. Нагрев до температуры окончательного спекания с выдержкой 1 ч - со скоростью примерно 300 °С/ч, выдержке 1 ч, с последующим медленным охлаждением.

В процессе спекания происходит диффузионное растворение карбида вольфрама в частицах твёрдого кобальта с образованием жидкой фазы, через которую происходит перекристаллизация карбида вольфрама. Жидкая фаза заполняет поры и капилляры и обеспечивает усадку. Объёмная усадка при спекании составляет до 30 %. Допустимая степень пористости спечённого твердого сплава 0,2 %.

После спекания изделия очищают от засыпки в пескоструйных аппаратах. От партии спечённых изделий отбирают необходимое количество образцов для проверки плотности, твёрдости HRA, макро- и микроструктуры, режущих (или буровых) свойств. Внешнему осмотру и контролю геометрических размеров подвергают каждое изделие. Предел прочности при поперечном изгибе определяют на специально приготовленных образцах, имеющих форму бруска прямоугольного сечения 5x5 мм, длиной 35 мм.

Для характеристики эксплуатационной пригодности твёрдых сплавов в соответствии с их назначением оценивают режущие (или буровые) свойства. Под режущими свойствами понимают стойкость резца, определяемую продолжительностью в минутах его работы до заданной величины износа при условиях испытания. Сравнивают стойкость испытываемых образцов со стойкостью образцов-эталонов для соответствующей марки твёрдого сплава. После проведения контроля свойств партии твёрдых сплавов их упаковывают и к ним прикладывают паспорт. Ниже приводится содержание примерного паспорта на твердосплавные изделия.

Марка сплава	ВК8
Партия №	8370
Форма	0137
Количество	74 шт.
Плотность	14,6 · 10 ³ · кг/м ³
Твёрдость	88,5 HRA
Прочность при изгибе	1630 Н/мм ²
Коэффициент стойкости	1,33
Микроструктура	годная

Для исследования микроструктуры твёрдых сплавов необходимо приготовить микрошлифы. Шлифование образцов проводят на алмазных кругах зернистостью 100 мкм и 40 мкм, полируют на алмазном круге зернистостью 3 мкм, затем проводят травление. Поскольку механическое полирование твёрдых сплавов – процесс весьма трудоёмкий и длительный, применяют

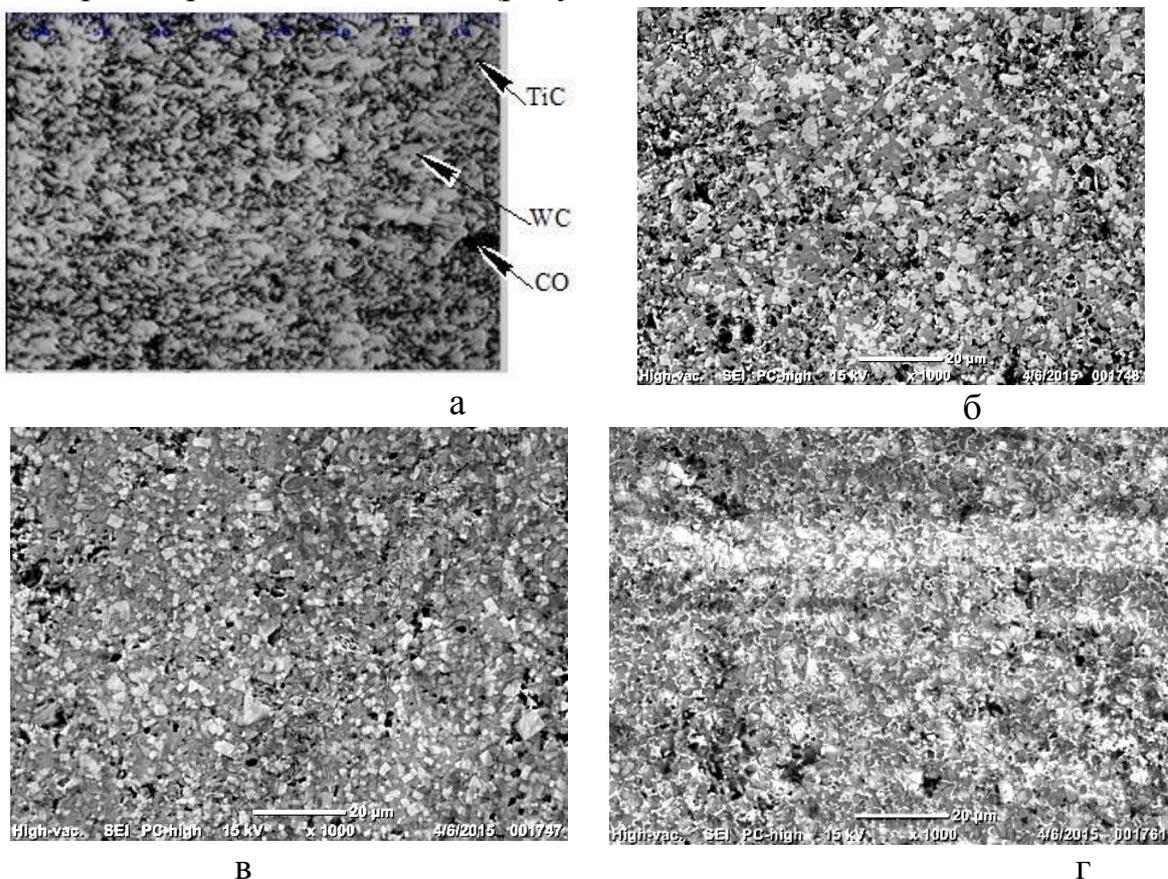
электролитическое полирование и травление (таблица 31). Электролитом является смесь ортофосфорной и серной кислот в соотношении 6:1.

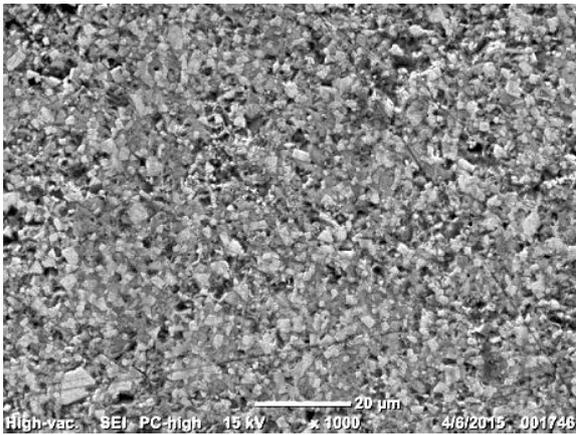
Таблица 31 – Режимы электролитического полирования и травления твёрдых сплавов

Сплав	Напряжение на ванне, В	Плотность тока, А/см ²	Время, мин
Электрополирование			
ВК	20	0,5 – 1,8	5
ТК	30	0,1 – 1,5	1 - 2
Электролитическое травление			
ВК	20	0,5	5
ТК	10	1 – 1,2	1 - 2

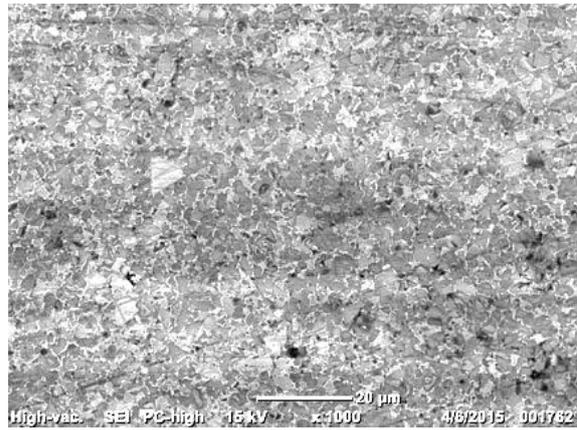
Толщину кобальтовых прослоек и характер распределения кобальтовой фазы определяют на нетравленном шлифе или после его травления в перексиде водорода.

Микроструктура вольфрамовых сплавов двухфазная: светлые угловатые и шпалообразные кристаллы WC и протравленные тёмные участки твёрдого раствора WC в кобальте (рисунок 24).





д



е

а - исходный образец Т14К8 (μ Vizo – MET-221); б - исходный образец Т14К8 (Jeol JCM 6000), 1400 HV; в - исходный образец Т15К6 (μ Vizo – MET-221), 1440 HV; г - исходный образец Т15К6 (Jeol JCM 6000); д - исходный образец Т5К10 (μ Vizo – MET-221); е - исходный образец Т5К10 (Jeol JCM 6000), 1510 HV

Рисунок 24 – Структуры спеченных твердых сплавов (металлографический микроскоп μ Vizo – MET-221, электронный микроскоп Jeol JCM 6000) x 1000

Светлые зёрна очень твёрдые, в режущем инструменте они служат элементарными режущими частицами. Твёрдый раствор WC в кобальте – менее твёрдый, но более вязкий, служит цементирующей связкой.

Микроструктура титановольфрамовых сплавов Т5К10, Т15К6, Т14К8, Т5К12 – трёхфазная: WC, (Ti, W)C и кобальтовая фаза (рисунок 24 б, г):

а) светлые зёрна карбида вольфрама WC;

б) тёмная фаза располагается вокруг светлых зёрен WC, состоит из кобальта, в котором растворено некоторое количество карбидов вольфрама и карбидов титана;

в) серая титановая фаза твёрдого раствора карбида вольфрама в карбиде титана (в карбиде титана может раствориться до 7 % карбида вольфрама).

Сплав Т30К4 – двухфазный.

Структура сплавов ТТК идентична структуре сплавов группы ТК с той лишь разницей, что в состав сложного карбида входит также карбид тантала. Зёрна тройного карбида также имеют округлую форму, а цементирующая кобальтовая фаза представляет собой твёрдый раствор карбидов в кобальте.

3.2 Пайка твердосплавных пластин

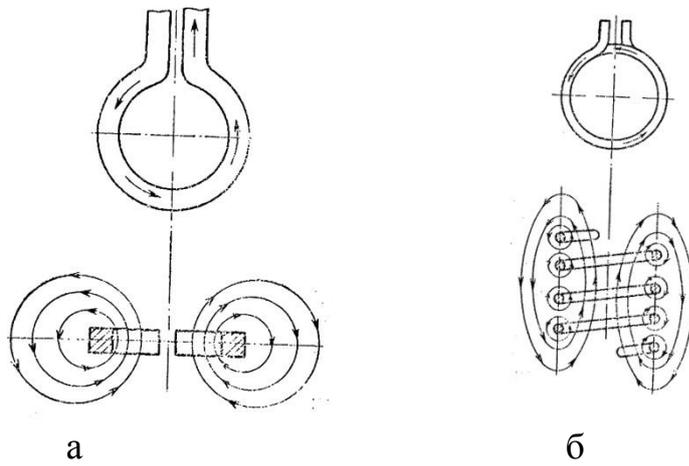
Для крепления твердосплавных пластин к стальным державкам инструмента или деталям конструкций применяют пайку. В качестве припоя для указанных случаев используют медь, латунь, бронзу. Во избежание окисления изделия нагревают в защитной атмосфере. Материал припоя в виде фольги помещают в стыке между торцами соединяемых заготовок. Быстрый нагрев шва и прилегающих к нему участков до температуры, лишь немного превышающей температуру расплавления припоя, с одновременным приложением небольшого внешнего давления и последующее быстрое охлаждение позволяют избежать растекания припоя и получить хорошую прочность соединения.

Наиболее экономичными являются способы пайки с электроконтактным нагревом (на машинах контактной сварки) и с индукционным нагревом (на установках ТВЧ). Для предохранения поверхности, на которую напаивают твердосплавную пластину, рекомендуется применять флюсы.

До напайки твердосплавные пластины очищают от грязи и краски в дробеструйных аппаратах или в галтовочных барабанах. Очищенные пластинки погружают в керосин и после этого опять очищают. В случае наличия микротрещин на поверхности пластинки появляются мельчайшие жилки. Такие пластинки в производство не запускаются. Рекомендуются также до напайки пластинки опускать в кипящий водный раствор буры.

В серийном и мелкосерийном производстве режущего инструмента широкое применение получила напайка твердосплавных пластинок нагревом ТВЧ как у однолезвийного, так и у многолезвийного инструмента.

Сущность нагрева ТВЧ заключается в следующем (рисунок 25). Внутри катушки, называемой индуктором, при прохождении по ней переменного тока возникает электрическое поле, которое рассматривается как единое электромагнитное поле. Если в это электромагнитное поле внести металлический стержень, в нем будут индуцироваться вихревые токи, вызывая его нагрев. По мере увеличения частоты тока в индукторе будет увеличиваться скорость изменения магнитного потока во внесенном в индуктор металлическом стержне и нагрев будет происходить в короткое время.



а – петлевой индуктор; б – многовитковый
Рисунок 25 – Индукторы

Формы индукторов, применяемых при напайке одно- и многолезвийного инструмента, показаны на рисунке 26 а, б.

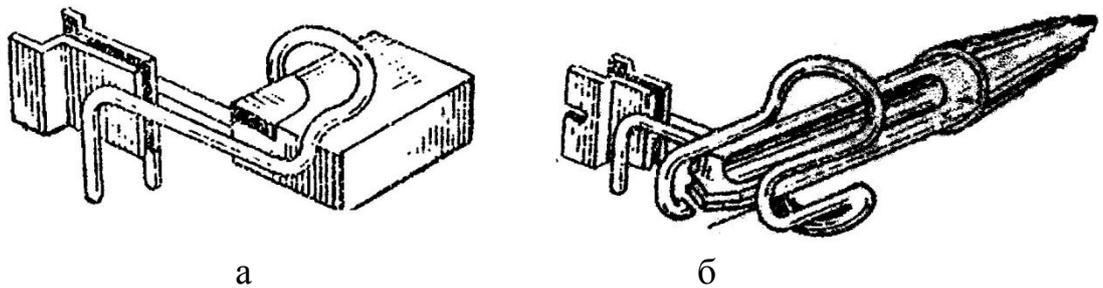


Рисунок 26 – Индукторы

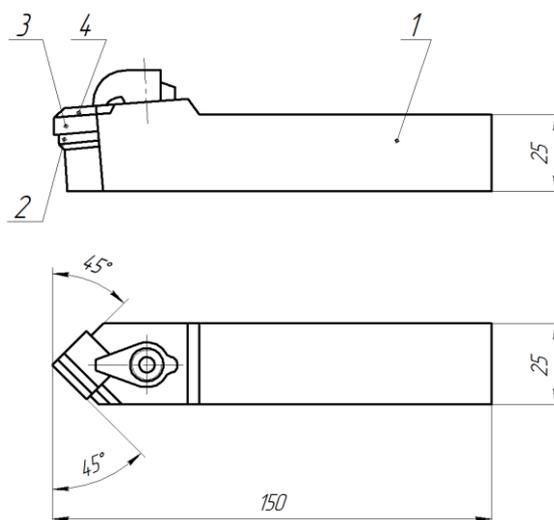
На рисунке 27 представлен резец с напаянной трехгранной твердосплавной пластиной марки ВК8.



Рисунок 27 – Резец с паяной твердосплавной пластиной

3.3 Изготовление резцов с механическим креплением твердосплавной пластинкой

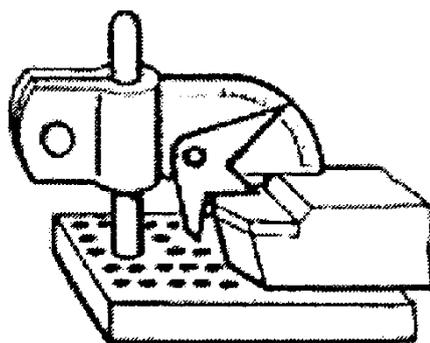
Токарные резцы изготавливают на специализированных инструментальных заводах или в инструментальных цехах машиностроительных заводах. Державки (стержни) для резцов изготавливают из стали 45 свободной ковкой, горячей штамповкой или литьем в точных формах. Державки для резцов с прямой головкой нарезают из проката прямоугольного сечения (рисунок 28).



1- державка, 2- головка, 3- пластина, 4- зажим

Рисунок 28 – Токарный резец с креплением режущей трехгранной пластины - М (прижим)

В условиях единичного и мелкосерийного производства заточные и доводочные станки находятся непосредственно на механических участках. В крупносерийном и массовом производстве введена централизованная заточка резцов в специальных заточных отделениях квалифицированными заточниками: токарь получает заточенный и доведенный резец, а затупленный сдает в кладовую. Однако в этих условиях токарю приходится иногда перетачивать и доводить резцы в зависимости от конкретных условий работы, поэтому он должен уметь выполнять заточные работы. После заточки геометрию резца контролируют и устанавливают соответствующую ли полученные углы заданным по чертежу. Контроль ведут шаблонами, которые удерживают в руке или закрепляют в специальной стойке. Геометрию резца в инструментальных цехах и заточных отделениях контролируют обычно специальными шаблонами: угломерами (а) или универсальными (б) (рисунок 29).



а



б

Рисунок 29 – Угломеры

В настоящее время получили распространение сверла с механическим креплением сменных неперетачиваемых пластин (СНП). Существует два вида сверл с СНП. Наиболее распространена схема установки пары ромбических пластинок (рисунок 30), где наружная и внутренняя пластины работают на разных радиусах и поэтому имеют разные скорости резания. Поэтому для наружной пластины выбирают более износостойкую марку твердого сплава, а для центральной – более вязкую и прочную.



Рисунок 30 – Развертки с креплением режущей трех- и четырехгранной твердосплавными пластинами

В основном твердосплавные резцы изготавливают по следующей технологии: обработка опорной плоскости державки строганием, фрезерованием или плоским шлифованием (литые державки больших сечений по опорной плоскости не обрабатывают); фрезерованием главной и вспомогательной задних поверхностей головки резца, обработка передней поверхности; фрезерование гнезда под платину; припаивание пластинки из твердого сплава к державке. В качестве припоя применяют красную медь или латунь Л62 (сплав меди 62 % и цинка 38 %), листовую медь или медно-никелевые «пистоны». Гнездо посыпают прокаленной бурой, служащей в качестве флюса, укладывают пластину и припой. Головку резца нагревают для расплавления припоя (900-950 °С) в петлевом индукторе ТВЧ изготовленном из медной

трубки, по которой циркулирует охлаждающая жидкость. После расплавления припоя резец извлекают из индуктора и пластинку прижимают к гнезду металлическим стержнем. Головку резца с припаянной пластинкой охлаждают в сухом песке или в древесной золе, что предохраняет пластинку от возникновения трещин.

3.4 Литые и наплавочные твёрдые сплавы

Эти твёрдые сплавы применяют для изготовления, защиты и восстановления изношенных деталей машин и механизмов, подвергающихся интенсивному абразивному или эрозионному изнашиванию, особенно в металлургии, нефтяной, угольной промышленности.

В настоящее время производят следующие литые твёрдые сплавы:

а) типа сормаита на основе железа, содержащие 1,5-5,5 % С; 27,0-32,0 % Сг; 1,0-4,0 % Si; 1,0-2,0 % Mn; 1,0-5,0 % Ni; 0,1-1,0 % Mo и 0,2-0,4 % W;

б) типа стеллита на основе кобальта, содержащие 0,8-3,0 % С; 25,0-35,0 % Сг; 0,5-3,0 % Si; до 2,5 % Mn; 4,0-18,0 % W; 2,0-2,5 % Ni; 0,1-0,3 % V; 0,1-0,3 % B и до 3,0 % Fe;

в) типа колмоноя на основе никеля, содержащие 0,5-1,0 % С; 15,0-40,0 % Сг; 2,0-4,0 % Si; 1,5-5,0 % B и до 5,0 % Fe.

Точным литьём из них получают малогабаритные износостойкие фасонные детали.

Для использования в качестве наплавки такие сплавы выпускают в виде литых прутков диаметром 3-12 мм и длиной 300-500 мм (исходные материалы плавят в индукционных тигельных печах и расплав заливают в формы) или в виде гранулированных порошков с размерами частиц 0,02-1,40 мм (литьё с распылением и последующим дроблением или размолотом получаемого порошка).

Защиту и восстановление изношенных деталей осуществляют любым из видов сварки – ручной дуговой, автоматической дуговой под флюсом, вибродуговой, электрошлаковой дуговой, а также электроискровой и ацетиленокислородной наплавкой, плазменным напылением.

Износостойкими наплавочными материалами также являются литые или спечённые карбиды, выпускаемые в виде трубчатых электродов, зёрен (например, литые карбиды вольфрама – смесь WC и W₂C – релит) и спечённых прутков, стержней, лент; порошкообразные смеси металлов, ферросплавов с графитом, карбидами, боридами и другими элементами и химическими соединениями (сталинит, смеси KBX, BX и др.), засыпаемые или запрес-

совываемые в стальную оболочку, а также прокатываемые в ленту. Например, состав порошковой смеси КБХ: 60-75 % феррохрома, 5-6 % карбида хрома, 5-6 % бориды хрома, 6-7 % графита, остальное – порошок железа, флюс, жидкое стекло.

3.5 Рекомендации по выбору марки твердого сплава для обработки труднообрабатываемых материалов

Рекомендации по выбору марки твердого сплава для обработки труднообрабатываемых материалов представлены в таблице 32.

Таблица 32 – Рекомендуемые марки твердых сплавов

Вид обработки	Группа обрабатываемого материала				
	сталей			сплавов	
	Р*	М	К	Н	С
Нарезание резьбы метчиком	T14K8 T15K6	BK8 BK6-M	BK8 BK6-OM	BK8 BK6-M	BK8 BK6-M
Получистовое и чистовое строгание и долбление	T5K10 BK8	BK8 T5K12	BK10-OM TT7K12	BK8 BK10-OM	BK8 BK10-OM
Черновое строгание и долбление	BK8 T5K12	BK15-OM TT7K12	BK15-OM TT7K12	BK8 BK15-OM	BK8 BK15-OM
Зенкерование	T14K8 T15K6	BK6-M BK6-OM	BK6 BK6-OM	BK8 BK6-OM	BK8 BK6-OM
Развертывание	T30K4 BK3-M	BK6-M BK6-OM	BK6-M BK6-OM	BK6-M BK6-OM	BK6-M BK6-OM
Получистовое и чистовое фрезерование	T14K8 T15K6	T14K8 TT20K9	T14K8 TT20K9	BK8 BK10-OM	BK4 BK10-OM
Черновое фрезерование	T5K10 T14K8	T5K12 T14K8	T5K10 BK8	BK8 BK10-OM	BK8 BK10-OM

* Р – углеродистые стали, легированные стали, шарикоподшипниковые стали;

М – нержавеющие стали;

К – чугуны;

Н – алюминиевые сплавы, медь и сплавы на ее основе;

С – титановые сплавы, жаропрочные сплавы.

4 Сверхтвёрдые материалы

4.1 Алмаз

Алмаз – самый твёрдый природный материал, известный человеку. Применение алмаза повышает точность и качество обрабатываемой поверхности, увеличивает стойкость применяемого металлорежущего инструмента, надёжность и долговечность изделий, повышает производительность труда и снижает себестоимость продукции. Преимущество алмазов при их применении в различных областях обусловлено уникальным сочетанием характеристик, которых нет ни у одного другого материала. Алмаз, являясь самым прочным и твёрдым материалом, имеет наивысшую теплопроводность при комнатной температуре и обладает уникальными химическими, электрическими и оптическими характеристиками, что делает его применение в различных областях промышленного производства незаменимым. В связи с тем, что у алмаза коэффициент линейного расширения в 5-10 раз меньше, чем у других инструментальных материалов, можно проводить более точную обработку во времени без дополнительной корректировки установки инструмента при его нагреве. При нагреве алмазного инструмента свыше 700 °С он графитизируется, теряя свои режущие свойства, химически активен в контакте с чёрными металлами.

Наряду с алмазами в промышленности применяют инструменты из таких сверхтвёрдых веществ, как нитрид бора, оксид алюминия, нитрид кремния монокристаллической формы или в виде порошков и спёков, в качестве лезвийного инструмента, шлифовальных кругов и др.

Среди сверхтвёрдых материалов первое место принадлежит алмазу (рисунок 31), твёрдость которого (100000 HV) в шесть раз превышает твёрдость карбида вольфрама (17000 HV), в 8 раз – твёрдость быстрорежущей стали (13000 HV).



Рисунок 31 – Природные алмазы

Алмазные резцы из природных монокристаллов, а также из синтетических алмазов типа баллас (АВС), карбонадо (АСПК) могут эффективно применяться при обработке изделий из цветных металлов и сплавов, а также неметаллических материалов и пластмасс. При обработке сталей их применять не рекомендуется. Сверхтвёрдые инструментальные материалы (СТМ) получают с использованием больших давлений и температур главным образом на основе алмаза и нитрида бора. Выпускается большое количество различных марок, отличающихся по способу получения и физико-механическим свойствам. Синтетические алмазы и нитриды бора делят на две группы:

- порошкообразные (для изготовления абразивного инструмента);
- поликристаллические материалы (для оснащения лезвийного металлорежущего инструмента).

Основным преимуществом алмазного лезвийного инструмента, кроме высокой твёрдости и износостойкости, является его высокая теплопроводность. Монокристалльные алмазы, как и поликристаллы типа балласов, карбонадо, хрупки и их можно использовать лишь при непрерывном точении.

Поликристаллы на основе алмаза. По методу получения их можно разделить на две группы: поликристаллы, получаемые в результате фазового перехода графита в алмаз, и поликристаллы, получаемые спеканием алмазных зёрен.

Первые получают при давлении 105 МПа и температуре около 2500 °С в присутствии кристаллизаторов. Таким путём получают синтетические алмазы – карбонадо (АСПК) и баллас (АСБ).

Поликристаллы, получаемые спеканием, делят на три группы:

- получаемые спеканием мелких алмазных порошков в чистом виде или после специальной обработки для лучшего спекания (они представляют собой однофазный продукт);
- представляющие собой гетерогенный композит, состоящий из частиц алмаза, скреплённых связкой в виде тонкой прослойки (они имеют достаточно высокую прочность и твёрдость);
- получаемые пропиткой алмазного порошка металлическим связующим при высоких давлениях и температуре; связкой являются кобальт, никель, железо, хром; эти поликристаллы имеют высокие механические свойства.

Поликристаллы на основе алмазов имеют следующие физико-механические свойства: микротвёрдость 70-100 ГПа, предел прочности на сжатие от 200-400 (у балласа) до 4500-5000 (у АМК-Т) Н/мм², предел прочности на изгиб 500-1000 Н/мм², теплостойкость 700-800 °С.

4.2 Сверхтвёрдые материалы на основе нитрида бора

Эльбор (кубический нитрид бора, кубонит, боразон) получают нагреванием равных количеств бора и азота при температуре 1700-1800 °С и давлении 8-12 ГПа в специальных камерах. Твёрдость эльбора 85-100 HRA. Эльбор не имеет химического сродства с чёрными металлами. Инструментом, оснащённым эльбором, можно обрабатывать цементированные стали, высокопрочные чугуны, твёрдые сплавы, стеклопластик, при этом обеспечиваются точность по 5-6-му качеству и шероховатость Ra 0,8-0,4 мкм. Однако эльбор не рекомендуется для обработки азотированных сталей.

На базе эльбора выпускают поликристаллические синтетические материалы (эльбор-Р, гексанит-Р и другие композиты). Эти материалы по прочности в 1,5-2 раза превосходят эльбор, химически инертны к чёрным металлам, твёрдость их 60 HRC ниже, чем у других сверхтвёрдых материалов. Композит по своим свойствам сходен с эльбором-Р, способен обрабатывать стали с твёрдостью до 60 HRC. Гексанит-Р в отличие от предыдущих материалов воспринимает ударную нагрузку при обработке сталей, закалённых до 60 HRC.

Поликристаллические сверхтвёрдые материалы (ПСТМ) на основе плотных модификаций нитрида бора (кубического и гексагонального) широко применяют для оснащения лезвийных инструментов, используемых для обработки закалённых сталей и чугунов.

ПСТМ на основе нитрида бора имеют меньшую твёрдость, чем поликристаллы на основе алмаза, но более высокую теплостойкость, меньше подвержены разрушению под циклическим воздействием высоких температур, обладают химической инертностью по отношению к железу. Характеристика и назначение некоторых ПСТМ на основе нитрида бора приведены в таблице 32.

Таблица 32 – Характеристика и назначение некоторых ПСТМ на основе нитрида бора

Материал	Размер поликристаллов цилиндрической формы (диаметр d и высота H), мм	Назначение
Композит 01 (эльбор - Р) Композит 02 (белбор) Исмит - 1	d = 4 – 4,5 H = 4 -5	Чистовая обработка без ударов заготовок из закалённых сталей твёрдостью 60 – 68 HRC и отбелённых чугунов

ПСТМ на основе нитрида бора имеют микротвёрдость 40-90 ГПа, предел прочности на сжатие от 2000 Н/мм² до 4000 Н/мм², предел прочности на изгиб от 250 Н/мм² до 1200 Н/мм², теплостойкость 800-1500 °С.

Их получают спеканием порошков из сверхтвёрдых материалов при высоких давлениях и температурах на твердосплавной подложке. В результате этого образуется тонкий (толщиной 0,5-2 мм) слой ПСТМ, прочно связанный с материалом подложки. К наиболее известным двухслойным композиционным материалом относятся следующие марки: на основе алмаза - ДАЛ, ДИАМЕТ, АМК-25, АМК-27, АТП; на основе нитрида бора – композиты 05Д-27, 10Д, БПК.

В случае применения поликристаллических сверхтвёрдых материалов в составе режущих сменных неперетачиваемых пластин их впаивают в одну из вершин пластины.

Металлообрабатывающий инструмент из сверхтвёрдых материалов. Его выпускают в виде резцов, вставок (к инструменту и непосредственно в борштангу или оправку) и в виде выглаживателей, которые способствуют снижению шероховатости поверхности и поверхностному упрочнению заготовки вследствие поверхностного пластического деформирования.

Резцы из кристаллов природных алмазов предназначены для чистового точения и растачивания.

Большой универсальностью обладают инструменты из поликристаллического нитрида бора с кубической решёткой, называемого кубическим нитридом бора. Выпускают под названием альбор и кубонит. Кубический нитрид бора обладает твёрдостью, близкой к твёрдости алмаза, более теплоустойчив, чем алмаз, и более химически инертен.

Применяются новые материалы силиниты на основе нитрида кремния с добавками оксида алюминия и титана.

Сравнительные характеристики инструментальных материалов приведены в таблице 33.

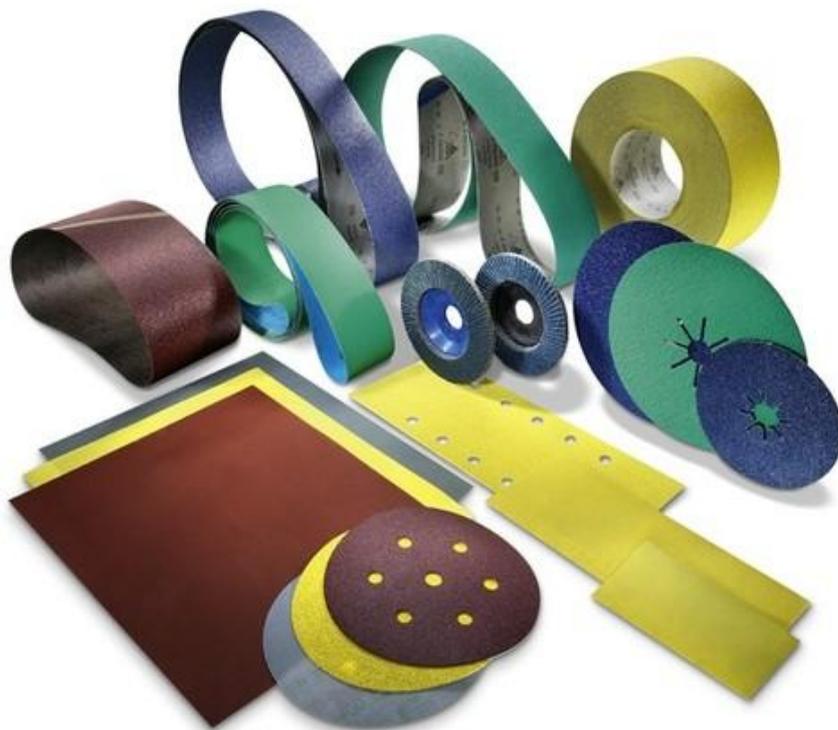
Таблица 33 – Свойства инструментальных материалов

Материал	Марка	Микротвёрдость, Н/мм ²	Теплостойкость, °С	Предел прочности, Н/мм ²		Коэффициент относительной скорости резания
				на изгиб	на сжатие	
Углеродистая сталь	У10А	1280	220	2940	2940	0,4
Легированная сталь	ХВГ	1180	230	3430	3430	0,6
Быстрорежущая сталь	P18	1320	515	3530	3530	1
Твёрдые сплавы	T15K6	2750	903	1130	3900	4
Режущая керамика	ВО-100	2250	1200	1570	4410	3
Алмазы	А, АС	93150	700	390	1960	5...7
Кубический нитрид бора	NB	900	1900	290	1470	1,5
Эльбор	Л	2400	1300	785	–	6...8
Гексанит	Si _{6-x} Al _x O _x N _{8-x}	3800	1100	80	1690	8...10
Киборит	КП	3000	2000	80	1690	8...10

5 Абразивный инструмент

5.1 Виды абразивных материалов

Абразивные материалы подразделяются на естественные (кварц, наждак, корунд, алмаз) и искусственные (электрокорунд, карбид кремния, карбид бора, алмаз синтетический, эльбор) (рисунок 32).



(абразивная шкурка, абразивная лента, шлифовальные и отрезные круги).

Рисунок 32 – Искусственные абразивные материалы

Естественные абразивные материалы, за исключением алмаза, в машиностроении почти не применяются

Алмаз - минерал, состоящий из углерода с незначительным количеством примесей. Высокая твердость алмаза обеспечивает ему наивысшую абразивную способность среди всех абразивных материалов. Он способен царапать любые природные и синтетические - минералы и конструкционные материалы любой твердости. Алмазы природные технические (обозначение А) и синтетические (обозначение АС) имеют одинаковые физические свойства и абразивную способность, но отличаются прочностью. Алмаз представляет собой одну из модификаций углерода кристаллического строения. Алмаз – самый твердый из всех известных в природе минералов. Высокая твердость алмаза объясняется своеобразием его кристаллического строения, прочностью связей атомов углерода в кристаллической решетке, располо-

женных на равных и очень малых расстояниях друг от друга. Коэффициент теплопроводности алмаза в два и более раза выше, чем у сплава ВК8, поэтому тепло от зоны резания отводится сравнительно быстро. Возросшие потребности в алмазном инструменте не могут быть полностью удовлетворены за счет природных алмазов. В настоящее время освоено промышленное производство синтетических алмазов из графита при больших давлениях и высоких температурах.

Синтетические алмазы могут быть различных марок, которые отличаются между собой прочностью, хрупкостью, удельной поверхностью и формой зерен. В порядке возрастания прочности, снижения хрупкости и удельной поверхности марки шлифовальных порошков из синтетических алмазов располагаются так: АС2, АС4, АС6, АС15, АС32. Микropорошки из природных алмазов имеют марки АМ и АН, а из синтетических АСМ и АСН. Микropорошки марок АМ и АСМ нормальной абразивной способности предназначены для изготовления абразивного инструмента, которым обрабатывают твердые сплавы и другие твердые и хрупкие материалы, а также детали из стали, чугуна, цветных металлов при необходимости получения высокой чистоты поверхности.

Микropорошки марок АН и АСН, имеющие повышенную абразивную способность, рекомендуются для обработки сверхтвердых, хрупких, труднообрабатываемых материалов.

Синтетический алмаз изготавливают нескольких марок: АСО – обычной прочности (размер зерен 40-250 мкм), АСП – повышенной прочности (размер зерен 50-300 мкм), АСВ – высокой прочности (размер зерен 60-400 мкм). Новые марки АСК и АСКС, находящиеся в стадии освоения, не уступают в прочности природным алмазам.

Кристаллы природных алмазов применяют для изготовления режущего инструмента (алмазные резцы и свела, стеклорезы, буровые коронки), инструментов для правки шлифовальных кругов, наконечников измерительных и специальных деталей приборов (подшипники и др.)

Зерна и порошки синтетических алмазов используют как абразивный материал для алмазных кругов и брусков, которые широко применяют при заточке и доводке твердосплавного инструмента и для обработки деталей из твердых сплавов, керамики, стекла, феррита и других твердых и хрупких материалов. Алмазные микropорошки АСМ (размер 1-40 мкм) применяют для доводочных паст.

Электрокорунд состоит из кристаллической окиси алюминия Al_2O_3 с некоторыми примесями. Повышение абразивной способности электрокорунда достигается снижением содержания примесей, введением специальных присадок (окиси хрома, двуокиси титана), применением технологии, обеспечивающей получение монокристаллических зерен.

Электрокорунд выпускают следующих марок: нормальный – Э, белый – ЭБ, монокорунд – М, хромистый – ЭХ, титанистый – ЭТ.

Электрокорунд нормальный (цвет зерен от розового до коричневого) подразделяют на марки: Э1, Э2, Э3, Э5, с 91,92,93 и 94,5 % содержанием Al_2O_3

Электрокорунд белый (цвет зерен серый или белый) отличается повышенным содержанием Al_2O_3 - 98 и 99 % и соответственно имеет марки Э8, Э9.

Монокорунд изготавливают марок М7 и М8 с 97 и 98 % содержанием Al_2O_3 . Зерна монокорунда получают специальным методом измельчения технической породы в виде отдельных монокристаллов.

Электрокорунд хромистый (технический рубин) содержит не менее 97% Al_2O_3 и до 1,2% Cr_2O_3 (оксид хрома). Зерна ЭХ имеют темно вишневую окраску, обладают стабильной твердостью, значительный процент зерен представляет собой монокристаллы.

Электрокорунд титанистый (технический сапфир) в качестве присадки к Al_2O_3 содержит двуокись титана. Зерна ЭТ имеют высокую абразивную способность. Электрокорунд всех марок используют для изготовления абразивных инструментов (круги, сегменты, бруски, шкурки), которые применяют для шлифования сталей и чугунов.

Карбид кремния содержит 98-99 % SiC (остальное примеси). Производят две разновидности карбида кремния – зеленый КЗ и черный КЧ. Зеленый карбид кремния более хрупкий, чем черный. В зависимости от содержания чистого карбида кремния зерна маркируют: КЗ9, КЗ8, КЧ8, КЧ7 соответственно с 99,98 и 97 %-ным содержанием SiC. Карбид кремния применяют для изготовления абразивных инструментов – кругов, сегментов, брусков, шкурок и паст. Эти инструменты применяют при шлифовании крупных материалов.

Карбид бора представляет собой химическое соединение B_4C (94%), остальное – свободный бор и углерод. Промышленность выпускает шлифпорошки и микропорошки черного цвета, из которых изготавливают доводочные пасты.

Эльбор (борозон) представляет собой кубический нитрид бора, условное обозначение Л. По твердости не уступает алмазу и превосходит его по теплостойкости (алмаз сгорает при температуре 700-900 °С, а эльбор – при температуре 1300-1500 °С). Абразивная способность эльбора по отношению к алмазу составляет 0,75-0,85. Область применения – шлифовальные круги для обработки быстрорежущих сталей.

5.2 Характеристика абразивного инструмента

Абразивный инструмент подразделяется на пять групп: шлифовальные круги, шлифовальные головки, шлифовальные сегменты, шлифовальные бруски, абразивные ленты, абразивные шкурки.

В характеристику абразивного инструмента входят следующие параметры: форма и размер инструмента, род и сорт абразивного материала, раз-

мер абразивных зерен – зернистость, вид связывающего вещества – связка, твердость связки, структура инструмента.

Зернистость. При производстве абразивных инструментов применяют дробленые абразивные материалы – зерна, которые могут быть отдельные кристаллами, сростками кристаллов, осколками кристаллов неправильной формы.

В ряде технологических процессов получают зерна в виде монокристаллов или сростков (получение монокорунда). Размер абразивного зерна обозначается номером зернистости. В зернах определенного номера могут в некоторых пределах содержаться зерна более крупных и более мелких номеров зернистости, однако основной фракции должно быть не менее 45 %. Размер зерен абразивных материалов приведены в таблице 33. Твердость приведена в таблице 34.

Таблица 33 – Размеры зерен абразивных материалов

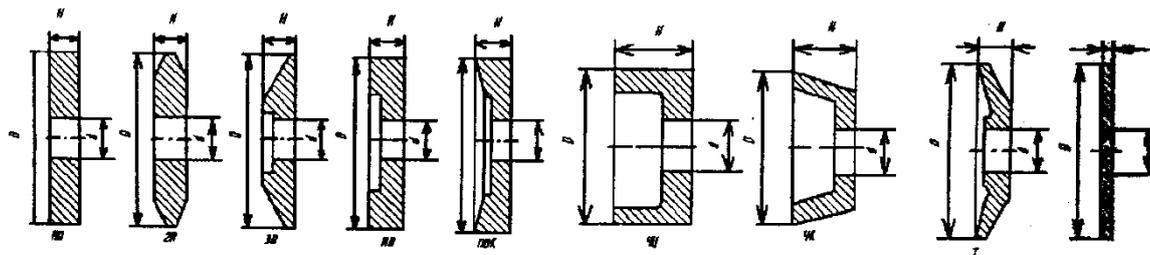
Обозначение номера зернистости		Пределы размеров зерен основной фракции, мкм.
По ГОСТ 52381-2005 (в 0,01 мм)	По дюймовой системе, меш	
Шлиф зерно		
200	10	2500-2000
125	16	1600-1250
100	20	1250-1000
16	80	200-160
Шлиф порошки		
12	100	160-125
8	160	100-80
3	320	40-28
Микропорошки		
M40	-	40-28
M5	-	5-3

Таблица 34 – Твердость абразивных инструментов

Категория твердости	Обозначение степени твердости	Объем порошка, %
М – мягкий	M1, M2, M3	46,5; 45,0; 43,5
СМ – средне мягкий	СМ1, СМ2	42; 40,5
С – средний	С1, С2	39; 37,5
СТ – средне твердый	СТ1, СТ2, СТ3	36; 34,5; 33
Т – твердый	T1, T2	31,5; 30
ВТ – весьма твердый	ВТ1, ВТ2	28,5; 27
ЧТ – чрезвычайно твердый	ЧТ1, ЧТ2	25,5; 24

Алмазные круги. В характеристику алмазно-абразивного инструмента (шлифовальные круги, бруски) входят следующие параметры: формам и раз-

мер инструмента, марка алмазного зерна, зернистость, связка, концентрация алмазов в алмазоносном слое инструмента. Алмазный круг состоит из металлического корпуса и алмазоносного слоя толщиной $s = 1,5-3$ мм. Алмазоносный слой состоит из алмазного порошка, связки и наполнителя. Обозначение зернистости алмазных порошков приведены в таблице 35. Виды профиля и формы сечений инструментов из порошкообразных сверхтвердых инструментальных материалов (шлифовальных кругом) показаны на рисунке 33.



ПП – прямого профиля; 2П, 3П – с коническим профилем; ПВ, ПВК – плоские с выточкой; ЧЦ – чашечно-цилиндрические; ЧК – чашечно-конические; Т – тарельчатые; Д – дисковые (отрезные); D – наружный диаметр, мм; d – внутренний диаметр, мм; H – толщина, мм

Рисунок 33 – Шлифовальные круги

Алмазные круги изготавливают на органической, металлической, керамической и комбинированных связках. Органическая связка состоит из бакелита и наполнителя. Маркируется эта связка обычно буквой Б и цифрой, обозначающей вид наполнителя. В качестве наполнителя используют: карбид бора – связка Б1, железный порошок – связка Б2, карбид кремния зеленый – связка Б4. Связка Б156 и ТЩ-2 имеют многокомпонентный наполнитель (карбид бора, медь, олово). Алмазные круги на бакелитовой связке имеют высокие режущие свойства – малые силы резания и низкие температуры в зоне шлифования, что позволяет работать без охлаждения (операции затачивания и доводки режущего инструмента). Зернистость алмазных порошков приведена в таблице 35.

Таблица 35 – Обозначения зернистости и размеры зерен основной фракции алмазных порошков

Зернистость в метрической системе					Зернистость в дюймовой системе, в мешах
Группа зернистости	Обозначение узкого диапазона по ГОСТ 9206-70	Размеры ячеек сита в свету для основной фракции, мкм.	Обозначение широкого диапазона по ГОСТ 9206-70	Размеры ячеек сита в свету для основной фракции, мкм	
Шлифоваль-	630/500	630-500	-	-	30/35
	500/400	500-400			35/40
	315/250	250-200			50/60

5.3 Типы абразивных и алмазо-абразивных инструментов

Шлифовальные абразивные круги (ГОСТ 2424-83) изготавливают 22-х типоразмеров, некоторые представлены в таблице 36.

Виды алмазных шлифовальных кругов показаны в таблице 37.

Таблица 36 – Алмазные шлифовальные круги

Наименование круга по форме	Обозначение	Основные размеры, мм		
		Наружный диаметр	Алмазоносный слой	
			ширина	толщина
Плоский прямого профиля	АПП	12-500	3-50	2-10
Плоский с выточкой	АПВД	100-250	3-20	1,5-3
Чашечный конический	АЧК	50-250	3-20	1,5-3
Тарельчатый с углом 18°	АТ	50-300	2-10	1,5-3
То же с углом 30°	А1Т	50-125	1-2	2-3
Отрезной	АОК	50-320	0,15-2,0	2,5-5

Заточка и доводка рабочей части резца осуществляется с помощью инструментальной керамики и синтетических сверхтвердых инструментальных материалов (таблица 37, 38).

Таблица 37 – Инструментальная керамика

Вид материала	Разновидность	Обозначение	Расшифровка
Оксидная керамика	Микролит	ЦМ-332	Создан в ЦНИИТМаш и МХТИ литьем из микролита Al_2O_3 и MgO
	Белая	ВО13	Al_2O_3
	Серая	ВШ75	Работа ВНИИАШ Al_2O_3
Нитридная керамика	Отечественные марки отсутствуют		Si_3N_4
Смешанная керамика	Кортинит	ОНТ-20	Двухкомпонентная: Al_2O_3 и TiN
	Силинит-Р, коричневая		Трехкомпонентная: $Si_3N_4+TiN+Al_2O_3$
	Сиалон		Трехкомпонентная: $Si_3N_4+Al_2O_3$ +твердый раствор замещения Si-Al-O-N

Таблица 38 – Круги абразивные шлифовальные (ГОСТ 2424-67)

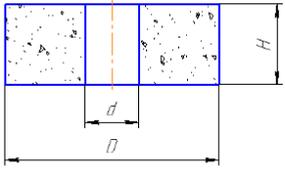
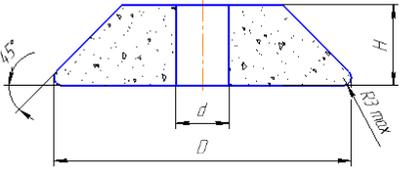
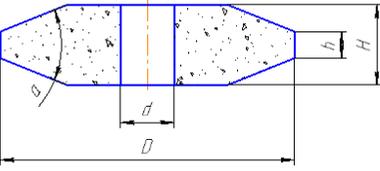
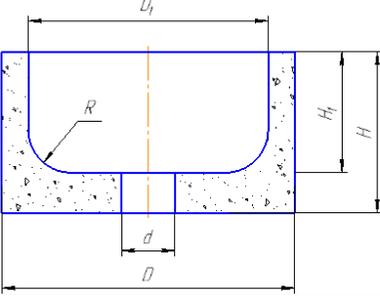
Виды кругов	Форма сечения	Обозначения	Размеры (предельные), мм.		
			D	H	d
Плоские прямого профиля		ПП	3-1100	6-250	1-305
Плоские с двусторонним коническим профилем		2П	250-500	10-32	76-203
Плоские конического профиля с углом 45°		3 П	250-300	6-13	76-127
Чашки цилиндрические		ЧЦ	40-300	25-100	13-127

Таблица 39 – Синтетические сверхтвердые инструментальные материалы (СТМ)

Вид материала	Разновидность	Обозначение	Расшифровка
Алмаз	Борт		Зернистые и неправильные сростки кристаллов октаэдрической формы с дефектами
	Баллас	АСБ	Алмаз синтетический баллас – сросшиеся поликристаллические агрегаты овальной и шаровидной формы
	Карбонадо	АСПК2, АСПК3	Алмаз синтетический поликристаллический карбонадо – тонкозернистые пористые агрегаты из проросших друг в друга острых кристаллов
Спек алмазных зерен	Алмет		Алмазно-металлический композит
Кубический нитрид бора (КНБ)	Композит 01 (эльбор Р, эльбор РМ)		Поликристалл из чистого кубического нитрида бора
Спеченный кубический нитрид бора	Ниборит		Зерна кубического нитрида бора распределены в связке из Ti
Многослойный композиционный СТМ		СВБН	Синтетический баллас на вольфрамосодержащей твердосплавной подложке

α/β -сиалоновая керамика (оксинитрид алюминия-кремния) – новейшие материалы, разработанные для применения в качестве технической керамики и принадлежащие к классу нитридов кремния. Они встречаются только в некоторых композициях сырьевых материалов и состоят как минимум из трех фаз: α -сиалоновая, β -сиалоновая и аморфная или частично кристаллизованная зернограничная фаза.

Твердосто-прочностные характеристики: жесткая сердцевина окружена очень жестким износостойким поверхностным слоем.

Материалы категории α/β -сиалонов характеризуется уникальным сочетанием еще более высокой твердости по сравнению с обычным нитридом кремния с таким же высоким уровнем прочности. α -сиалоновая фаза обладает высокой твердостью, в то время как β -сиалоновая фаза – как и обычный нитрид кремния – обладает высокой ударной вязкостью. Соответствующие доли α -сиалоновой, β -сиалоновой и зернограничной фазы могут быть в значительной степени скорректированы, что позволяет изменять свойства α/β -сиалоновых материалов в соответствии с конкретными требованиями для различных областей применения.

При определенных условиях возможно даже производство градиентного материала, который содержит более высокую долю α -сиалона на поверхности, чем внутри материала. Компания CeramTec GmbH использует эту особенность для создания, например, нескольких весьма износостойких видов режущих керамики для применения в области машинной обработки: градиент α -сиалоновой фракции обеспечивает более высокую жесткость поверхности многогранных режущих пластин по сравнению с их сердцевиной, благодаря чему значительно повышается износостойкость режущей керамики. При этом сохраняется высокая ударная вязкость сердцевины.

Твердость и износостойкость α/β -сиалонов может быть дополнительно увеличена за счет включения твердых материалов, например, карбида кремния. Подобные разновидности оксинитридов алюминия-кремния отлично зарекомендовали себя в качестве компонентов, подверженных воздействию высоких трибологических нагрузок, например, в целлюлозно-бумажной промышленности. Пример характеристик SiC- α/β -сиалона:

Значение модуля Юнга: 345 ГПа

Твердость HV1: прибл. 17 ГПа

Ударная вязкость: 5,5 МПа*м^{1/2}.

Прогрессивной является алмазная заточка, то есть заточка на алмазных кругах. Характеристика алмазного заточного круга АСП25 М2.50.70: АПС - алмаз синтетический повышенной прочности; 25 - зернистость; диаметр алмазных зерне 0,25 мм); М2 - металлическая связка; 50 - концентрация алмаза %; (100 % концентрацией считается содержание в 1см³ алмазного слоя 3,4 карата алмазов); 70 – содержание алмазов в каратах. Алмазную заточку выполняют на алмазозаточных станках с охлаждением зоны заточки специальной жидкостью.

В нашей стране Томилинский завод алмазного инструмента по выпуску алмазного инструмента в 1990 году было освоено серийное производство двухслойных пластин как напаиваемых, так и сменных многогранных пластин (СМП), марки Томал-10 (рисунок 34). Как указано в каталоге, выпущенном объединением, эти пластины состоят из режущего слоя темного цвета, изготовленного из микропорошков кубического нитрида бора и связки, и опорного слоя серого цвета из специального сплава. Высота рабочего слоя составляет 0,5...1,5 мм. Форма и размеры СМП приведены в таблице 40. Задний угол на пластинах равен нулю. Кроме Томала-10 на МПО по выпуску алмазного инструмента освоено производства Тамала – 30, пластину которого состоят из

стальной подложки, в одном углу которой запаяна пластина Томала – 10, и Томала – 50 с режущим элементом «СОМРХ». Физико-механические свойства Томала -10 следующие:

Твердость от 2 до 4 раз выше, чем у твердых сплавов (40...75 ГПа);

Теплостойкость 1100...1300 °С;

Теплопроводность от 0,1...0,15 кал/(см*с*°С);

Химическая инертность к соединениям железа с углеродом.



Рисунок 34– Сменная многогранная пластина (СМП), марки Томал-10

Таблица 40 – Размеры пластин

Форма пластин	Толщина, мм	Диаметр вписанной окружности, мм	Радиус скруглены вершины, мм
Квадратная	3,18	9,52	0,4 0,8 1,2
Круглая	2,18 4,76 От 3 до 5,5	9,52 12,70 От 6 до 13	-
Трехгранная	От 3 до 18 4,76	6,25 9,52	0,4 0,8 1,2
Ромбическая	3,18 4,76	9,52	0,4

Элементы режимов резания приведены в таблице 41.

Таблица 41 – Элементы режимов резания

Элементы режима резания	Точение		
	Стали	Чугуна	Пластмассы
Скорость резания, м/мин	60...130	150...600	150...500
Продольная подача, мм/об	0,05...0,2	0,1...0,4	0,2...0,5
Глубина резания, мм	0,5...2,5	1,5...4,0	1,0...4,0

По данным завода – изготовителя стойкость СМП из Тома-ла - 10 примерно в 3 раза превосходит стойкость пластин из минералокерамики и в 10-15 раз - стойкость твердосплавных пластин в зависимости от марки обрабатываемого материала и условий резания.

5.4 Алмазная и эльборовая паста, ГОИ

Пасты, используемые для полировки, шлифования, доводки и других заключительных отделочных работ, изготавливаются из микро- или шлифовальных порошков. Такие материалы обладают абразивным эффектом, а обрабатываемая поверхность получает необходимую шероховатость.

Поверхностные вещества, содержащиеся в пастах, активно удаляют микростружку и другие элементы, остающиеся после предыдущей обработки. Материал представляет собой мазеобразную консистенцию, содержащую микроскопические алмазные частицы. Входящие в состав поверхностно-активные соединения обеспечивают быстрое выведение стружки, шлаков, огнеопасных жидкостей и обеспечивают простоту промывания. Такие характеристики улучшают качество и уменьшают время обработки.

Пасты используются для обработки сплавов, металлических и неметаллических поверхностей:

- различных металлов;
- сплавов;
- камня;
- фарфора и керамики;
- стекла;
- драгоценных и искусственных камней.

Для работы применяются полировочные машины, шлифовальные круги, допускается и ручная обработка. Существует несколько основных критериев, по которым разделяются пасты:

1. Тип смываемости:

- водные (обозначаются буквой В) – отсутствие в составе жиров позволяет удалять покрытие обычной водой;

- органические, жировые (обозначаются буквой О) – устойчивы к водным растворам, содержат жирные кислоты, масла и парафин, разбавляются промышленными маслами, смываются бензином, спиртом или керосином.

2. Консистенция:

- жидкие – выпускаются в виде мази;
- твердые – предлагаются в виде порошка или брусков, при использовании смешиваются с водой.

3. Назначение:

- универсальные – предназначены для обработки любой поверхности;

- специализированные – используются только для работы с металлами, камнем или стеклом.

4. Степень зернистости:

Изготавливаются пасты с 12 размерами зерен, разделяемых на тонкие, мелкие, средние и крупные, от этого показателя зависит применение при:

- черновой обработке;
- предварительной обработке;
- точной доводке;
- предварительном этапе шлифовки;
- финишном этапе шлифовки.

Различие между пастами – используемые связки. В качестве связующего могут выступать: олеиновая кислота, парафин, касторовое масло, воск, бензин, керосин, расщепленный жир, стеарин. Для некоторых типов материала применяются не засыхающие растительные масла, обезвоженное свиное или говяжье сало, рыбий жир, канифоль, скипидар. Все пасты, используемые для полировки, шлифовки и доводки, разделяются на алмазные, эльборовые и ГОИ, каждая из которых имеет свои отличия и предназначение. *Алмазные пасты.* При изготовлении алмазных полировочных и доводочных паст используются мелкие (1-40 мкм) алмазные порошки. Распространены материалы, в которых содержатся как искусственные (синтетически), так и натуральные алмазные зерна. Работоспособность синтетических алмазов при определенных условиях может превосходить эффективность натуральных. Подобный эффект объясняется особым характером поверхности зерна, высокой однородностью и, как следствие, лучшему закреплению.

По размеру зерна алмазные пасты разделяются на микропорошки (обозначаемые буквами АМ) и порошки (обозначаются буквой А). При использовании синтетических алмазов в маркировку добавляется буква «С» (пример - АСМ40, АС 16).

Алмазные пасты, используемые для доводки, наносятся на притиры. Самую высокую эффективность работы показывает материал, состоящий из 30-40% алмазного порошка и 70-60% касторового или оливкового масла.

Пасты выпускаются в готовом к применению виде и разделяются на четыре группы и двенадцать типов зернистости. Упаковка, для удобства в различении окрашивается в разные цвета, а сам материал светлый – это позволяет контролировать объем снимаемого покрытия. Концентрация (весовое содержание) порошка алмазов зависит от его зернистости и относится к одной из трех групп:

- Н – нормальной;
- П – повышенной;
- В – высокой.

Эльборовые пасты. Эльборовыми называются пасты, в которых в качестве абразива выступает кубический нитрид бора. Еще одно их название – кубанитовые полировочные пасты. Этот тип паст предназначен для доводки и заточки металлов и металлорежущих инструментов из легированных сталей, полировки стеклянных поверхностей. Входящие в состав материала ПАВ-ы не только удаляют из рабочей зоны отработанную стружку, легко-возгораемые жидкости и шлаки, но и повышают производительность деталей. Обеспечивая их промывку. Благодаря этому процесс полировки происходит с абсолютной точностью, а паста оказывает положительное влияние на обрабатываемую поверхность. Эльборовые пасты разделяются на несколько видов, определяющих сферу применения:

- тип Г (ПОМГ, ВОМГ и НОМГ) используется при полировке и обработке стальных, неметаллических и неметаллических поверхностей, полупроводниковых материалов и различных сплавов;

- тип Л (ПОМЛ, ВОМЛ, НОМЛ) применяется для обработки и полировки керамики, металлокерамики, твердых сплавов, сапфировых, ферритовых, чугуновых и стальных поверхностей;

- тип Х (ПОМХ, ВОМХ, НОМХ) предназначается для полировки твердосплавных и стеклянных поверхностей, обработки волока и полупроводниковых материалов;

- тип Э (ПОМЭ, ВОМЭ, НОМЭ) полирует твердосплавные и стеклянные поверхности, обрабатывает полупроводниковые материалы.

Степень зернистости эльборовых пасты зависит от размера микрочастиц, который отличается в зависимости от предназначения:

- показатель зернистости 125/100-50/40 – для грубой степени доводки и черновой обработки;

- показатели 40/28, 60/40 – меньшая грубость доводки при черновой обработке;

- зернистость 14/10-28/20 – предварительный этап доводки;

- показатель зернистости 5/3-10/7 – для точной доводки;

- пасты с зернистостью 1/0-3/2 – предварительный этап полировки;

- значение зернистости 0,1/0-1/0,5 – финишная полировка.

Пасты ГОИ. Получили свое название от места разработки - Государственного оптического института. Предназначены для полировки и шлифовки твердых полимеров и пластмасс, стекла (в том числе оптических стекол), сплавов (обычных и термически упрочнённых), керамики и керамических изделий, цветных металлов. Содержат основу из оксида хрома (III).

Выпускаются в виде брусков тёмно-зелёного или светло-зелёного цвета или как пропитанные пастой фетровые полировальные круги. В состав пасты входят абразивный порошок оксида хрома, жировые (органические) связующие и добавки, представляющие собой вспомогательные интенсифицирующие и активирующие вещества. Цвет смеси зависит от процентного содержания оксида хрома (65-80 %) и содержащихся в пасте хими-

ческих реагентов и растворителей (силикагеля, стеарина, керосина и других)

Грубая паста ГОИ светло-зеленого цвета, снимает самое большое количество материала и образует матовую поверхность. У средней цвет зеленый, обрабатываемая поверхность получается ровной и чистой. Пасты тонких сортов черные с зеленым отливом или темно-зеленые, предназначаются для тонкой доводки (при-тирки), обработанная поверхность получает зеркальный блеск.

Состав и абразивная способность паст ГОИ определяется согласно ТУ 6-18-36-85:

- № 1 – самая темная, с абразивной способностью 0,3-0,1 мкм, содержит 65-70 % трёхвалентного оксида хрома, 10 % расщеплённого жира, 10 % стеарина, 2 % керосина, 1,8 % силикагеля, 0,2 % двууглекислой соды, используется для чистовой полировки с получением зеркального блеска;

- № 2 – темно-зеленая с абразивной способностью 7-1 мкм, состоит из 65-74 % трёхвалентного оксида хрома, 10 % расщеплённого жира, 10 % стеарина, 2 % олеиновой кислоты, 2 % керосина, 1 % силикагеля, 0,2 % двууглекислой соды, применяется для тонкой полировки с приданием зеркального блеска поверхности;

- № 3 – паста зеленого цвета с абразивной способностью 17-8 мкм, состав: 70-80 % трёхвалентного оксида хрома, 10 % расщеплённого жира, 10 % стеарина, 2 % силикагеля, 2 % керосина, используется при средней шлифовке, оставляет поверхность без штрихов с ровным блеском;

- № 4 – светло-зеленого цвета паста с абразивностью 40-18 мкм, состоящая из 75-85 % трёхвалентного оксида хрома, 5 % расщеплённого жира, 10 % стеарина, 2 % силикагеля, 2 % керосина, применяется при грубой шлифовке, удаляет мельчайшие царапины, остающиеся после шлифования абразивными материалами, образует матовую поверхность.

Большой выбор выпускаемых полировочных и шлифовальных паст позволяет подобрать материал, подходящий для обработки практически любого материала до необходимой степени.

5.5 Влияние алмазной и эльборовой обработки на качество инструмента

Алмазная заточка высокопроизводительная и обеспечивает высокую стойкость заточенного инструмента. После заточки твёрдосплавные резцы подвергают доводке на алмазных доводочных кругах.

Алмазную доводку выполняют на доводочном станке, имеющем точные подшипники, обеспечивающие минимальное биение шпинделя. Окружная скорость алмазного круга 20- 25 м/с. Малогабаритный заточной станок УЗМ-3 для алмазной заточки и доводки резцов имеет два шпинделя: на одном устанавливается заточной круг (на металлической связке), а на втором доводочный круг (на бакелитовой связке). Кроме алмазной заточки и доводке, станок можно использовать для нанесения переднюю поверхность резца стружколомов лунок. Если резец затачивают на абразивном круге КЗ, то на алмазозаточном станке выполняют только доводку резца и наносят лунки.

Твёрдосплавные резцы, подлежащие алмазной доводке, должны иметь такие углы рабочего клина, чтобы алмазный круг работал только по пластинке и не касался державки резца, иначе круг будет быстро «засаливаться». Державку затачивают предварительно под углом $\alpha + 30^\circ$, а пластинку затачивают под углом α , а фаску по задней поверхности доводят алмазным кругом на ширину 1-1,5 мм. Алмазная доводка устраняет все шероховатости на режущей кромке и трущихся поверхностях резца, обеспечивает высокую остроту режущей кромки и повышает долговечность резца в 1,5-2 раза. Алмазную доводку осуществляют без охлаждения. Для заточки и доводки резцов из быстрорежущей стали используют круги с рабочей поверхностью из боразона 9 «Эльбо-

ра») - нового синтетического материала, не уступающего синтетическому алмазу по твердости, но имеющего значительно более высокую красностойкость.

Алмазное и эльборовое шлифование и заточка инструментов из быстрорежущей стали сложны, так как по сравнению с твердыми сплавами сталь обладает большим сродством с алмазами. Вязкость её выше, чем твердых сплавов. Это способствует развитию адгезионных и диффузионных процессов, поэтому силы и температура резания более высокие, чем при обработке твердых сплавов. Критическая температура для алмаза равна 800°C , но если учесть, что в процессе доводки инструмента средняя температура составляет 50-70% от максимальной, то критическое значение температуры для практических расчетов целесообразно принимать $420-550^{\circ}\text{C}$. Высокая температура, кроме того, способствует диффузионному растворению зерен алмаза, которое может стать решающим фактором в процессе износа кругов. Поэтому для определения области параметров алмазного шлифования инструментов из быстрорежущей стали, при которых развивающаяся температура не превышает допустимых значений, следует установить связь между параметрами режима резания и температурой.

В меньшей степени это касается обработки инструментов из закалённой быстрорежущей стали эльборовыми кругами, для которых допустимые значения температуры составляют $1450-1500^{\circ}\text{C}$. Увеличивается стойкость инструментов из быстрорежущей стали при алмазной доводке не только вследствие понижения шероховатости, но и снятия дефектного слоя. При воздействии алмазного шлифования на поверхностный слой детали из быстрорежущей стали изменяется его химический состав и микроструктура. Для подтверждения этого исследовали образцы высотой 10-20 мм, вырезанные непосредственно из сверл диаметрами 14,5; 21; 25 и 32,5 мм, изготовленных из сталей P18, P9K5, P6M5 и P6M5K5. Абразивная доводка торцовых поверхностей образцов выполнялась на станке 3А64Д мелкозернистым кругом

24A10CM1K5 без охлаждения при скорости вращения круга 22,8 м/с и давлении на круг 0,2-0,3 Н/мм². Доводка обеспечивала шероховатость поверхности $R_a=0,16\div 0,08$ мкм. На каждом образце с обоих торцов с помощью прибора ПМТ-3 определяли микротвердость поверхностного слоя, после чего образцы подвергали алмазной и эльборовой доводке. При исследовании использовали круги на бакелитовой связке, зернистостью АСО и ЛО (100/80-125/100) 50 % и 100 % концентрацией. Показатели скорости вращения круга и давления были идентичными. Высоту микронеровностей поверхности получали в пределах $R_a=0,16\div 0,08$ мкм. Продолжительность контакта образцов с кругом 10 с.

Часть образцов после обработки абразивными кругами подвергали доводке, например, карбидом бора, карбидом бора с добавкой сажи, пастой ГОИ, механической притиркой на чугунном диске. Алмазная и эльборовая доводка по сравнению с другими методами обработки значительно повышает величину микротвердости, что связано с воздействием наклепа, упрочнения, частичного науглероживания, борирования, структурными изменениями.

Для установления характера изменений в химическом составе поверхностного слоя образцов при обработке его алмазным и эльборовым инструментом производили спектрографирование поверхностного слоя. Образцы для исследования представляли собой отрезанные от сверла, фрезы, зенкера развертки цилиндры высотой 50 мм и диаметром 30-32,5 мм с плоскими, строго параллельными торцами. Изменение параметров атомно-кристаллической решетки мартенсита и аустенита и изменения фазового состава в процессе алмазной и эльборовой доводки деталей из быстрорежущей стали проверяли рентгеноструктурным анализом поверхностных слоев образцов размерами 10×10×4 мм на установках УРС-50 ИМ, УРС-55. Поверхность шлифов обрабатывали по той же технологии, что и инструменты в производственных условиях. После установления химического состава один из образцов принимали за эталон, а остальные партии образцов (по 5 штук в каждой) доводили

соответственно в течение 10, 30, 60 и 90 с. Результаты исследования показывают следующее.

1. При обработке поверхности инструмента из быстрорежущей стали алмазными кругами наблюдается увеличение содержания углерода на 0,08-0,12 % в поверхностном слое в первые секунды доводки. Диффузия углерода происходит в отдельных точках поверхности, так как структура быстрорежущей стали неоднородна по свойствам металла и по расположению структурных составляющих.

2. В атомно-кристаллическую решетку мартенсита и остаточного аустенита в структуре быстрорежущей стали диффундируют дополнительное количество углерода, бора, азота, что приводит к некоторому ее искажению.

3. Существует некоторая тенденция к образованию дополнительного количества легирующих элементов, способствующих повышению стойкости инструмента.

4. В атомно-кристаллической решетке мартенсита и образцов, доведенных алмазными и эльборовыми кругами, несколько иные параметры по сравнению с параметрами решетки образцов, обработанных абразивным и другими методами. Упрочнение структуры может произойти вследствие изменения межатомных расстояний, в результате легирования или наклепа, что подтверждается увеличением микротвердости структурных составляющих (таблица 42).

Инструменты, отшлифованные корундовым кругом, имеют шероховатость поверхности $R_a=1,25\div 0,63$ мкм, а доведенные эльборовым кругом - $R_a=0,32\div 0,16$ мкм. Такое снижение шероховатости поверхности влияет на стойкость инструмента, но не обеспечивает повышение его стойкости в 1,5-2 раза, как при эльборовый доводке. Опыты по снижению шероховатости поверхности другими способами не показали существенного увеличения стойкости инструмента изготовленного из быстрорежущей стали. В то же время инструменты, например сверла, доведенные до одинаковой шероховатости поверхности разными методами, показали неодинаковую стойкость (табл. 42).

Таблица 42 – Стойкость сверл (Т), мин, в зависимости от метода доводки при обработке деталей из стали 45

Диаметр сверл, мм	Материал инструмента	Методы доводки			
		алмазная	эльборовая	абразивная	Абразивная с добавкой графита
9,5	P6M5	64,5	71,2	51,4	57,1
	P6M5K5	80,1	96,5	48,9	59,6
14,5	P6M5	110,2	114,6	87,1	74,6
	P6M5K5	121,6	161,4	91,4	87,5
21,25	P6M5	151,4	170,3	101,4	106,7
	P6M5K5	173,2	201,7	111,1	109,2

Стойкость инструмента после алмазной доводки в 1,3-1,5 раза, а при эльборовой в 1,5-2 раза выше, чем после абразивной, и в 2-3 раза выше по сравнению с притиркой на чугунном диске. Следовательно, основными причинами повышения стойкости инструмента, доведенного алмазными и эльборовыми кругами, являются улучшение микрорельефа режущего лезвия, удаление дефектного слоя, повышение микротвердости поверхностного слоя и другие факторы.

Все перечисленные условия одновременно воздействуют на поверхностный слой инструментов из быстрорежущей стали, повышая их стойкость.

6 Методы упрочнения инструментальных материалов

6.1 Методы повышения стойкости режущих инструментов

Для повышения эксплуатационных свойств режущие инструменты из инструментальных сталей после термообработки, финишных операций и заточки подвергаются еще дополнительной обработке, носящей общее название операций улучшения поверхностных слоев или «облагораживание», которые осуществляются химико-термическими, химико-механическими, химическими, электрическими, электрохимическими, электроэрозионными, электролитическими и другими методами.

В результате этих операций можно исправить такие дефекты, как обезуглероживание, недостаточную и неравномерную твердость и структуру поверхностных слоев рабочей части инструмента.

1. Химико-термический метод представляет такой вид обработки, при котором происходит изменение химического и свойства поверхностных из инструментальной стали. Эти изменения чаще всего достигаются за счет диффузии различных элементов из внешней среды в сталь.

Наиболее широкое распространение из химико-термических методов имеет цианирование, т. е. насыщение поверхностного слоя инструмента одновременно углеродом и азотом. В инструментальном производстве широкое применение имеет так называемое низкотемпературное жидкостное цианирование, которое обычно осуществляется для инструментов из быстрорежущих сталей при температуре 550-570 °С в соляных цианистых ваннах следующего состава: 1) 50 % цианистого калия KCN и 50 % цианистого натрия NaCN с температурой плавления смеси около 490 °С; 2) 96-98 % цианистого натрия NaCN и 42 % соды Na₂CO₃ с температурой плавления смеси около 550 °С; 3) 60 % цианистого натрия NaCN и 40 % соды Na₂CO₃ с температурой

плавления смеси около 440 °С. Последняя смесь наиболее жидкая и не дает значительного прилипания солей к обрабатываемому инструменту, а поэтому чаще применяется.

Процесс цианирования производится после термообработки и окончательной заточки. Инструмент погружается в тигель расплавленными солями на специальных крючках или проволоке и выдерживается в зависимости от размеров, формы и назначения инструмента от 4 до 30 минут. При этом получается поверхностный цианированный слой толщиной 0,02-0,07 мм, верхняя часть которого толщиной до 2-3 мкм включает, кроме избыточных карбидов быстрорежущей стали, цементит и нитрид железа. Твердость этого хрупкого слоя не превышает HRC= 62-64, поэтому он быстро изнашивается при резании. Основное влияние на режущие свойства инструмента оказывает вторая часть слоя, состоящая из мартенсита, карбидов и карбидонитридных фаз и имеющая твердость HRC до 70-72, а также повышенную теплостойкость и поверхности режес наблюдается налипание обрабатываемого материала и в связи с этим уменьшается коэффициент трения сходящей стружки. Вследствие этих причин стойкость цианированных инструментов повышается в 1,5-2 раза.

Сульфидирование, как и цианирование, выполняется после термической обработки и заточки инструментов. Оно обычно осуществляется в зависимости от размера и формы инструмента, с выдержкой от 45 минут до 3 часов, в тигельных ваннах при температуре 550-560° С. В состав ванны входят нагревательная (39 % хлористого кальция, 25 % хлористого бария и 17 % хлористого натрия) и активная (13,2 % сернистого железа в порошке и 3,4 % кристаллического серноокислого натрия) части, а также ускоритель – 3,4 % желтой кровяной соли.

После сульфидирования поверхность инструмента имеет серый цвет. В поверхностном слое толщиной до 0,1-0,12 мм главным образом по границам зерен выделяются сернистые соединения FeS, которые приобретают в процессе сухого трения самосмазывающую способность повышается в 1,5-2 раза износостойкость инструмента.

Обработка в атмосфере сухого и перегретого пара применяется для инструментов из быстрорежущих сталей. Инструменты после шлифования, заточки и обезжиривания помещают герметически закрывающуюся печь и при 300-350 °С начинают подачу пара давлением (9,81-29,43) 10^3 Н/м² в течение 20-30 минут для удаления воздуха из печи. Затем повышают температуру до 550-570° С выдерживают 30-60 минут, а затем охлаждают атмосферу пара до 300-350 ° С. В результате такой обработки на поверхности инструмента образуется темно синяя пленка магнитной окиси железа Fe₃O₄ толщиной 2-5 мкм. Эта оксидная пленка защищает инструмент от коррозии, а также удерживает смазку, понижает коэффициент трения и резко повышает температуру сваривания рабочих поверхностей инструмента стружкой при резании, чем способствует повышению стойкости инструмента на 50-75 %.

2. Химико-механические методы облагораживания используются для удаления прожогов, отпущенного троостита или сорбита и других дефектов поверхностного слоя рабочей части инструмента.

Дефектный слой можно удалить механической доводкой с помощью пасты ГОИ и наждачной пасты, а также полировкой в растворах электролитов. В первом случае доводка осуществляется дисками, кольцами и другими формами чугунных притиров, шаржированных пастами, состоящими из 65-75 % абразива (карбид бора, алмаз, карборунд и т. д.) и 35-25 % парафина. Для доводки твердосплавного инструмента широко применяются мелкозернистые алмазные и абразивные круги. Кроме того, доводка твердого сплава может производиться в растворах электролитов. В этом случае сернокислая медь электролита воздействует на кобальт, являющийся связующим веществом, и освобождает зерна карбидов вольфрама и титана, которые затем удаляются с помощью наждачного порошка.

3. Химическая и электрохимическая обработка производится стравливанием дефектов слоя кислотами или солями.

В первом случае после предварительного обезжиривания инструмент помещают в водный раствор, содержащий серную

азотную кислоту, а также медный купорос, и производят обычное химическое травление. Однако при этом способе наблюдается неравномерное стравливание. Более целесообразным методом является электрохимическое стравливание, когда инструмент подвешивается в ванне и является катодом, а с двух сторон подвешиваются свинцовые аноды. Процесс ведется при напряжении 2-6 В и плотности тока 10-15 А/дм². За 5-10 минут снимается дефектный поверхностный слой толщиной 0,01-0,02 мм, что обеспечивает повышение стойкости инструмента.

4. Электролитическое покрытие рабочих поверхностей инструмента хромом получило широкое применение при обработке инструментов, изготовленных из различных инструментальных сталей. Оно выполняется при низких температурах 50-70 °С. К тому же это покрытие имеет высокую твердость (65-67 HRC) и износостойкость и осуществляется в ваннах состава: 250 г хромового ангидрида CrO₃; 2,5 г серной кислоты H₂SO₃ в 1 л воды. Инструмент служит катодом, а анодом - свинец или нержавеющая сталь. Сущность процесса при хромировании сводится к осаждению хрома из хромовой кислоты присутствие ионов SO₄. Для осаждения хрома в канавках и отверстиях анодам придается соответствующая форма. Время выдержки в ванне зависит требуемой толщины (0,01-0,04 мм) покрытия. Во избежание отслаивания хрома от поверхности инструмента, подвергаемые покрытию, тщательно шлифуются и полируются, затем обезжириваются.

В производстве режущих инструментов из быстрорежущих легированных сталей хромирование является средством дополнительного повышения их износостойкости после цианирования. Это связано со следующими положительными свойствами хромированного слоя:

- 1) сохраняется высокая твердость при нагреве до 400-500 °С.
- 2) пониженный коэффициент трения по сравнению с обычными закаленными сталями;
- 3) высокая химическая устойчивость против воздействия кислот, влаги и т. д.;

4) повышенная теплопроводность (до 10-12 раз по сравнению с быстрорежущей сталью) улучшает условия отвода тепла при работе инструментов.

5) меньшая налипаемость обрабатываемого материала на поверхности инструмента. В связи с этим стойкость режущих инструментов (протяжки, развертки и др.) повышается в 1,5-2 раза. Но, несмотря на высокие свойства, электролитическое хромирование применяется реже цианирования и других методов облагораживания. Это связано с трудностями качественного и равномерного хромирования инструментов сложной формы.

5. Электроискровое покрытие инструмента графитом или твердым сплавом – одна из разновидностей электроискровой обработки, предложенной советскими учеными Р. Н. Лазаренко и Н. И. Лазаренко. Этот процесс производится при постоянном токе 4А, напряжением 220 В, непосредственно на воздухе. Наносимый твердый сплав и обрабатываемый инструмент мгновенно сближается и происходит местное оплавление поверхности за счет колебательного движения (100 движений в секунду) пластинки, установленной в вибраторе, а также за счет передачи энергии конденсаторной батареи емкостью от 20 до 40 мкФ. Кроме того, в месте их контакта происходит сваривание и перенос части графита марок ЭГ-2 или ЭГ-4 либо твердого сплава марок Т15К6 и Т30К4 на поверхность рабочей части инструмента. Толщина твердосплавного покрытия обычно не превышает 0,1 мм. Электроискровому покрытию твердым сплавом могут подвергаться различные инструменты. Инструменты с затылованными зубьями упрочняются по задней и передней поверхностям, долбяки и протяжки – по задней, а остро-заточенные инструменты упрочняются по задним поверхностям после каждой переточки, а по передней – при изготовлении инструмента. В результате покрытия твердыми сплавами стойкость инструментов повышается в 2-3 раза.

6.2 Методы нанесения покрытий на режущие инструменты

Существует большое число методов получения покрытий на рабочих поверхностях режущих инструментов (таблица 42). Под словом «покрытие» будем понимать такое образование на поверхности инструментального материала, которое существенно отличается по своим кристаллохимическим, физико-механическим и теплофизическим свойствам от соответствующих свойств инструментального материала (основы, значительно улучшает свойства последнего).

С учетом специфики протекания процессов формирования покрытий существующие методы можно разделить на три основные группы:

1) при которых формирование покрытий осуществляется преимущественно между насыщающими элементами и структурами инструментального материала;

2) по комплексному механизму. Покрытие образуются за счет реакции парогазовой смеси, состоящая из соединения металлоносителя, носителя второго компонента, служащего, как газом-транспортером, так и восстановителем. При этом одновременно в процесс формирования покрытий большой вклад вносят субструктура поверхности материала инструмента и интердиффузионные реакции между конденсатом и материалом инструмента;

3) за счет химических и плазмохимических реакций потока частиц одновременно в объемах пространства, непосредственно примыкающего к насыщенным поверхностям инструментального материала.

К методам первой группы относятся химико-термические методы образования покрытия (методы ХТМ), основанные на твердофазовом, жидкостном и газовом насыщении поверхностей инструмента:

- насыщение поверхности инструментальных сталей азотом и углеродом в газофазовых и жидких средах;

- ионное азотирование и цементация в плазме тлеющего разряда, борирование, нитрооксидирование и др. Эти элементы улучшают его поверхностные свойства.

Методы первой группы позволяют получить покрытия толщиной 10-40 мкм, что дает возможность увеличить стойкость различных типов инструментов из быстрорежущих и углеродистых сталей в 1,5-2 раза.

Среди этих методов наибольшим преимуществом обладает ионное азотирование инструментов из быстрорежущих сталей. Этот метод позволяет получить покрытия с минимальными деформациями инструмента при высокой скорости насыщения азотом (в плазме тлеющим разрядом) и регулировать структуру и свойства нитридных слоев. Эффективность быстрорежущих инструментов с ионным азотированием поверхностных слоев значительно снижается при глине азотированного слоя более 25-30 мкм и твердости слоя 1100-1200 HV и выше из-за хрупкого разрушения режущей части инструмента.

Ко второй группе методов относятся методы химического осаждения покрытий из парогазовой фазы (методы ХОП), получившие в мировой практике наименования CVD (Chemical vapor deposition).

Таблица 42 – Методы нанесения покрытий

Методы нанесения покрытий на режущие инструменты

ХТМ	ХОП	ФОП	Плазменный и детонационный
-----	-----	-----	----------------------------

Электроискровое легирование	Ионное азотирование в плазме	Ионная цементация в плазме	Ионная имплантация	Диффузионное насыщение из твердой, жидкой или газовой среды	ДТ	ГТ	Зарубежных фирм	КВТК	КИБ	РЕП	АРЕ	Ионизированное реактивное напыление	Детонационное напыление
-----------------------------	------------------------------	----------------------------	--------------------	---	----	----	-----------------	------	-----	-----	-----	-------------------------------------	-------------------------

Характер взаимодействия конденсата с материалом инструмента

Диффузионные реакции между насыщающими элементами и структурами инструмента при сильном влиянии последних на характер процесса	Химические реакции между элементами парогазовых смесей и интердиффузионные реакции между компонентами парогазовой смеси и структурами материала инструмента	Плазмохимические реакции при слабом взаимодействии со структурами материала инструмента	Взаимодействие материала инструмента с высокоэнергетическим потоком механических частиц или плазмы
--	---	---	--

Сильное изменение прочностных свойств материала инструмента	Среднее изменение прочностных свойств материала инструмента	Слабое изменение прочностных свойств материала инструмента
---	---	--

Методы ХОП получили широкое распространение для нанесения покрытий на основе карбидов, нитридов, карбонитридов титана, а также оксида алюминия на многогранные не пере-

тачиваемые твердосплавные пластинки. На основе методов ХОП разработаны технологии, применяемые известными фирмами – производителями твердосплавных инструментов Сандвик Коромант (Швеция), Теледайн (США), Планзее (Австрия), Видиа Крупп (ФРГ), Юджин Карбон (Франция) и др. Во ВНИИТСе разработан метод нанесения карбидтитановых покрытий на непере-тачиваемые твердосплавные пластинки (метод ГТ).

Разновидностью методов ХОП является метод вакуумного титанирования (КВТК), разработанный Московским институтом инженеров транспорта совместно с Московским комбинатом твердых сплавов.

Методы второй группы обычно реализуются при температурах около 1000-1100 °С, что исключает их использование для нанесения покрытий на инструмент из быстрорежущей стали, подвергнутые полной термической обработке.

К третьей группе методов могут быть отнесены методы физического осаждения покрытия (метод ФОП), получившие название в мировой практике PVD (Physical vapor deposition).

Среди методов ФОП наибольшее распространение получил метод конденсации покрытия из плазменной фазы в вакууме с ионной бомбардировкой поверхностей инструмента (метод КИБ), а так же метод реактивного электронно-лучевого плазменного осаждения покрытий из плазменной фазы в вакууме (метод РЭП).

К методам третьей группы относятся также плазменное и детонационные методы напыления покрытий, которые лишь ограниченно используют при производстве режущих инструментов.

Основными недостатками напыления пламенных покрытий являются:

- высокая пористость;
- слабая адгезия с инструментальным материалом;
- необходимость тщательной подготовки поверхностей инструмента и то, что не всегда можно регулировать свойства покрытия;
- недостаточная производительность;

- большой уровень шума.

Схема этого метода показана на рисунке 35. Главная его особенность по сравнению с методом катодного напыления состоит в том, что в промежутке между электродом 8 - мишенью (с нанесенным на нее напыляемым материалом) и подложкой 4 действует независимый, «дежурный» газовый разряд. Разряд имеет место между электродами 6 и 7, причем тип разряда - несамостоятельный дуговой. Для этого типа разряда характерны: наличие специального источника электронов в виде накаливаемого катода 6, низкие рабочие напряжения (десятки вольт) и большая плотность электронно-ионной плазмы. Процесс напыления состоит в следующем. На мишень относительно плазмы (практически - относительно заземленного анода 7) подается отрицательный потенциал (2-3 кВ), достаточный для возникновения аномального тлеющего разряда и интенсивной бомбардировки мишени положительными ионами плазмы. Выбиваемые атомы мишени попадают на подложку и осаждаются на ней. Таким образом, принципиальных различий между процессами катодного и ионно-плазменного напыления нет. Различаются лишь конструкции установок, их называют соответственно двух- и трех - электродными.

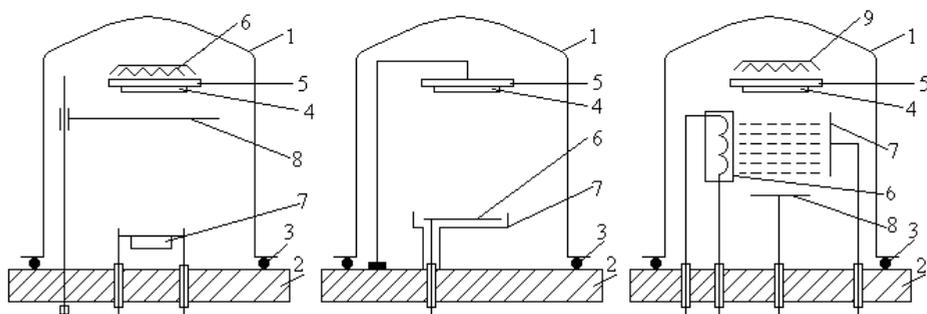


Рисунок 35 – Ионно-плазменная установка

Начало и конец процесса напыления определяются подачей и отключением напряжения на мишени. Если предусмотреть механическую заслонку, то ее наличие позволяет реализовать важ-

ную дополнительную возможность: если до начала напыления закрыть заслонку и подать отрицательный потенциал на мишень, то будет иметь место ионная очистка мишени. Такая очистка полезна для повышения качества напыляемой пленки. Аналогичную очистку можно проводить на подложке, подавая на нее (до напыления пленки) также отрицательный потенциал.

При напылении диэлектрических пленок возникает затруднение, связанное с накоплением на мишени положительного заряда, препятствующего дальнейшей ионной бомбардировке. Это затруднение преодолевается путем использования так называемого высокочастотного ионно-плазменного напыления. В этом случае на мишень наряду с постоянным отрицательным напряжением подается переменное напряжение высокой частоты (около 15 МГц) с амплитудой, несколько превышающей постоянное напряжение. Тогда, во время большей части периода результирующее напряжение отрицательно; при этом происходит обычный процесс распыления мишени и на ней накапливается положительный заряд. Однако во время небольшой части периода результирующее напряжение положительно; при этом мишень бомбардируется электронами из плазмы, то есть распыления не происходит, но зато компенсируется накопленный положительный заряд.

Преимущества ионно-плазменного метода по сравнению с катодным состоят в большей скорости напыления и большей гибкости процесса (возможность ионной очистки, возможность отключения рабочей цепи без прерывания разряда). Кроме того, на качестве пленок сказывается более высокий вакуум.

6.3 Физико-механические свойства материалов с покрытиями

В ходе исследований устанавливались изменения основных параметров покрытий (толщина, микротвердость) и стойкости инструмента в зависимости от положения инструмента в ка-

мере, расстояния от испарителя, оптической оси плазменного потока и от напряженности магнитного поля.

С целью отработки методики принималось двухкомпонентное покрытие TiN, которое наносилось на твердосплавные режущие пластины марок ВК6, Т15К10, Т14К8, ТТ10К8Б квадратной формы размером 12,5x12,5 мм и толщиной 4,75 мм, затем исследовались структурные характеристики, толщина покрытия, микротвердость и проводились стойкостные испытания.

Структурные характеристики исследовались с помощью рентгеновской установки «Дрон-2» при следующих параметрах: давлении $p = 2 \cdot 10^{-13}$ мм. рт.ст., времени ионной бомбардировки $\tau_{и.б} = 15-60$ мин, напряжении ионной бомбардировки $U_{и.б} = 1000$ В, силе тока дуги $I_d = 97$ А, магнитной напряженности фокусирующей катушки $H_\phi = 200$ Э = 16000 А/м.

В таблице 30 представлены результаты исследований образцов из твердого сплава ВК6. Аналогичные результаты были получены и для пластин ТТ10К8Б с покрытием TiN. На основе данных по толщинам покрытий пластин, имеющих различное положение в камере при заданном времени конденсаций покрытий, рассчитаны скорости осаждения покрытий.

Таблица 30 – Характеристики твердосплавных пластин ВК6 с покрытиями при $H_\phi = 200$

Номер режима	Расстояние от испарителя, мм	Расстояние l от оси потока, мм	Параметры покрытия	
			Толщина h, мм	Микротвердость Н _μ *при нагрузке 100 г, МПа
1	80	0	6,75	1873
	80	80	3,60	1873
2	110	0	9,30	1763
	110	80	5,40	1995
	110	150	0,70	2127
3	200	0	7,70	1664
	200	80	6,60	1900
	200	150	3,00	2127
4	300	0	7,10	1873
	300	80	4,90	2270
	300	150	3,20	2384

*Значение микротвердости определяли на образцах, имеющих толщину покрытия h не менее 10 мкм, полученных в тех же условиях.

Анализ результатов позволяет сделать вывод о характере процесса, протекающего в камере с магнитными фокусирующими катушками. Установлен значительный разброс параметров покрытия (толщина, микротвердость), а также характеристик покрытий TiN в зависимости от расположения образцов в камере при различных значениях напряженности магнитного поля.

В настоящее время разработано и используется много методов термической и химико-термической обработки, приводящих к улучшению свойств металлообрабатывающего инструмента из быстрорежущих сталей. Вопросам химико-термической обработки (цементации, азотированию, карбонитрации, нитроцементации, цианированию, диффузионному хромированию, борированию, силицированию и алитированию) твердых сплавов в научно-технической литературе уделено много внимания [10, 29], однако, есть много противоречий и сложностей в их техническом решении.

Ионное азотирование проводилось в следующей последовательности. Протерли твердосплавный инструмент и приспособления ацетоном ГОСТ 2603-79 безворсной салфеткой, сушили на воздухе 20 минут. Перед началом работы в вакуумной печи НГВ 6/6-1 промерили натекание течеискателем ПТИ-10 и включили газовый блок, температура диссоциатора $850 \pm 10^\circ\text{C}$. Собрали термопарный узел и укрепили его на контрольном образце. Разместили образцы пластин на столе в печи, загерметизировали, продули печь диссоциированным аммиаком методом наполнения, остаточное давление 6,665 Па. Для очистки детали подали напряжение 300-400 В и вызвали тлеющий разряд. Постепенно (по мере очистки) увеличили напряжение до 500 В. Время очистки ≈ 1 час. Продули печь диссоциированным аммиаком. Нагрели до температуры изотермической выдержки в течение 1 часа, постепенно увеличивая напряжение и давление газа. Рабочая среда в камере: аммиак диссоциированный, давление – 533,2-799,4 Па (84-100 мА), напряжение U – 350-450 в. Охладили садку, не снимая разряд, до 280°C в течение 1 часа. Затем отключили подачу

газа. Провели вакуумирование камеры нагрева до 6,665 Па. Охладили детали в вакууме до $t \leq 30-40^\circ\text{C}$ (2 - 3 ч). Разгерметизировали печь, выгрузили образцы. Ориентировочно время цикла (без изотермической выдержки) – 4 часа.

Схема процесса ионного азотирования приведена на рисунке 35.

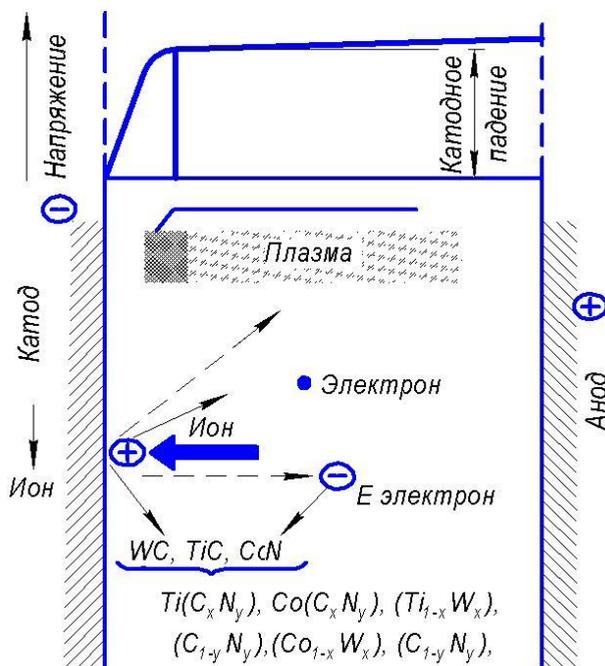


Рисунок 35 – Схема процессов на поверхности катода и анода при ионном азотировании

Провели ионное азотирование твердосплавных образцов при температуре 540°C - 1, 2, 4, 8, 12 и 16 часов, время изотермической выдержки – 1 и 2 часа.

Внешний вид твердосплавного инструмента (рисунок 36) после ионного азотирования приобретает серебристо-белый цвет. Чем больше длительность, тем более насыщенный белый цвет.



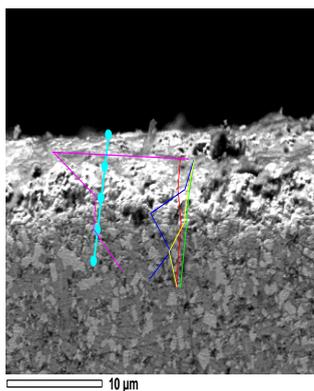
а

б

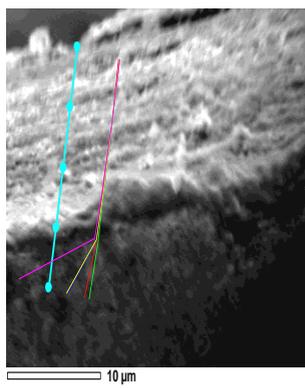
а – чашечный резец марки RPUX 2709 M0 TN, T14K8;
б – твердосплавная четырехгранная пластина T15K6

Рисунок 36 – Твердосплавные инструменты после ионного азотирования

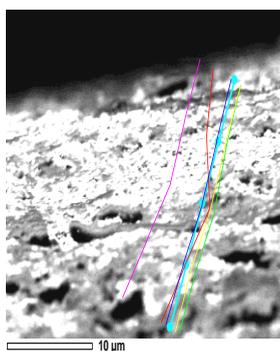
Анализ химического состава слоя после ионного азотирования твердых сплавов T14K8 определяли в пяти точках (от края к центру через 0,1 мм), исследовали на электронном микроскопе JEOL JCM-6000 (рисунок 37).



а



б



в

а – образец, ионное азотирование 540 °С, 2 ч; б – образец,
540 °С, 4 ч;
в – образец Т14К8 ионное азотирование 540 °С, 8 ч

Рисунок 37 – Структура поверхностного слоя твердого сплава Т15К6

6.4 Анализ методов термообработки режущих инструментов

В практике изготовления твердых сплавов после спекания применяется медленное охлаждение (2-5 град/мин), что определяется главным образом возможностью влияния скорости охлаждения на появление трещин в изделии, и в связи с этим вопросы ускоренного охлаждения сплавов после спекания до настоящего времени являются предметом исследований. Проводятся исследования по термической обработке сплавов, и особенно группы ВК.

Анализ научно-технической литературы показывает, что авторы по-разному объясняют явления и свойства термообработанных сплавов, при этом анализируют различные свойства (твердость, прочность, размер зерен и т.д.). Однако данные по эксплуатационным испытаниям резанием часто отсутствуют. Отсутствие этих данных можно объяснить тем, что стойкостные испытания при резании являются длительными и трудоемкими, хотя только они могут полностью решить спорные вопросы преимуществ и недостатков термообработки сплавов при резании. Значительно сократить количество экспериментов, необходимых для определения оптимальных режимов термической обработки, позволяет применение методов планирования эксперимента и решение задачи по одновременной оптимизации по нескольким параметрам.

В проводимых экспериментах за основу при построении интерполяционной модели стойкости упрочненного термической обработкой инструмента был выбран метод полного факторного эксперимента порядка.

Термообработка проводилась в соляных ваннах. Использовались штабики размером 5×5×35мм и пластины изготовленные из твердого сплава ВК8. Составы соляных ванн с интервалом рабочих температур принимали следующие:

- 1) 28 % NaCl + 72 % BaCl₂, T = 795-1235 °C.
- 2) BaCl₂, T = 885-1335 °C.

3) 50 % KNO_2 + 50 % NaNO_3 , $T = 245\text{-}535\text{ }^\circ\text{C}$.

Термическая обработка проводилась в следующей последовательности. Пластины и штабики укладывались в корзины, с последующим их опусканием в ванну подогрева состава 1 при температуре $800\text{ }^\circ\text{C}$ с выдержкой в течение 5 минут. Далее пластины помещались в ванну для нагрева состава 2 до температур $885\text{-}1250\text{ }^\circ\text{C}$ и выдерживались в течение 4 минут. Следующим этапом является изотермическая закалка пластин при температуре $150\text{ }^\circ\text{C}$, $200\text{ }^\circ\text{C}$, $350\text{ }^\circ\text{C}$, $500\text{ }^\circ\text{C}$ в ванне состава 3 в течение 5, 10, 15 минут с последующим охлаждением на воздухе. Окончательным этапом является промывка пластин в горячей воде с барботированием воздуха в течение 10 минут и сушка горячим воздухом.

Для анализа изменения режущих свойства твердого сплава ВК8 в зависимости от режимов термообработки проводили измерения твердости, предела прочности, величины износа, также изучалось изменение микроструктуры.

При определении влияния изотермической обработки на свойства твердого сплава в качестве варьируемых факторов использовалась температура нагрева под закалку $T_{\text{н.з}}$ и температура изотермической закалки $T_{\text{из.в}}$. Данные факторы в натуральном и кодированном виде, а также их числовые значения на верхнем, нижнем и основном уровнях представлены в таблицах 44,45. В качестве функции отклика приняты твердость, предел прочности при изгибе, а также износ пластины по передней и задней поверхности.

После обработки результатов, полученных при реализации опытов по составленной матрице, мы получим линейное уравнение регрессии:

$$y = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + b_3x_3 + \dots - b_nx_n \quad (1)$$

После проверки значимости коэффициентов, были получены уравнения зависимости твердости, предела прочности при изгибе и износа от режимов термической обработки и принявшие следующий вид:

$$Y_{1HV} = 1667 + 73X_1 - 18X_2 + 10X_3$$

$$Y_{2\sigma_{из.}} = 1366 - 71X_1 + 14X_2 - 116X_3$$

$$Y_{3h_{пер.}} = 0,15 + 0,01X_1 + 0,005X_2 + 0,01X_3$$

Анализ уравнения по твердости показывает, что для повышения твердости необходимо увеличивать температуру нагрева под закалку, понижать температуру изотермической выдержки, увеличивать скорость охлаждения после изотермической закалки.

Для уравнения прочности на изгиб желательно снижать температуру нагрева под закалку и уменьшать скорость охлаждения после изотермической закалки. Анализ уравнения по износу (по задней поверхности) показал, что все коэффициенты в плюсе, следовательно, необходимо увеличивать температуру нагрева под закалку и скорость охлаждения после изотермической закалки.

Таблица 44 – Условия и результаты опытов с использованием планов первого порядка 2^{3-1} для термообработки твердого сплава ВК8 с однократной закалкой и отпуском

Факторы	Температура нагрева под закалку, °С	Среда охлаждения	Температура отпуска, °С	Твердость HV, МПА	Жаростойкость, мг	Предел прочности при изгибе $\sigma_{из}$, МПа	Коэрцитивная сила H_c , Э
Основной уровень (0)	1050	Воздух	400				
Предел варьирования	100		200				
	1150	Масло	60				
Верхний уровень (+)	950	Воздух	200				
Нижний уровень (-)							
Код	X_1	X_2	$X_3=X_1X_2$	Y_1	Y_2	Y_3	Y_4
Опыт:							
1	+	+	+	1419	2,0	1360	134
2	+	-	-	1440	5,2	1730	140
3	-	+	-	1363	0,8	1400	143
4	-	-	+	1390	15,0	1340	128
5 (осн. Уровень)	1050	Воздух	400	1400	1,8	1380	137
6	1050	Масло	400	1450	4,2	2020	140
7 (доп. Уровень)	1050	Воздух	-	1364	3,4	1160	133
8	1050	Масло	-	1390	5,6	1470	123
9 (осн. Уровень)	1050	Вода	-	1460	6,0	2020	135
10 (исходные, без термообработки)				1300...1350	15,2	1410	125
Примечание. Время нагрева образцов под закалку в печи сопротивления в среде водорода 10 мин, время отпуска 30 мин. После отпуска – охлаждение в воду							

Таблица 45 – Условия и результаты опытов и стойкостных испытаний пластин

Факторы	Температура, °С		Время изотермической выдержки, мин	Твердость HV, МПа	Предел прочности при изгибе σ , МПа	Коэрцитивная сила Hc, Э	Износ по поверхности, мм	
	Нагрев под закалку	Изотермической закали (ванны)					Задней h_3	Передней h_n
Сплав ВК8 с использованием планов первого порядка 2^{3+1} для изотермической закали								
Основной уровень (0)	1000	350	10					
Предел варьирования	150	150	5					
Верхний уровень (+)	1150	500	15					
Нижний уровень (-)	850	200	5					
Код	X_1	X_2	$X_3=X_1X_2$	Y_1	Y_2	Y_3	Y_4	Y_5
Опыт:								
1	+	+	+	1516	2430	148	0,23	0,71
2	-	+	-	1413	2070	136	0,25	0,71
3	+	-	-	1425	1790	138	0,37	0,37
4	-	-	+	1370	2120	124	0,204	0,24
5	0	0	0	11369	2150	133	0,33	0,39
6 (исходный, без термообработки)				1372	1520	141	0,36	0,36
Твердый сплав Т15К6								
Основной уровень (0)	1000	350	10					
Предел варьирования	100	150	5					
Верхний уровень (+)	1150	500	15					
Нижний уровень (-)	950	200	5					
Код	X_1	X_2	$X_3=X_1X_2$	Y_1	Y_2	Y_3	Y_4	Y_5
Опыт:								
1	+	+	+	1628	155	1060	0,28	0,40
2	-	+	-	1594	139	1070	0,31	0,34
3	+	-	-	1608	150	1230	0,37	0,30
4	-	-	+	1570	145	1140	0,22	0,33
5 (исходный, без термообработки)	1000	350	10	1583	145	1230	0,50	0,80
				1500	152	1000	0,57	0,90

6.5 Лазерная обработка режущих инструментов

Упрочнение поверхностного слоя лазерным излучением инструмента, изготовленного из твердого сплава, увеличивает его износостойкость. Исследование влияния различных видов и режимов лазерной обработки изделий на состояние их поверхности имеет большое научное и практическое значение. В данном разделе рассмотрены вопросы лазерного воздействия на твердый сплав Т15К6. Провели изучение влияния видов лазерного воздействия:

Использовались следующие режимы лазерной обработки:

1 Импульсное воздействие (изменение длительности импульса воздействия лазера от 10 до 20 мс, при постоянном диаметра сфокусированного луча и энергии излучения);

2 Импульсное воздействие (изменение диаметра сфокусированного луча от 1 до 2 мм, энергии излучения от 4 до 8 Дж, длительности импульса воздействия от 2 до 12 мс);

3 Непрерывное воздействие (изменение плотности мощности лазера от 200 до 400 Вт/см², скорости перемещения лазерного луча от 20 до 40 мм/с) на механические (микротвердость, предел прочности при изгибе), эксплуатационные (износ при резании, алмазно-абразивный износ), структурные (глубина проникновения лазерного воздействия, микроструктура поверхностных слоев, параметры структуры – размер зерна, размеры решетки, напряжения, физическое уширение, размеры блоков, размеры каждого типа частиц составляющих структуру, площадь карбидов), элементный анализ состава.

Проведена импульсная лазерная обработка поверхности твердого сплава состава WC-TiC-Co в широком диапазоне параметров лазерного пучка (длительность импульса воздействия лазера $\tau=10-20$ мс, энергия излучения в импульсе $E=8,0\pm 0,2$ Дж, диаметр сфокусированного луча $2-3\pm 0,1$ мм. Форма импульса – колокол (рисунок 38).

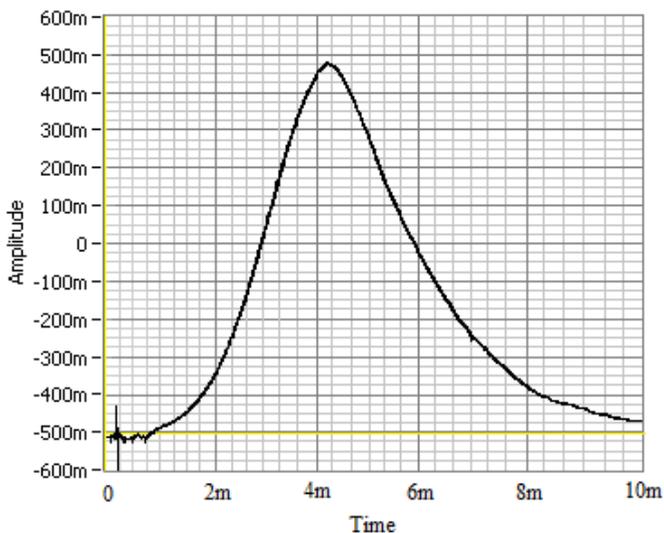


Рисунок 38 – Осциллограмма импульса излучения лазера (колокол) $\tau \sim 10$ мс

В качестве объекта исследования применяли трехгранные пластины твердого сплава Т15К6, размером $17,4 \times 17,4 \times 4,76$ мм, ГОСТ 19047-80 и штабики размером $5 \times 5 \times 35$ мм. Для увеличения коэффициента поглощения, уменьшения отражения и создания поверхностного слоя для защиты от окисления проводилась специальная подготовка поверхности. Образцы засыпали смесью едкого натрия, нитрата калия и нитрита натрия в соотношении 1:1:1. Помещали на 0,5 ч в нагревательную печь марки СУОЛ 04 4/12 при температуре 200 °С. На образцах получали пленку темно-серого цвета толщиной 8 мкм, измеренную на JEOL JCM 6000, которая способствует эффективному нагреву поверхности лазерным излучением. Внешний вид пластин твердого сплава Т15К6 после лазерной обработки на установке LRS-1 без оплавления поверхности представлен на рисунке 39. Обработку лазером проводили по контуру от выделенной точки по часовой стрелке.



а



б

а - $\tau = 10$ мс, $E = 8,0$ Дж, $\varnothing = 3,0$ мм; б - $\tau = 16$ мс, $E = 8,0$ Дж, $\varnothing = 3,0$ мм

Рисунок 39 – Внешний вид пластин после лазерной обработки на установке LRS-1

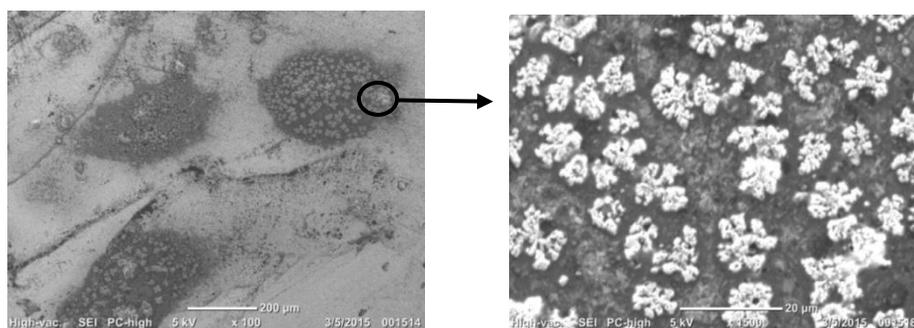
Были проведены испытания штабиков после лазерной обработки на установке LRS-1 на изгиб, абразивный износ, резание (таблица 46).

Таблица 46 – Результаты испытаний штабиков после лазерного воздействия

Режим термо-обработки	Предел прочности на изгиб, $\sigma_{и}$, Н/мм ²	Число проходов при резании	Износ при резании, мм		Алмазно-абразивный износ $\Delta P/S$, г/мм ²
			по передней поверхности, $h_{пп}$	по задней поверхности, $h_{зп}$	
Исходный Т15К6	1150	5	0,3	0,3	0,0008
$\tau = 10$ мс, $E = 8,0 \pm 0,2$ Дж $\varnothing = 3,0 \pm 0,1$ мм	1050	5	0,28	0,22	0,0007
$\tau = 12$ мс, $E = 8,0 \pm 0,2$ Дж $\varnothing = 3,0 \pm 0,1$ мм	1000	5	0,14	0,2	0,0007
$\tau = 14$ мс, $E = 8,0 \pm 0,2$ Дж $\varnothing = 3,0 \pm 0,1$ мм	980	5	0,2	0,18	0,0007
$\tau = 16$ мс, $E = 8,0 \pm 0,2$ Дж $\varnothing = 3,0 \pm 0,1$ мм	950	5	0,18	0,1	0,0007
$\tau = 18$ мс, $E = 8,0 \pm 0,2$ Дж $\varnothing = 3,0 \pm 0,1$ мм	980	5	0,15	0,1	0,006
$\tau = 20$ мс, $E = 8,0 \pm 0,2$ Дж $\varnothing = 3,0 \pm 0,1$ мм	800	5	0,1	0,06	0,0006

Импульсно-лазерное воздействие повышает износ примерно в 2-3 раза. Определена микротвердость, как среднее значение из 5 замеров, всех граней.

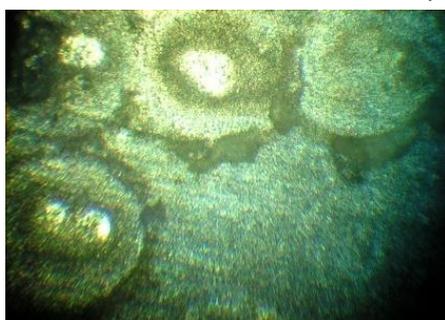
С целью изучения глубины проникновения лазерного излучения и связанного с этим изменения структуры слоев материала, образцы были разрезаны поперек алмазным кругом на станке марки и исследованы на мультивизоре μ Vizo - MET-221. Изменение глубины лазерного воздействия в зависимости от длительности импульса воздействия приведены на рисунке 40.



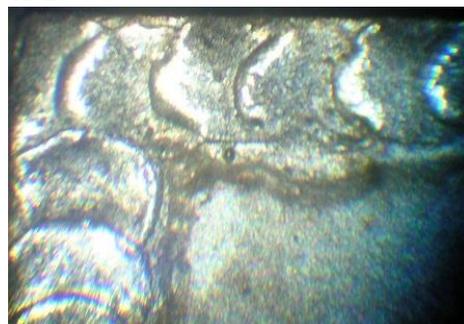
а

б

а – х 100; б – х 1500



в × 50



г × 50

Рисунок 40 – Микроструктура облученной лазерным излучением поверхности твердого сплава Т15К6 (а, б) и внешний вид твердого сплава ВК8 (в, г)

После лазерной обработки исследовалось изменение фазового состава твердого сплава. Проведенный рентгенофазовый анализ пока-

зывает, что для сплавов ВК8 при значении плотности энергии до 0,9 Дж/мм² видимых изменений в фазовом составе не наблюдается. С повышением плотности энергии становится заметным выделение углерода в виде графита, что позволяет оценить температуру не ниже 1300 °С. Карбиды вольфрама испаряются инконгруэнтно, теряя углерод вплоть до превращения карбидной фазы в металлический вольфрам или в первичный твердый раствор углерода в вольфраме. С поверхности карбида вольфрама испаряется атомарный углерод, а состав твердой фазы переходит в двухфазную область WC + W₂C или в область гомогенности низшего карбида вольфрама W₂C. Некоторые авторы приводят сведения о том, что упорядочение структуры карбидов, закаленных от высокой температуры (2100-2400 °С), неполное. Реакция WC ↔ W₂C + графит оказывается в основном лишь перераспределением гексагональных плоскостей. Выделение атомов углерода при переходе от WC до W₂C превращает простую гексагональную структуру в плотноупакованную. Указанную реакцию можно выразить следующим образом $ACACAC \leftrightarrow A \frac{1}{2} CB \frac{1}{2} CA \frac{1}{2} CB \frac{1}{2} C + \text{графит}$.

Карбид вольфрама W₂C достаточно сложная для идентификации фаза, так как для нее известны три полиморфные модификации. Первая модификация γ - W₂C, неупорядоченная гексагональная, стабильная между 2450 °С и температурой плавления. Вторая модификация β - W₂C, орторомбическая, стабильная в пределах температур 2100-2400 °С. Третья модификация α - W₂C, гексагональная упорядоченная модификация, стабильная при 2100-1250 °С. Дифрактограммы всех трех модификаций достаточно схожи и отличаются очень слабыми сверхструктурными рефлексамии.

Появление в зоне лазерного воздействия η - фазы (Co₃W₃C) обуславливает обеднение поверхностного слоя углеродом, что отрицательно влияет на прочностные характеристики твердого сплава, поскольку, химически связывая кобальт, η - фаза уменьшает содержание металлического кобальта в прослойке, ослабляя закрепление карбидной фазы в связке. Хотя очень слабые рефлексии семейств отражающих плоскостей этих карбидов указывают на их небольшое массовое количество. Дифрактограмма зоны лазерного воздействия сплава ВК8

диапазон углов отражения 70-120° приведена на рисунке 41.

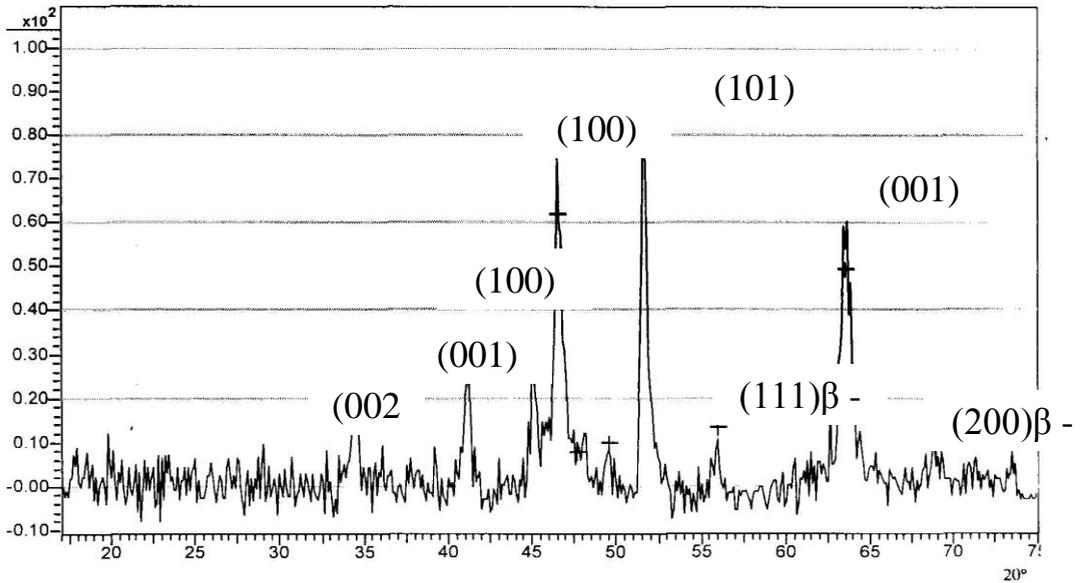


Рисунок 41 – Диффрактограмма зоны лазерного воздействия сплава ВК8 диапазон углов отражения 70-120°

Таким образом, с точки зрения фазового анализа и эксплуатационных испытаний в зоне лазерного воздействия наиболее приемлемой является структура с минимальными отклонениями от исходного состояния. Плотность энергии лазерного излучения при этом составляет 0,9-1,0 Дж/мм².

7 Контроль технологических режимов и качества режущего инструмента

Вследствие различных температурных изменений по сечению происходит неодинаковое расширение или сжатие, а также образование неоднородных структур стали в объеме изделия. Поскольку ни один элементарный объем не может изменить свое положение независимо от окружающего металла, то и возникает упругое, а иногда упругопластическое взаимодействие слоев стали, определяемых изотермами.

Внутреннее напряжение в термически обработанных изделиях возникает в условиях ограниченной деформации. Деформация в этом случае может осуществляться только в пределах разности объемов стали взаимодействующих в изделии. Для разрушения стали под действием внутренних напряжений необходимо, чтобы разность объемов взаимодействующих слоев изделий была велика настолько, что при данном напряженном состоянии могла исчерпаться не только упругая, но и пластическая деформация металла. Наружный мартенситный слой будет препятствовать увеличению объема сердцевины, и в поверхностном слое возникнут растягивающие напряжения. В данном случае, после окончания превращений, при отсутствии даже разности в удельных объемах, в изделии, наружные зоны стали окажутся подвергнутыми растяжению, а внутренние - сжатию.

В подавляющем большинстве термически обрабатываемых изделий разность в линейных размерах сопрягаемых слоев стали значительно меньше указанных. При высоких напряжениях вызывающих лавинные разрывы, скорость продвижения трещин составляет 0,25-0,3 от скорости звука. В случае хрупкого ударного разрушения стали была установлена скорость распространения раны примерно 2000 м/с. В вязком ударном разрушении, которое сопровождается замедленным развитием пластической деформации, трещина растёт со скоростью только 6 м/с (рисунок 42).

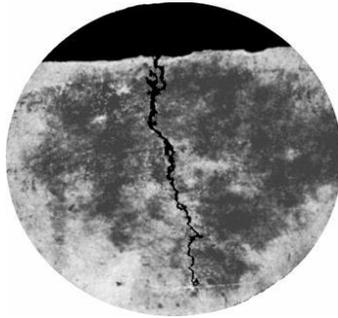


Рисунок 42 – Закалочная трещина

Список использованных источников

- 1 Аверьянов, О.И. Режущий инструмент / О.И. Аверьянов. – М.: МГИУ, 2007. – 144 с.
- 2 Анциферов, В.Н. Термохимическая обработка порошковых сталей / В.Н. Анциферов, С.И. Богодухов, В.Я. Буланов, Л.М. Гревнов – Екатеринбург: Ур О РАН, 1997. – 421 с.
- 3 Бондаренко, В.А. Обеспечение качества и улучшение характеристик режущих инструментов / В.А. Бондаренко, С.И. Богодухов., – М.: Машиностроение, 2000. – 144 с.
- 4 Технологические процессы в машиностроении [Текст]: учебник для вузов / С.И. Богодухов, Е.В. Бондаренко [и др.] – М.: Машиностроение, 2009. – 640 с.
- 5 Богодухов, С.И. Материаловедение: учебник / С.И. Богодухов, Е.С. Козик. – Москва: Машиностроение, 2015. – 536 с
- 6 Богодухов, С.И. Материаловедение и технологические процессы в машиностроении: учебник / С.И. Богодухов, – Старый Оскол: ТНТ, 2017. – 560 с.
- 7 Богодухов, С.И. Обработка упрочненных поверхностей в машиностроении и ремонтном производстве [Текст]: учеб. пособие для вузов / С.И. Богодухов, В.Ф. Гребенюк, А.Д. Проскурин. – Машиностр., 2005. – 256 с.

8 Богодухов, С.И. Основы проектирования заготовок в автоматизированном машиностроении [Текст]: учебное пособие для вузов / С.И. Богодухов [и др.] – Машиностроение, 2005. – 256 с.

9 Богодухов, С.И. Материаловедение и технологические процессы в машиностроении: учебное пособие для вузов / С.И. Богодухов, А.Д. Проскурин, Р.М. Сулейманов. – Старый Оскол: ООО «ТНТ», 2015. – 560 с.

10 Геллер, Ю.А. Инструментальные стали / Ю.А. Геллер. – М.: Металлургия, 1983. – 527 с.

11 Григорьев, С.Н. Технологические методы повышения износостойкости контактных площадок режущего инструмента / С. Н. Григорьев, В. П. Табаков, М. А. Волосова. – Старый Оскол: ТНТ, 2011. – 379 с.

12 Григорьев, С. Н. Методы повышения стойкости режущего инструмента: учебник / С.Н. Григорьев. – М.: Машиностроение, 2009. – 368 с.

13 Гуляев, А.П. Металловедение: Учебник для вузов / А.П. Гуляев, А.А. Гуляев. – М.: Альянс, 2012. – 644 с.

14 Зоткин, В.Е. Методология выбора материалов и упрочняющих технологий в машиностроении : учеб.пособие / В.Е. Зоткин. – 3-е изд., перераб. и доп. – М. : Высш. шк., 2004. – 264 с.

15 Инструментальные стали: справочник / Л.А. Позняк и др. – М.: Металлургия, 1977. – 168 с.

16 Зубарев, Ю.М. Современные инструментальные материалы: Учебник. – СПб.: Издательство «Лань», 2008. – 224 с.

17 Кожевников, Д.Н. Режущий инструмент: Учебник для ВУЗов / Д. Н. Кожевников. – М.: Машиностроение, 2014. – 520 с.

18 Логинов, Ю.Н. Инструмент для прессования металлов: учебное пособие / Ю.Н. Логинов, Ю.В. Игнатович. – Екатеринбург: Издательство Уральского университета, 2014. – 224 с.

19 Машиностроение. Энциклопедия. В 40 т. Технология изготовления деталей машин. Т III-3 / А.М. Дальский, А.Г. Суслов, Ю.Ф. Назаров и др.; Под общ. ред. А.Г. Суслова. М.: Машиностроение – 2002. – 840 с.

20 Обработка металлов резанием: Справочник технолога / А.А. Панов, В.В. Аникин, Н.Г. Бойм и др.; Под общ. ред. А.А.Панова. – М.: Машиностроение, 1988. – 736 с.

21 Поляк, М.С. Технология упрочнения. Технологические методы упрочнения. В 2- т. – М.: “Л.В.М.-СКРИПТ”, Машиностроение, 1995. – Т. 1 – 832 с.; т. 2– 688 с.

22 Палей, М.М. Технология производства металлорежущих инструментов. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1982. – 256 с.

23 Сахаров, Т.Н. Металлорежущие инструменты: Учебник для вузов по специальности «Технология машиностроения», «Металлор-

ежущие станки и инструмент» / Т.Н. Сахаров, О.Б. Арбузов, Ю.Л. Боровой и др. – М.: Машиностроение, 1989. – 328 с.

24 Справочник технолога-машиностроителя: в 2 т. / под. ред. А.М. Дальского [и др.] – Машиностроение, 2001. – 944 с.

25 Справочник инструментальщика / И. А. Ординарцев, Г. В. Филиппов, А.Н. Шевченко и др.; Под общ. ред. И.А. Ординарцева. – Л.: Машиностроение, 1987. – 846 с.

26 Таймингс, Р. Машиностроение. Разъемные и неразъемные соединения, режущий инструмент / Р. Таймингс. – М.: Додэка XXI, 2009. – 336 с.

27 Федюкин, В.К., Смагоринский М.Е. Термоциклическая обработка металлов и деталей машин / В.К. Федюкин, М.Е. Смагоринский. – Ленинград: Машиностроение, 1989. – 255 с.

28 Фельдштейн, Е.Э. Режущий инструмент. Эксплуатация: Учебное пособие / Е.Э. Фельдштейн, М.А. Корниевич. – М.: ИНФРА-М, Нов. знание, 2012. – 256 с.

Приложение А

Таблица А1– Вид инструмента

Инструмент	Рекомендуемая сталь
Фасонные резцы для обработки: Материалов твердостью $HV \leq 260-280$ Материалов твердостью $HV=280-320$ и сплавов с аустенитной структурой и твердых материалов с небольшой скоростью резания и получения очень чистой поверхности	P18, P9, P12, P18Ф2 P18Ф4, P18Ф2К5, P9Ф2К5, P9Ф5 XB5, P14Ф4
Сверла: для обработки материалов твердостью $HV \leq 260-280$ те же диаметром менее 1-3мм для тяжелых режимов резания	P9, P18 P18
для обработки мягких материалов с небольшой скоростью Фрезы:	P18Ф2К5, P10Ф5К5, P10Ф2К10 9XC, XГCBФ
резьбовые	P18
резьбовые диаметры более 50-60мм	P12
червячные	P18, P18Ф2
червячные высокой производительности	P18K5Ф2, P14Ф4
червячные диаметром более 50-60 мм	P12
дисковые	P9, P18
концевые и цилиндрические для обработки мягких материалов с умеренной скоростью	XГCBФ, 9XC
те же для обработки обычных материалов	P12, P18, P9
Долбяки	P18
Шеверы	P18
Зенкеры:	P12, P9K5Ф5
высокой производительности	XГCBФ
для обработки мягких материалов с умеренной скоростью	P12, P9, XГCBФ, XГФ
Развертки	P12, P18
Метчики:	Y11A
машинные	XB, Y11A
ручные шлифуемые диаметром до 5-8мм	XB
то же диаметром 8-25мм	P12
диаметром более 25-30мм	P12, P18
ручные шлифуемые	P12, P18
Протяжки:	P14Ф4, P9Ф5
для обработки материалов твердостью $HV \leq 260-280$	XГCBФ, XBГ
для обработки материалов твердостью $HV=280-320$	XГCBФ, 9XC
для обработки мягких материалов	P7T
Плашки резбонарезные:	P12, P18
круглые	P14Ф4, P9Ф5
круглые повышенной производительности для обработки	XГCBФ, XBГ
твердых материалов	XГCBФ, 9XC
Напильники:	P7T
для обработки материалов твердостью $\leq 200-220$	Y12A, Y13A
для обработки материалов твердостью $\leq 260-320$	P9, P9Ф5
Пилы для резки металлов:	P9, P9Ф5
сегменты к круглым пилам	P9, P6BФ, XГCBФ
ножовочные полотна ручные	P9, P12
ножовочные полотна машинные	X12Ф1, X12M, X6BФ, P12
Накатные ролики и плашки:	P9, P12
для деформации стали	X12Ф1, X12M, X6BФ, P12

Таблица А2– Характеристики инструментальных материалов

Материал	Плотность ρ , г/см ³	Твер- дость HRA.	Микротвёр- дость HV, МПа	Предел прочности при изгибе, МПа	Предел прочности при сжатии, МПа	Ударная вяз- кость, Дж/м ²	Теплостой- кость, °С	Коэффициент теплопровод- ности Вт/(м·к)	Коэффициент линейного расширения 10* 1 ГС	Модуль упругости Е,МПа
Быстрорежущая сталь	7,9—8,75	До 80	—	До 4000	До 4000	До 588	До 700	16,75—25,12	9,0—12,0	210 000
Твердые сплавы	11,1— 14,8		17000-24000	До 1800	До 5900	24,51-58,8	800-1000	16 75—87,92	3,0—7,5	500000
Минералокера- мика оксидная:	3,6—4,0		30000	До 950	До 3000	4,9-11,76	2000	4,2—21,0	6,3—9,0	
смешанная (керменты)	4,4—4,7	До 95,3	19000	До 980	До 5600	До 19,6	1400	25,12—83,70	7,2-7,5	400000
Кубический нитрид бора	3,45	—	60000-80000	До 1000	До 6500	—	1500	—	—	350000
Алмазы искус.	3,48-3,56	—	100000	До 300	До 2000	—	800	138,2-146,5	0,9—1,9	720000

Таблица А3 – Условия и результаты опытов по изотермической обработке твердого сплава Т15К6

Факторы	Температура нагрева под закалку, °С	Температура изотермической выдержки, °С	Время изотермической выдержки, мин	Твердость, HV	Коэффициентная сила, НС, ϑ	Предел прочности при изгибе, $\sigma_{изг}$ МПа	Износ по задней грани, h_3 мкм	Износ по передней грани $h_{п.}$ мкм	Относительный износ задней грани, ϵ_3 мкм/мин
Код	X_1	X_2	X_3	Y_1	Y_2	Y_3	Y_4	Y_5	
Основной уровень (О)	1000	350	10						
Предел варьирован.(J)	150	150	5						
Верхний уровень (+)	1150	500	15						
Нижний уровень (-)	850	200	5						
Опыт №1	+	+	+	1628	155	1060	0,580	0,800	1234
№2	-	+	-	1594	139	1070	0,713	0,946	1518
№3	+	-	-	1608	150	1230	0,673	0,900	1372
№4	-	-	+	1570	145	1140	0,626	0,830	1319
№5 основной уровень	1000	350	10	1583	145	1230	0,503	0,886	1198
Исходные, без термообработки (КЗТС)				1500	152	1000	0,576	0,906	137

$$Y_{HV} = 1400,75 - 4,25X_1 - 22,5X_2 - 4,5X_3 + 31,5X_4; Y_{\sigma_{изг}} = 220,35 + 15,925$$

Таблица А4– Условия и результаты опытов по изотермической обработке твердого сплаваТ15К6

Факторы	Температура нагрева, под закалку, °С	Среда охлаждения	Температура отпуска, °С	Твердость HV	Жаростойкость, мг	Коэрцитивная сила, НС
Основной уровень (О)	1050	воздух	400			
Предел варьирован.(J)	100		200			
Верхний уровень (+)	1150	масло	600			
Нижний уровень (-)	950	воздух	200			
Код	X_1	X_2	$X_3 = X_1 * X_2$	Y_1	Y_2	Y_3
Опыт №1	+	+	+	1710	5,2	156
№2	+	-	-	1680	4,8	161
№3	-	+	-	1756	2,5	146
№4	-	-	+	1670	3,0	153
№5-осн.уровень	1050	воздух	400	1710	4,4	157
№6	1050	масло	400	1660	2,8	145
№7-доп.уровень	1050	воздух	без отпуска	1710	3,0	155
№8	1050	масло	без отпуска	1710	2,7	156
№9	1050	вода	без отпуска	1670	3,5	163
Исходные, без термообработки				1500-1600	4,4	151

Таблица А5– Условия и результаты опытов термической обработки сплава ВК8

Факторы	Температура нагрева под закалку, °C	Охлаждающая среда	$T_{отп}, °C$	Твердость, НВ	Предел прочности при изгибе, $\frac{кг}{мм^2}$	НС	Износ по передней грани, мкм	Износ по задней грани, мкм
Основной уровень (0)	1150	воздух	350					
Предел варьир. (J)	100		150					
Верхний уровень (+)	1250	масло	500					
Нижний уровень (-)	1050	воздух	200					
Код	x_1	x_2	$x_3 = x_1x_2$					
Опыт 41	+	+	+	1380	199	268	1733	1833
42	+	+	-	1382	159	179	1660	1473
43	-	-	+	1361	127	174	1746	1363
44	-	-	-	1324	173	175	1630	1870
осн.уров. 45	1160	воздух	350	1518	172	166	1640	1810
46	1150	масло	350	1514	237	165	1630	1810
доп.уров. 47	1150	воздух		1337	185	171	1670	1320
48	1150	масло		1405	226	173	1750	1320
49	1150	вода		1414	214	171	1710	1430
исходные штабики				1387	180	168	2026	1950