

## ВВЕДЕНИЕ

На машиностроительных предприятиях большое внимание уделяется вопросам интенсификации производственных процессов, в том числе повышению эффективности механообрабатывающих производств. Несмотря на широкое применение оборудования с ЧПУ, в том числе и многоцелевого, за последние десятилетия наблюдается устойчивая тенденция роста трудоемкости механической обработки. Так, для ряда изделий авиационной техники объемы станочных работ превысили 30% от общей трудоемкости изготовления планера [1], [2].

Рост трудоемкости механической обработки является следствием все расширяющегося применения труднообрабатываемых материалов, таких как титановые сплавы и высокопрочные стали, а также крупногабаритных конструкций крыла и фюзеляжа (панелей длиной до 27–30 м), в том числе и из высокопрочных материалов.

Объемы применения конструкционных материалов в процентах от общей массы планера по данным [3], [4] приведены в таблице В.1.

*Таблица В.1*

**Объемы применения конструкционных материалов в планере**

Изделие	Объемы применения материалов в % от массы планера			
	Титановые сплавы	Алюминиевые сплавы	Стали	Прочие материалы, в том числе ПКМ
ИЛ-86	14	54	15	17
В747	4,25	68	10	17,75
F14	24,4	39	17	19,6
F15	26,7	35,5	3,3	34,5
F18	11,7	47,7	15	25,6
B1	22,5	41,3	18,5	27,7
SR71	95	Нет данных	Нет данных	Нет данных
F22	24	35	5	36
МиГ-25	8	11	80	—
МиГ-31	16	33	50	1
B1B	17,6	42,5	7	23

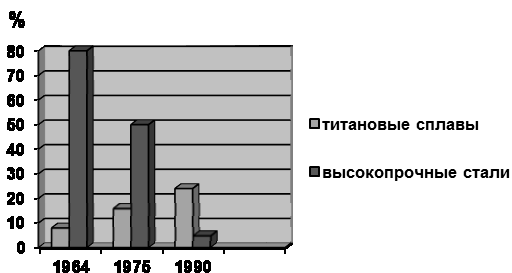
Динамика изменения объемов применения титановых сплавов и высокопрочных сталей в зависимости от года разработки изделий приведена на рисунке В.1.

Подобен характер изменения объемов применения титановых сплавов и для изделий гражданского применения, так, в конструкции планера широкофюзеляжного самолета разработки 1960-х гг. (В747) применено 4,25% титановых сплавов, а в более поздних разработках, например ИЛ-86, — 16%.

В настоящее время темп роста объемов применения титановых сплавов и высокопрочных сталей несколько снизился из-за расширяющегося применения композиционных материалов, но при освоении гиперзвуковых летательных аппаратов следует ожидать дальнейшего увеличения применения титановых сплавов и высокопрочных сталей, следовательно, трудоемкости механической обработки. Заслуживает внимания тот факт, что в процессе испытаний и довод-

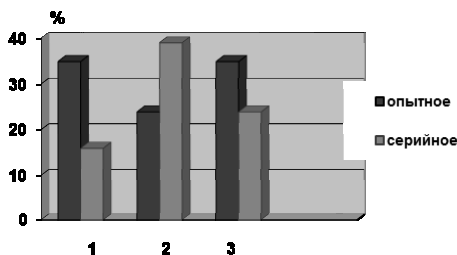


ки постановочной партий F22 произошло значительное изменение процентного соотношения применяемых материалов [3] в сторону увеличения объемов применения труднообрабатываемых материалов (рис. В.2).



**Рис. В.1**

*Объемы применения титановых сплавов и высокопрочных сталей в конструкциях изделий в зависимости от года их разработки на примере МиГ-25 (1964), МиГ-31 (1975) и F22 (1990)*



**Рис. В.2**

*Изменение объемов применения в конструкции планера материалов при переходе от опытного к серийным изделиям:*

1 — алюминиевые сплавы; 2 — титановые сплавы; 3 — композиционные материалы.

Это объясняется недостаточной эксплуатационной надежностью высоконагруженных, крупногабаритных деталей из ПКМ. Так, по данным [3] лонжероны крыла из ПКМ в процессе доводки изделия были заменены на титановые.

Развитие механообрабатывающих производств, в первую очередь самолетостроительных заводов, идет по пути дальнейшего увеличения парка станков с ЧПУ, в том числе и многокоординатных. Еще в 1960–70-е гг. на заводах создавались цеха станков с ЧПУ преимущественно фрезерных групп. Так, только одним отраслевым станкостроительным заводом было выпущено до 1990 г. свыше 35 000 единиц оборудования с ЧПУ, в том числе и типа обрабатывающий центр [5]. На предприятиях других отраслей объемы применения станков с ЧПУ несопоставимы с авиационной промышленностью, но их применение, несомненно, будет увеличиваться для обеспечения производства конкурентоспособной продукции не только по качеству, но и себестоимости. Широкое применение станков с ЧПУ, а в дальнейшем создание



на их базе автоматизированных цехов и производств выдвигает новые требования к их инструментообеспечению.

Высокая стоимость часа работы современных многоцелевых станков с ЧПУ диктует необходимость обеспечения высокой интенсивности съема металла. Интенсификация режимов обработки по сравнению с работой на универсальном оборудовании может быть обеспечена применением экономических периодов стойкости для современных инструментальных материалов. С физической точки зрения целесообразность применения экономических периодов стойкости вытекает из основного уравнения теории резания металлов:

$$T_1^m V_1 = T_2^m V_2 = \text{const},$$

где  $T$  — программируемые периоды стойкости;  $V$  — расчетные скорости резания;  $m$  — показатель относительной стойкости.

Из уравнения следует, что для удаления одного и того же объема металла необходимы разные промежутки времени. Естественно, что при меньших временных затратах технологическая себестоимость будет ниже. С учетом того, что в инструментальном магазине можно установить необходимое количество дублеров инструмента, время на их смену будет минимально, дополнительно необходимо учесть, что весь инструмент настроен на размер с необходимой точностью. Это исключает необходимость вмешательства оператора для корректировки положения инструмента в наладочном режиме. Единственным препятствием для использования в качестве критерия экономической стойкости является отсутствие зависимостей, позволяющих определить, находится ли скорость резания, соответствующая периоду экономической стойкости, на участке нормального износа, или при высокой скорости резания наступит катастрофический износ. Это усугубляется тем, что в каталогах на импортный режущий инструмент приводится рекомендуемый диапазон скоростей резания для усредненных условий работы, а для отечественного инструмента для труднообрабатываемых материалов стойкостные зависимости для оборудования с ЧПУ не систематизированы и приведены, как правило, в нормативных материалах отраслевых технологических институтов. Необходимо отметить, что для новых конструкционных материалов рекомендации по выбору инструментальных материалов и назначению режимов резания практически отсутствуют. В связи с этим вопросы разработки нормативных материалов по выбору инструментальных материалов, конструкций режущих и вспомогательных инструментов, а также назначению рациональных режимов резания являются актуальными.

Дополнительно необходимо отметить, что на предприятиях сформирована смешанная структура инструментообеспечения. Это выражается в том, что для обеспечения работы предприятия применяется как покупной, так и инструмент собственного изготовления.

Весь применяемый режущий инструмент подразделяется на:

- общего применения;
- специализированный;
- специальный.



Инструмент общего применения выпускается инструментальными заводами (фирмами) по стандартам Российской Федерации (ГОСТ), Европейского Союза (DIN), мировым (ISO), а также техническим условиям предприятий. Его применяемость не зависит от выпускаемых изделий.

Специализированный инструмент может изготавливаться как на специализированных предприятиях, так и в цехах подготовки производства по отраслевым стандартам, стандартам предприятий и конструкторской документации. Он применяется для обработки типовых для данной отрасли материалов и конструктивных элементов деталей.

Специальный инструмент предназначен для формообразования конструктивных поверхностей на нескольких деталях или только на одной. Его изготовление, как правило, выполняется в цехах подготовки производства по конструкторской документации.

То же самое можно отнести и к вспомогательному инструменту. Для него характерно деление на вспомогательный инструмент общего применения и специализированный.

Необходимо отметить, что объемы применения инструмента собственно изготовления достаточно велики, что связано с большой номенклатурой специализированного и специального инструмента и относительно небольшой потребностью, что усложняет размещение заказов на его изготовление на специализированных предприятиях.

Для обеспечения возможности изготовления инструмента необходимо наличие инструментальных цехов с полным циклом технологического оборудования для его изготовления. Кроме того, необходимо приобретение инструментальных материалов для его изготовления.

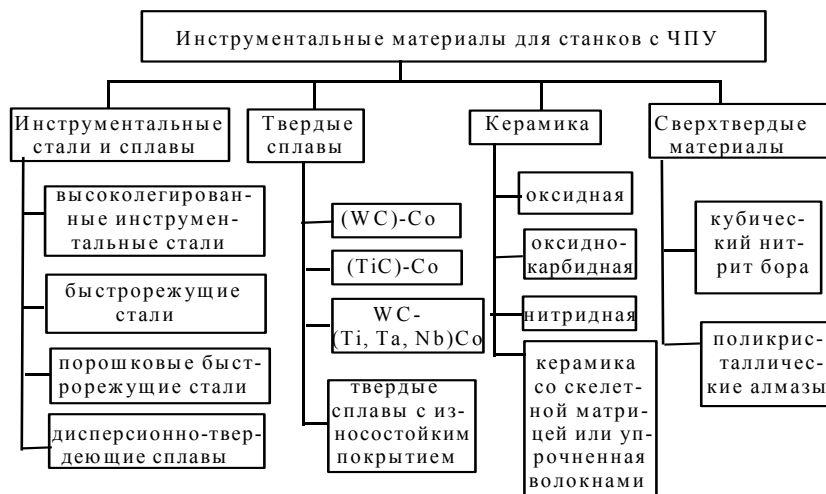


# Глава 1

## ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ СТАНКОВ С ЧПУ

С учетом обеспечения необходимого уровня производительности для изготовления инструмента необходимо применять следующие инструментальные материалы.

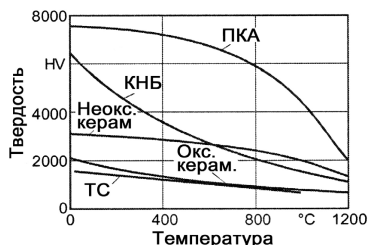
Рекомендуемые инструментальные материалы приведены на рисунке 1.1.



**Рис. 1.1**

*Рекомендуемые группы инструментальных материалов для изготовления инструмента для станков с ЧПУ*

Ориентировочные значения изменения твердости инструментальных материалов в зависимости от температуры по данным [6] приведены на рисунке 1.2.



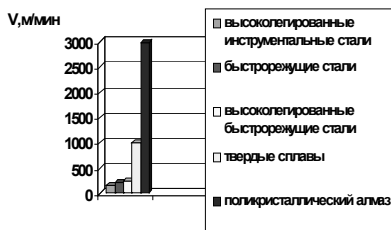
**Рис. 1.2**

*Зависимость твердости инструментальных материалов от температуры:*

ТС — твердые сплавы; Окс. керам. — оксидная керамика; Неокс. керам — другие виды керамики (оксидно-карбидная и другие виды керамических инструментальных материалов); КНБ — кубический нитрид бора; ПКА — поликристаллические алмазы.

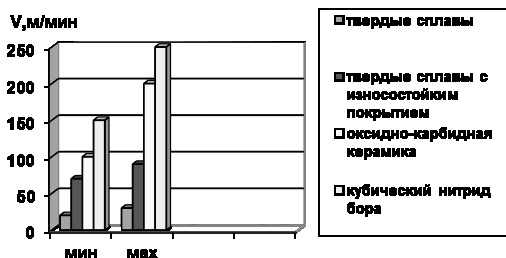


Допустимые скорости резания при фрезеровании высокопрочных алюминиевых сплавов для различных инструментальных материалов по данным [6]–[9] приведены на рисунке 1.3, для закаленных сталей — на рисунке 1.4, титановых сплавов — на рисунке 1.5.



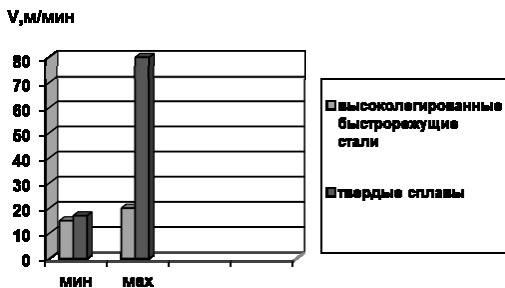
**Рис. 1.3**

*Скорости резания, применяемые для различных инструментальных материалов при фрезеровании высокопрочных алюминиевых сплавов*



**Рис. 1.4**

*Скорости резания, применяемые для инструментальных материалов при фрезеровании закаленных сталей HRC 58–62*



**Рис. 1.5**

*Скорости резания, применяемые для инструментальных материалов при фрезеровании титановых сплавов*



## 1.1. Быстрорежущие стали

Быстрорежущие стали не должны широко применяться для изготовления инструмента для современных станков с ЧПУ. Их применение будет оправдано только в тех случаях, когда твердосплавный инструмент неработоспособен, что может иметь место:

- при обработке деталей из труднообрабатываемых материалов;
- при низкой жесткости конструктивных элементов деталей;
- когда для мелкоразмерных твердосплавных фрез будет невозможно обеспечить скорость резания более 150 м/мин при обработке деталей из алюминиевых сплавов.

При прочих равных условиях следует отдавать предпочтение твердым сплавам или комплексно-легированным быстрорежущим сталям.

Основные физико-механические характеристики быстрорежущих сталей [8] нормальной производительности приведены в таблице 1.1.

Таблица 1.1

**Физико-механические характеристики быстрорежущих сталей нормальной производительности**

Марка материала	Физико-механические характеристики			
	Твердость, HRC	Предел прочности на изгиб, $\sigma_b$ , МПа	Ударная вязкость, $a_n \cdot 10^5$ , Дж/м <sup>2</sup>	Теплостойкость, °С
P9	63–65	3350	2,0	620
P6M5	64–66	3300–3400	4,8–5,2	620
P12	63–65	3200–3600	3,2–3,6	625
P18	63–65	2900–3000	2,9–3,0	625

Наиболее широко рекомендуемая экономно легированная быстрорежущая сталь P6M5 не может быть рекомендована для современных станков с программным управлением даже для изготовления инструмента, предназначенного для обработки деталей из алюминиевых сплавов. При обработке деталей из алюминиевых сплавов, не упрочняемых термообработкой, несмотря на полированные стружечные канавки, происходит пакетирование стружки. Это объясняется более высоким коэффициентом трения пары P6M5/алюминиевый сплав, чем у пары P18/алюминиевый сплав, что подтверждено длительным опытом эксплуатации фрез группового раскроя на предприятиях авиационной промышленности. На станках группового раскроя РФП2 был работоспособен инструмент только из материала P18. Все попытки его замены, в том числе и на фрезы из быстрорежущих сталей, легированных кобальтом, не обеспечили их стабильной работоспособности. В настоящее время на современных станках группового раскроя, а также многокоординатных обрабатывающих центрах зарубежного производства широкое применение нашли монокристаллические твердосплавные фрезы. Необходимо отметить, что и при фрезеровании крупногабаритных деталей из алюминиевых сплавов, упрочняемых термообработкой, наблюдается пакетирование стружки в стружечных канавках фрез из быстрорежущих сталей.



При обработке других материалов, применяемых в самолетостроении, коэффициент работоспособности стали Р6М5 на уровне 0,6–0,8 по отношению к стали Р18, а для труднообрабатываемых материалов данная быстрорежущая сталь практически неработоспособна. Формально данные марки относятся к одной группе и могут быть замаркированы как HSS, аналогичное положение и для легированных сталей, легированных ванадием HSSE и кобальтовых HSSCo. Марки сталей по DIN, входящих в одну группу, имеют значительное различие в работоспособности. Новое обозначение марок сталей по ISO с указанием содержания легирующих элементов, а именно HS2-9-1-8, где легирующие элементы приведены в следующем порядке: W-Mo-V-Co, и тем более условные обозначения изготовителей не характеризуют их работоспособность при обработке новых материалов. Все это вызывает необходимость определения их работоспособности.

Основные физико-механические характеристики быстрорежущих сталей повышенной производительности приведены в таблице 1.2.

Таблица 1.2

**Физико-механические характеристики быстрорежущих сталей  
повышенной производительности**

Марка материала	Физико-механические характеристики			
	Твердость, HRC	Предел прочности на изгиб, $\sigma_b$ , МПа	Ударная вязкость, $a_n \cdot 10^5$ , Дж/м <sup>2</sup>	Теплостойкость, °C
P6M5K5	65–67	3300–3400	2,75	630
P12Ф3	64–67	2400–2800	2,6–2,7	630
P9K5	64–67	2500–2700	1,5–2,0	630
P9K10	64–66	2500–2700	1,6–1,8	630
P9M4K8	65–68	2500–2800	2,0–2,3	630
P14Ф4	65–67	2200	2,3	630

Основные физико-механические характеристики быстрорежущих сталей высокой производительности приведены в таблице 1.3.

Таблица 1.3

**Физико-механические характеристики быстрорежущих сталей  
высокой производительности**

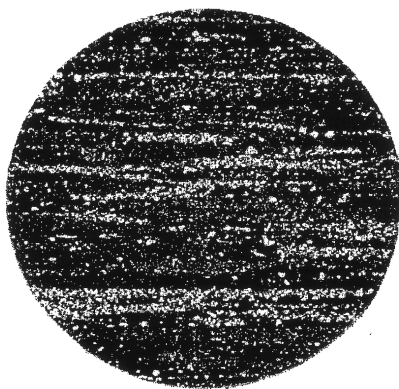
Марка материала	Физико-механические характеристики			
	Твердость, HRC	Предел прочности на изгиб $\sigma_b$ , МПа	Ударная вязкость $a_n \cdot 10^5$ , Дж/м <sup>2</sup>	Теплостойкость, C°
P12Ф3K10M3	66–68	2800	2,0	640
P12Ф2K8M3	64–66	2800–2900	1,8–2,7	640
P12M3K8Ф2	64–67	2500–3000	1,6–2	640
P12Ф4K5	64–67	2700–2900	1,3–2	640
P18K5Ф2	64–67	2570–3160	1,75–2,3	640–645
P8M3K6C	66–70	2200–2400	1,5–2,1	645–655

Применение комплексно-легированных быстрорежущих сталей целесообразно при изготовлении деталей из труднообрабатываемых материалов. Их ис-



пользование обеспечивает снижение расхода инструментальных материалов в основном за счет повышения стойкости и в ряде случаев незначительную интенсификацию режимов резания. Изготовление инструмента более трудоемко из-за склонности данных материалов к обезуглероживанию при термической обработке, узкому диапазону закалочных температур и низкой шлифуемости. Другим показателем, снижающим эксплуатационные характеристики инструмента из высоколегированных быстрорежущих сталей, является высокий балл карбидной неоднородности. Балл карбидной неоднородности увеличивается с ростом площади поперечного сечения заготовок. На станках, оснащенных электрошпинделями, карбидная неоднородность может привести к разрушению инструмента под действием центробежных сил. Неравномерное включение карбидов является концентратором напряжений.

Типовая микроструктура быстрорежущей стали с 4 баллом карбидной неоднородности приведена на рисунке 1.6.



**Рис. 1.6**

*Микроструктура быстрорежущей стали с 4 баллом  
карбидной неоднородности по ГОСТ 19265-73*

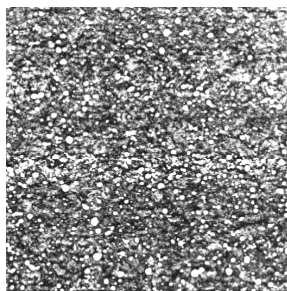
Улучшение балла карбидной неоднородности теоретически возможно за счет:

- перековки заготовок, но практически процессковки быстрорежущих сталей, особенно высоколегированных, сложен и на предприятиях не отработан;
- горячего гидродинамического выдавливания, но процесс для мелкосерийного производства сложен, требует большого количества оснастки и в целом приводит к росту трудоемкости;
- применения проката, полученного методами порошковой металлургии.

**Порошковые быстрорежущие стали**, в том числе и высоколегированные, имеют карбидную неоднородность в пределах 0–1 балл, практически не зависящую от площади поперечного сечения.

Типовая микроструктура быстрорежущих сталей, полученных методами порошковой металлургии, приведена на рисунке 1.7.





**Рис. 1.7**

*Микроструктура быстрорежущей стали, полученной методом порошковой металлургии*

Физико-механические характеристики, такие как предел прочности при изгибе, ударная вязкость, твердость, несколько выше, чем у их аналогов, полученных традиционными методами. Необходимо отметить, что у данных сталей улучшается шлифуемость.

Вследствие равномерного распределения карбидов, более высоких физико-механических характеристик и технологических свойств для порошковых сталей характерны и высокие эксплуатационные показатели. По данным [6], стойкость фрез выше в 1,5–3 раза. Преимущества инструмента, изготовленного из быстрорежущих сталей, полученных методом порошковой металлургии, в наибольшей степени проявляется при обработке труднообрабатываемых материалов. Кроме того, порошковые быстрорежущие стали необходимы для изготовления инструмента, работающего при большой частоте вращения, например специальные грибовидные дисковые фрезы для обработки теоретического контура сотовых конструкций или когда необходима режущая кромка с минимальным радиусом округления.

Основные физико-механические характеристики порошковых быстрорежущих сталей приведены в таблице 1.4.

*Таблица 1.4*

**Физико-механические характеристики порошковых  
быстрорежущих сталей**

Марка материала	Твердость, HRC	Предел прочности на изгиб $\sigma_b$ , МПа	Теплостой- кость, °C
P6M5K5-МП	67–68	3200–3900	630
P9M4K8-МП	66–67,5	3200–3700	635
P12M3K8Ф2-МП	67–69	2700–3200	640
P12M3K10Ф3-МП	66,5–68	2400–3500	640
P12MФ5-МП	66–67,5	2800–3600	635
P6M5K8Ф2-МП	67–68	2800–3400	635
10P6M5K5-МП	66–67,5	2500–3500	625
P10M6K8-МП	67–68	—	635
13P6M5Ф3-МП(ТСП-26)	67–68	3500–4400	630
15P10Ф3K8M6-МП(ТСП-24)	68–69	4150–4430	640
22P10Ф6K8M3-МП(ТСП-25)	68–70	3800–4100	645



Быстрорежущие стали зарубежных изготовителей приведены в таблицах 1.5–1.8.

Таблица 1.5

**Быстрорежущие стали фирмы ERASTEEL и их аналоги**

Обозначение ERASTEEL	Аналог	Химический состав						Твердость, HRC
		C	Cr	Mo	W	Co	V	
ET1	P18	0,74	4	—	18	—	1,1	62–65
EM1	P2M9	0,83	3,8	8,	1,8	—	1,2	62–65
EM50	M4	0,84	4,1	4,2	—	—	1,1	60–64
EM52	M4Ф2	0,89	4,1	4,5	1,2	—	1,9	62–65
E942	P6M3Ф2	0,89	3,9	2,8	5,8	—	1,8	60–65
ESM80	P6M6Ф2	0,9	4	5,6	5,8	—	1,8	62–65
EM7	P2M9Ф2	1,02	3,8	8,6	1,8	—	1,9	60–65
EM3:1	P6M6Ф3	1,05	4	6,3	6,3	—	2,5	61–65
EM3:2	12P6M5Ф3	1,2	4,1	5,6	6,2	—	3	62–66
M9V	12P4M8Ф3	1,2	4,2	8,5	3,5	—	2,7	65–67
EV4	P12Ф4	1,28	4,2	0,8	12	—	3,8	59–64
EM4	13P6M5Ф4	1,3	4,2	4,5	5,5	—	4	63–65
EM945	P2M5K2	0,91	3,7	5	1,8	2,5	1,2	61–65
EM35	P5M6K5	0,93	4,2	5	6,4	4,8	1,8	60–66
C8	P5M6K8Ф2	1,05	4	6	5	7,8	1,6	64–68
EMATI	M5K8	0,72	4	5	1	8	1	61–64
EM33	P2M10K8	0,9	3,7	9,4	1,7	8	1,1	62–67
EM42	11P2M9K8	1,08	3,8	9,4	1,5	8	1,2	65–68
WKE42	P10M4K10Ф3	1,27	4	3,6	9,5	10	3,2	65–67
WKE45	14P9M4K11Ф3	1,42	4,2	3,6	8,8	11	3,4	65–67

Таблица 1.6

**Быстрорежущие стали фирмы ERASTEEL, полученные методом порошковой металлургии**

Обозначение ERASTEEL	Аналог	Химический состав						Твердость HRC
		C	Cr	Mo	W	Co	V	
ASP2005	15P3M3Ф4МП	1,5	4	2,5	2,5	—	4	60–64
ASP2015	15P12K5Ф5МП	1,5	4	—	12	5	5	63–67
ASP2017	P3M3K8МП	0,8	4	3	3	8	1	61–65
ASP2023	P6M5Ф3МП	1,2	4,2	5	6,4	—	3,1	62–66
ASP2030	P5M5Ф3K8МП	1,2	4,2	5	6,4	8,5	3,1	63–67
ASP2052	16P11M2Ф8МП	1,6	4,8	2	10,5	8	5	63–67
ASP2053	25P4M3Ф6K10МП	2,4	4,2	3,1	4,2	—	7,9	62–66
ASP2060	P6M7Ф6K10МП	2,3	4,2	7	6,5	10,5	6,5	64–68

Таблица 1.7

**Быстрорежущие стали фирмы BOHLER и их отечественные аналоги**

Марка стали и ее аналог	Химический состав								Твердость HRC
	C	Cr	Mo	W	Co	Si	Mn	V	
S200 (P18)	0,75	4,1	0,3	18	—	0,2	0,3	1,1	64–66
S308 (P12Ф4K5)	1,35	4,3	0,8	12	4,8	0,25	0,3	3,7	65–67
S401 (P2Ф2M9)	0,83	3,8	8,7	1,8	—	0,4	0,3	1,2	64–66



Марка стали и ее аналог	Химический состав								Твердость HRC
	C	Cr	Mo	W	Co	Si	Mn	V	
S404 (PФМ5)	0,89	4,1	4,5	1,2	—	0,3	0,3	1,9	63–65
S500 (PФМ9K8)	1,1	3,0	9,2	1,4	8,0	0,25	0,25	1,2	67–69
S600 (P6Ф2M5)	0,90	4,1	5,0	6,4	—	0,25	0,3	1,8	64–66
S607 (P6M5Ф3)	1,21	4,1	5,0	6,4	—	0,25	0,3	2,9	64–66
S610 (P3M3Ф2)	0,99	4,0	2,7	2,9	—	0,25	0,3	2,4	63–65
S700 (P9M4K10Ф3)	1,26	4,0	3,6	9,3	10	0,25	0,3	3,2	65–67
S705 (P6M5K5Ф2)	0,92	4,1	5,0	6,4	4,8	0,4	0,3	1,9	64–66

Таблица 1.8

**Порошковые быстрорежущие стали фирмы BOHLER и их аналоги**

Марка стали и ее аналог	Химический состав								Твердость HRC
	C	Cr	Mo	W	Co	Si	Mn	V	
S390 (P10Ф5K8M2)	1,60	4,8	2,0	10,5	8,0	0,3	0,3	5,0	65–69
S590 (P6M5K8Ф3)	1,3	4,2	5,0	6,3	8,4			3,0	65–67
S690 (P6M5Ф4)	1,33	4,3	4,9	5,9		0,35	0,3	4,1	64–66
S790 (P6M5Ф3)	1,3	4,2	5,0	6,3				3,0	64–66

Ориентировочная применяемость быстрорежущих сталей приведена в таблице 1.9 [7]–[9].

Таблица 1.9

**Области применения быстрорежущих сталей**

Марка стали	Механико-технологические свойства	Шлифуемость	Область применения
P18	Удовлетворительная прочность, износостойкость при малых и средних скоростях резания	Хорошая	Для всех видов режущего инструмента при обработке углеродистых и легированных конструкционных сталей
P12	Близкие к свойствам стали P18, но более высокие «горячая» пластичность и прочность, вязкость	Удовлетворительная	То же, что для стали P18, а также для обработки некоторых видов коррозионно-стойкой стали
P9	Близкие к свойствам стали P18, но обладает лучшими механическими свойствами	Пониженная по сравнению со шлифуемостью стали P18, повышенная склонность к проявлению прижогов при заточке	Для инструментов простой формы, для обработки конструкционных материалов
P6M5, 9X6M3Ф3АГСТ, 9X4M3Ф2АГСТ	Повышенная прочность, повышенная склонность к обезуглероживанию и выгоранию молибдена	Удовлетворительная	То же, что для стали P18, но предпочтительны при обработке углеродистых и конструкционных сталей с прочностью не более 800 МПа



Марка стали	Механико-технологические свойства	Шлифуемость	Область применения
A11P3AMФ2	Склонна к перегреву	Пониженная	Для инструмента простой формы при обработке углеродистых и конструкционных сталей с прочностью не более 800 МПа
P12Ф3	Стойкость выше в 1,5–2,5 раза, чем у стали P12 и P6M5 при средних скоростях резания		Для чистовых инструментов при обработке вязких сталей
P6M5Ф3	Повышенная прочность, вязкость, износостойкость		Для чистовых и получистовых инструментов (фасонные резцы, развертки, фрезы) при обработке углеродистых и легированных конструкционных сталей
P9K5	Повышенная вторичная твердость	Пониженная, близкая к шлифуемости стали P9	Для различных инструментов при обработке коррозионно-стойких сталей и жаропрочных сплавов, а также сталей повышенной прочности
P18K5Ф2	Повышенная вторичная твердость и износостойкость	Пониженная, рекомендуются эльборовые круги	Для черновых и получистовых инструментов при обработке высокопрочных коррозионно-стойких и жаропрочных сталей и сплавов
P6M5K5			Для черновых и получистовых инструментов при обработке легированных и коррозионно-стойких сталей
P9M4K8			Для различных инструментов при обработке высокопрочных, жаропрочных, и коррозионно-стойких сталей и сплавов, а также улучшенной легированной стали
P10K5Ф5	Повышенная вторичная твердость, высокая износостойкость	Низкая, рекомендуется применять эльборовые шлифовальные круги	Для черновых и получистовых инструментов при обработке высокопрочных коррозионно-стойких и жаропрочных сталей и сплавов
P9K10	Повышенная вторичная твердость, пониженная ударная вязкость	Пониженная, близкая к шлифуемости стали P9	Для различных инструментов при обработке коррозионно-стойких сталей и жаропрочных сплавов, а также сталей повышенной прочности
P12Ф4K5	Высокая прочность и вязкость, повышенная износостойкость	Низкая	Для обработки некоторых марок труднообрабатываемых материалов



Марка стали	Механико-технологические свойства	Шлифуемость	Область применения
P12M3Ф2К8, P6M5Ф2К8	Повышенная прочность, высокая износостойкость	Пониженная	Для обработки труднообрабатываемых материалов, а также для обработки конструкционных материалов на высоких скоростях резания
P10M4K10Ф3	Пониженная прочность, высокая износостойкость	Низкая, склонность к обезуглероживанию	Для инструментов простой формы для обработки труднообрабатываемых материалов, а также для чистовых и получистовых инструментов, работающих на автоматических станках
P6M5K5-МП	Высокая прочность на изгиб, в 1,5–2,5 раза более высокая стойкость по сравнению с аналогичной маркой обычного производства	Удовлетворительная, но выше, чем у стали P6M5	Для черновых и получистовых инструментов (фрезы, свёрла, зенкеры и др.), для обработки жаростойких и высокопрочных сталей, жаропрочных сплавов типа ХН77ТЮР
P9K5-МП		Повышенная, по отношению к стали P6K5	
P9M4K8-МП		Хорошая	Для черновых и получистовых инструментов (фрезы, свёрла, зенкеры и др.), для обработки жаропрочных сплавов пониженной обрабатываемости типа ЖС6-КП
P12M3K5Ф2-МП		Улучшенная	Для обработки жаропрочных сталей при протягивании
P12M3K8Ф2-МП, P12M3K10Ф3-МП			Для чистовых и получистовых инструментов для обработки жаропрочных сплавов типа ВЛЖ-12
P6M5K5-МП			Для обработки низко- и среднелегированных сталей при фасонном точении, сверлении, развёртывании, зенкерования, фрезерования

## 1.2. Дисперсионно-твердеющие инструментальные сплавы

Данные материалы хорошо проявили себя при обработке деталей из титановых, жаропрочных сплавов и других материалов с пониженной обрабатываемостью. Их применение обеспечило повышение стойкости инструмента от 5 до 10 раз при обработке деталей из титановых и жаропрочных сплавов на основе никеля. Но, несмотря на это, они не нашли широкого применения в промыш-



Конец ознакомительного фрагмента.

Приобрести книгу можно

в интернет-магазине

«Электронный универс»

[e-Univers.ru](http://e-Univers.ru)