УДК 621. 91. 03. 30

Б.И. Коган

ПРОГРЕССИВНЫЕ РЕЖУЩИЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ ТОКАРНОЙ ОБРАБОТКИ ВОССТАНАВЛИВАЕМЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ ДЕТАЛЕЙ МАШИН

Механическую обработку резанием используют в качестве подготовительной и окончательной обработки при восстановлении деталей разными методами. Она служит основой ремонта деталей (гильз цилиндров, коленчатых валов и др.) способами ремонтных размеров и заменой части изношенных деталей.

Качество поверхности и точность механической обработки определяют качество восстановленных деталей, а следовательно, и отремонтированных машин. Предварительная обработка изношенных и окончательная обработка восстанавливаемых деталей имеют свои особенности, которые значительно затрудняют механическую обработку при их восстановлении по сравнению с обработкой при изготовлении новых деталей. К таким особенностям относят: трудности с выбором технологических баз (поверхностей, линий, точек, ориентирующих деталь на станке), так как часто после эксплуатации для них характерны износы и повреждения; высокая твердость и плохая обрабатываемость резанием из-за закаливания и наличия в нанесенных слоях оксидов, карбидов, шлаковых включений и других примесей .

В ряде случаем (например, при наплавке) наблюдают неравномерность толщины наплавленного слоя; его толщина (при различных способах дуговой наплавки) в несколько раз превышает износ, что значительно увеличивает объем последующей механической обработки по сравнению с изготовлением новых деталей. Иногда припуск ограничен (при гальваническом наращивании), что может привести к браку “по черноте”.

При проектировании технологического процесса механической обработки решают следующие основные задачи: надежное (без брака) выполнение требований рабочего (ремонтного) чертежа (в частности, выдерживание размеров, допусков, параметров шероховатости, твердости и др.); разработанный процесс должен быть для данных условий наиболее экономичным.

Точением обычно обрабатывают относительно пластичные покрытия из малоуглеродистых сталей, алюминия, меди и их сплавов, а так же из самофлюсующихся сплавов твердостью до 45 HRC. При обработке резанием необходимо обеспечить срезание части без их выкрашивания. Напыленные покрытия во время механической обработки не следует нагружать растяжением, изгибом или отрывом.

Лезвийная обработка покрытий из высоколегированных , нержавеющих сталей и самофлюсующихся сплавов выполняется в основном резцами из твердых сплавов в том случае, когда припуск на обработку >0,25 мм на сторону и твердость монолитного материала ,≥ 3000 Мпа (35… 45 HRC). Механическую лезвийную обработку наплавленных и напыленых покрытий с твердостью до 35 HRC выполняют в несколько ходов. Скорость резания при черновом точении уменьшают на 30… 60 %, а при чистовом на 20… 40 % по сравнению со скоростью обработки нормализованной стали 45.

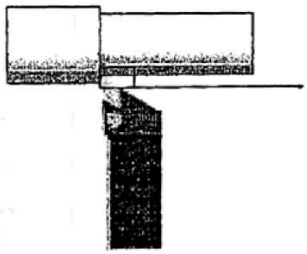
Наплавленные покрытия, имеющие твердость до 45 HRC можно обрабатывать резцами из твердого сплава Т15К6. Обработку ведут в два хода: первый, черновой, по корке, второй получистовой. Оставляют припуск на шлифование 0,3 мм на диаметр (при необходимости). Возможна лезвийная обработка наплавленных поверхностей твердостью 45… 65 HRC инструментом из мелкозернистого твердого сплава ВК6-ОМ. Задние и передние углы инструмента рекомендуется устанавливать в пределах 5… 10 градусов, скорость резания 30… 60 м/мин, подачу 0,03… 0,20 мм/об, а глубину резания 0,05… 1 мм. Электролитические железные покрытия точат резцами из твердых сплавов Т5К10, Т15К6 обычной геометрии [1].

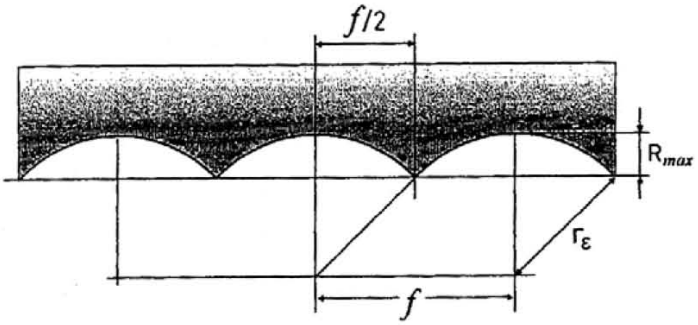
Детали из пластмасс обрабатывают на больших скоростях резания. Термопласты обтачивают резцами, снабженными пластинками из твердых сплавов ВК-6 и ВК-8, со скоростью резания 300…600 м/мин и подачей до 0,4 мм/об. Термореактиваные пластмассы обрабатывают теми же резцами, но со скоростью резания 200… 500 м/мин и подачей до 0,3 мм/об. Качество поверхностей и производительность обработки значительно повышаются при использовании инструментальных материалов в виде минералокерамики и поликристалических сверхтвердых материалов (ПСТМ)[1].

Особые затруднения представляет обработка сложнолегированных аустенитных жаропрочных сталей и сплавов на хромоникелькобальтовой основе, сплавов на основе W, Ti, Nb, Ta, Mo, Zr, Be, а так же материалов после сварки, наплавки, оплавления и др.

Вольфрам и его сплавы, а также монокристаллы вольфрама наиболее целесообразно обрабатывать инструментами, оснащенными пластинами из СТМ. Например, стойкость резцов из кубического нитрида бора примерно в 6-8 раз большую чем стойкость твердого сплава ВК10ОМ. Точение эльборовыми резцами позволяет получать точность 6-7-го квалитетов, а параметр шероховатости обработанной поверхности Ra=2,5 мкм. Контактные

Таблица 1

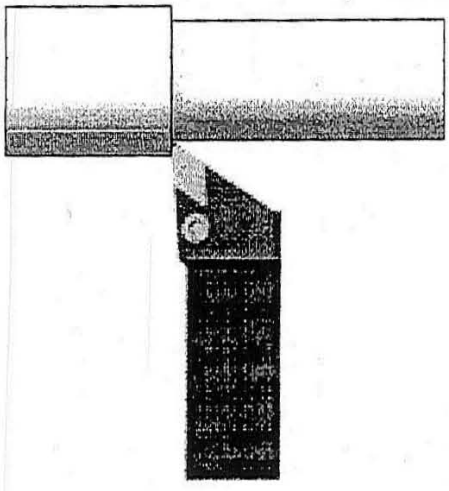




Теоретическая высота профиля [R_{max}] может быть рассчитана по формуле, где R_a- заданная шероховатость, мм	$R_{max} = 6 R_a^{0.97}$
Зависимость подачи S, мм/об от R_{max} ; r_ε –радиус при вершине резца, мм	$S = \sqrt{8 r_\varepsilon R_{max} - 4 R_{max}^2}$
Расчет максимальной возможной подачи для получения заданной шероховатости	$S\,max = \sqrt{0.048 R_a^{0.97} (r_\varepsilon - 0.03 R_a^{0.97})}$
На практике чаще используют среднее R_a, рассчитывают по формуле	$R_a = \sqrt[0.97]{\frac{r_\varepsilon - \sqrt{r_\varepsilon^2 - \frac{S^2}{4}}}{6}} \cdot 10^3$

Глубина резания должна быть больше радиуса вершины

Таблица 2.. Расчетные формулы режимов резания.



Обозначения	
t	Глубина резания [мм]
D	Диаметр заготовки [мм]
S	Подача [мм/ об.]
n	Частотав ращения [об. /. мин]
Q	Скорость снятия металла [см^3 /. мин]
R_a	Чистота поверхности [мкм]
r_ε	Радиус вершины [мм]
R_y	Максимальная высота профиля [мм]
V_c	Скорость резания [м/. мин]

$$n = \frac{V_c \cdot 1000}{\pi D}\ ;\ Vc = \frac{\pi \cdot D \div n}{1000}\ ;\ R_a = \frac{S^2 \cdot 50}{r_\varepsilon}\ ;\ R_y = \frac{S^2}{8 \cdot r_\varepsilon}\ ;\ Q = V_c \cdot S \cdot a_p$$

температуры при точении эльборовыми резцами в 3-5 раз меньше, чем при точении твердосплавным инструментом. Стойкость резцов, оснащенных СТМ, можно повысить в 1,5-2 раза, применяя обработку в среде углекислого газа и при глубоком охлаждении (до -196°С). Тонкое точение вольфрама резцами из эльбора Р может с успехом заменить шлифование.

Термически обработанные стали и чугуны и наплавленные покрытия обрабатывают резцами, оснащенными пластинками из минералокерамики. Материалы ВО-13 применяют для чистого и получистого точения покрытий из порошков конструкционных и легированных сталей твердостью до 160…230 НВ; ВОК-60 и ВОК-71 – соответственно для чистового и получистового точения покрытий из порошков сталей твердостью 30…64 HRC; В-3 и ОНТ-20 – для чистового и получистового точения покрытий из порошков сталей твердостью 230…380 НВ на основе никеля.

При точении сплавов ПГ-СР2, ПГ-СР3 и ПГ-СР4 может быть использована режущая керамика

на основе Al_2O_3 с незначительными добавками MgO и SiO_2 или с добавками TiC и WC (кермет)[2].

Применение в ремонтном производстве инструмента, оснащенного ПСТМ на основе кубического нитрида бора при содержании последнего 50…98 %, существенно улучшает технико-экономические показатели процесса резания наплавленных и напыленных покрытий. Для черновой обработки покрытий высокой твердости (в том числе и по корке) целесообразно применять ПСТМ киборит. для чистовой и отделочной обработке служат инструменты с режущей частью из композитов: 01 (эльбор-Р), 02 (белбор), 05 и 09 (ПТНБ), 10 (гексанит-Р), 10Д (двухслойные поликристаллы) и др. Наиболее работоспособны из ПТСМ киборит и композит-10. Высокая теплопроводность киборита ->50 Вт/(м·К) обуславливает высокую износостойкость резцов при скорости резания до 200 м/мин[2].

Институт сверхтвердых материалов НАН Украины разработал и освоил выпуск сменных многогранных неперетачиваемых пластин из киборита. Пластины выпускаются пяти форм в соответствии со стандартом ISO 1832-1991 (R): трехгранной (T), квадратной (S), ромбической (C) с углом при вершине 80° (D), с углом при вершине 55°, а также специальной формы для оснащения станков с ЧПУ. Пластины изготовляются с задними углами 0 (N), 5 (B), 7 (C) и 11° (P) классов точности U, M и G без отверстий и канавок. Размеры цилиндрических пластин изменяются от диаметра 3,97 до 12,7 мм с высотой 2,38…4,76 мм. Применяют и другие формы пластин, вписанные в приведенные размеры. Композит выпускают в виде режущих зерен, впаиваемых в металлическую матрицу. Теплостойкость материалов на воздухе >1200 °С, пределы прочности при растяжении >0,3 ГПа, при изгибе >0,6 ГПа , а модуль упругости 800 ГПа.

Наиболее изучены способы обработки материалов мартенситного класса, нанесенных вибродуговой наплавкой или наплавкой под слоем флюса, в том числе порошковой проволокой и электродными лентами, а так же напыленных покрытий из материалов системы Ni-Cr-B-Si и керамических покрытий из Al_2O_3. Большой эффект достигнут при точении покрытий из порошка ПГ-Н80Х13С2Р, полученных газопорошковой наплавкой, и покрытий из порошка ПГ-СР3, нанесенных плазменным напылением с последующим оплавлением. При точении покрытий из порошковых проволок типов ПП-АН106, ПП-АН125 и ПП-

Таблица 3. Максимальная глубина резания.

Форма пластины		Размер пластины	Максимальная глубина резания t (мм)*						
			0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.7	0.9
C		6							
		9							
		12							
D		7							
		11							
		15							
V		8							
		11							
		16							
T		6							
		11							
		16							
W		4							
		6							
		8							
S		9							
		12							

Таблица 4.

Форма пластины		Размер пластины	Максимальная глубина резания t (мм)											
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
R двух-слойная		07												
		09												
T двух-слойная		08												
		11												
C		09												
		12												
S		05												
		06												
		09												
		12												
R		03												
		05												
		06												
		08												
		09												
		12												
		19												

*длина напайного угла А035-3,5 мм.

для длины напайного угла А028 – 2,8 мм, глубину резания снизить на 30

АН154М, имеющих аустенитную структуру эффективность резцов из ПСТМ значительно ниже. При обработке наплавленных покрытий инструментом из киборита достигают производительности 5…10 см^3/мин, а напыленных – 10…20 см^3/мин.

В целом стойкость резцов из ПСТМ выше стойкости инструмента из твердого сплава Т15К6 в 20…30 раз. Стойкость инструмента из киборита по сравнению с эльбором в 2 раза, а производительность в 6..11 раз выше при практически одинаковый шероховатости обработанных поверхностей.

Точение покрытий резцами, оснащенными гексанитом-Р, выполняют при следующих режимах: скорости резания 60…100 м/мин, подаче 0,03…0,15 мм/об, глубине резания 0,1…0,3 мм.

Таким образом, основное назначение композитов – это оснащение режущего инструмента для лезвийной обработки высокотвердых сплавов на основе железа и никеля, закаленных сталей, отбеленных чугунов, наплавленных и напыленных износостойких покрытий. Наиболее эффективная область применения инструментов из ПСТМ –

Таблица 5. Технические характеристики работы инструмента.

Группа материалов		Условия обработки					
Группа по ISO	Описание и марка	Вид обработки	Режимы резания			Сорт КНБ	
			Vc, м/мин	f, мм/об	ap, мм	MBR 6010	MBR 7010
H	Конструкционные и низколегированные стали (типа 40, 40Х, и т.п.)	черновая	150 - 300	0,1 - 0,7	3,0	■	
		чистовая	200 - 380	0,05 - 0,4	1,0	■	□
		финишная	280 - 450	0,01 - 0,1	0,2	□	■
	Шарикоподшипниковые стали и стали целевого назначения (ШХ4, ШХ15 и т.п.)	черновая	100 - 300	0,5 - 0,9	5,0	■	
		чистовая	250 - 350	0,05 - 0,4	1,5	■	□
		финишная	280 - 450	0,01 - 0,1	0,3	□	■
	Конструкционные легированные и высоколегированные стали (типа 30ХМА, 38ХС, 25ХГТ, 20ХН3А, 45ХН и т.п.)	черновая	60 - 250	0,1 - 0,7	3,0	■	
		чистовая	150 - 300	0,05 - 0,4	1,5	■	□
		финишная	150 - 320	0,01 - 0,1	0,2	□	■
	Стали конструкционные рессорно-пружинные (65С2ВА-Ш, 65Г и т.п.)	черновая	150 - 250	0,1 - 0,7	4,0	■	
		чистовая	200 - 280	0,05 - 0,4	1,5	■	□
		финишная	200 - 320	0,01 - 0,1	0,2	□	■
	Инструментальные углеродистые и легированные стали (У12, ХВГ, 6ХВ2С и т.п.)	черновая	80 - 220	0,1 - 0,4	3,0	■	
		чистовая	150 - 280	0,05 - 0,2	1,0	■	□
		финишная	200 - 300	0,01 - 0,08	0,2	□	■
	Быстрорежущие стали (Р6М5)	черновая	80 - 220	0,1 - 0,4	2,0	■	
		чистовая	100 - 250	0,05 - 0,2	0,8	■	□
		финишная	200 - 280	0,01 - 0,08	0,2	□	■
	Марганцовистые стали и стали Гадфильда (110Г13Л)	черновая	100 - 180	0,1 - 0,5	8,0	■	
		чистовая	120 - 220	0,07 - 0,2	2,0	■	□
	Материалы, востановленные упрочняющими наплавками: твердой проволокой (SKD35G, 12Х13) и порошком	черновая	120 - 220	0,1 - 0,3	4,0	■	
		чистовая	180 - 280	0,05 - 0,2	2,0	■	□
		финишная	200 - 400	0,01 - 0,08	0,2	□	■
K	Серый чугун с твердостью НВ 140...290 (СЧ15, СЧ35)	черновая	600 - 800	0,5 - 2,0	8,0	□	
		чистовая	800 - 1700	0,05 - 0,3	1,0		■
	Высокопрочные чугуны, с твердостью НВ 260...420 (ВЧ50, ВЧ70)	черновая	200 - 600	0,5 - 1,5	8,0	□	
		чистовая	300 - 900	0,05 - 0,3	0,8		■
	Легированные чугуны и чугуны в состоянии отбела с твердостью НВ 280...420 (АХНМ)	черновая	30 - 200	0,1 - 0,8	8,0		■
		чистовая	100 - 250	0,05 - 0,3	1,0		■
	Валковые и износостойкие чугуны, твердостью HRC 48....68 (ИЧХ28, ЧХ28Д2, СПХН)	черновая	80 - 200	0,1 - 0,4	5,0	■	
		чистовая	200 - 260	0,05 - 0,2	1,0	□	■

■ предпочтительный выбор □ возможный выбор

высокоскоростная обработка твердых покрытий (до 68 HRC) с малой толщиной срезаемого слоя (0,2…0,5 мм). Процесс резания характеризуется незначительными энергетическими затратами, небольшим нагревом детали, низкой шероховатостью и отличным качеством поверхности.

В настоящее время компания Микробор Нанотех создала композит на базе наноКНБ с новыми свойствами: повышенной стойкостью к ударным нагрузкам при высокой макротвердости, термостойкости и износостойкости. Этот композит (НКНБ) имеет преимущества при обработке релита, стеллита и других твердых и абразивных материалов.

Сорта КНБ Микробор:

MBR 6010. Содержание КНБ, % - 60…65.

Размеры зерна, мкм – 3…5.

Предназначен для черновой обработки с высокой производительстью твердых материалов, особенно сталей. Инновационная формула и технология синтеза композита позволяют получить инструмент, существенно повышающий производительность, как для токарной, так и для фрезерной обработки, обладающий высокой стойкостью к ударным нагрузкам.

MBR 7010. Содержание КНБ, % - 85…90. Размер зерна, нм – 300… 800.

Предназначен для чистовой и суперфинишной обработки чугунов, закаленных сталей и сверхтвердых материалов, в том числе композитных, а также на основе вольфрама и кобальта. Сверхтвердая режущая кромка инструмента MBR7010 обеспечивает высочайшее качество обрабатываемой поверхности и высокую износостойкость.

Расчет подачи от заданной шероховатости поверхности.

Выбор радиуса закругления вершины зависит от формы заготовки и вида механической обработки. Радиус закругления вершины влияет на выбор данных для расчета режимов резания и качества чистовой обработки поверхности. Небольшой радиус закругления вершины – универсальная механическая обработка, слабые силы резания (пониженная опасность вибрации). Большой ра-

Таблица 6. Результаты применения НКНБ

Материал	ШХ4		Стойкость, мин.
Твердость	HRC61-64		
Токарная операция	наружная обработка ”кольцо промежуточное” ø158 мм		
Условия работы	Инструмент Microbor	Конкурент	120
Обозначения пластины	CNMA120412T01020 MBR7010	CNMA120412 T01020	100
Скорость резания, м/мин	150	150	80
Глубина резания, мм	0,4	0,4	60
Подача, мм/об	0,21	0,21	40
Частота вращения детали, об/мин	302	302	20
Фактическая стойкость, дет./грань	103	80	0
Материал	Х12		Стойкость,мин
Твердость	HRC60-62		20
Токарная операция	наружная обработка ”кольцо промежуточное” ø 168 мм		17,5
Условия работы	Инструмент Microbor	Конкурент	15
Обозначение пластины	RNMNOST300F0000 0BR610	RNMN0ST300F00000	12,5
Скорость резания, м/мин	106	106	10
Глубина резания, мм	0,5	0,5	7,5
Подача, мм/об	0,2	0,2	5
Частота вращения детали, об/мин	200	200	2,5
Фактическая стойкость, дет./грань	20	10	0
Материал	ИЧХ28		Стойкость, мин
Твердость	HRC61-64		40
Токарная операция	Наружная обработка “втулки” ø 160		35
Условия работы	Инструмент Microbor	Конкурент	30
Обозначение пластины	RNM090300T01020M BR7010	RNGN120400	25
Скорость резания, м/мин	92	60	20
Глубина резания, мм	0,35	0,35	15
Подача, мм/об	0,43	0,3	10
Частота вращения детали, об/мин	200	125	5
Фактическая стойкость, дет./грань	35	9	0
Материал	ЛПХНДЦ-73		Стойкость, мин
Твердость	HRC61-66		80

Продолжение таблицы 6.

Токарная операция	Наружная обработка “валка” ø 900 мм		70
Условия работы	Инструмент Microbor	Конкурент	60
Обозначение пластины	SMNM120412T03025 MBR6010	SNMN120412CBN	50
Скорость резания, м/мин	55	55	40
Глубина резания, мм	6	6	30
Подача, мм/об	0,6	0,6	20
Частота вращения детали, об/мин	19,5	19,5	10
Фактическая стойкость, дет./грань	90	20	0
Материал	110Г13Л		Стойкость, мин
Твердость	HRC25-35		
Токарная операция	Наружная с ударом “брони конической” ø 1090 мм		35
Условия работы	Инструмент Microbor	Конкурент	30
Обозначение пластины	RNMN120400T03025 MBR7010	RNMN120300 T02025	25
Скорость резания, м/мин	170	170	20
Глубина резания, мм	7	7	15
Подача, мм/об	0,3	0,3	10
Частота вращения детали, об/мин	50	50	5
Фактическая стойкость, дет./грань	25	22	0

диус закругления вершины, подходит для больших подач, высокого качества чистовой обработки поверхности.

Компания выпускает пластины и державки для обработки канавок и отрезки, для фрез, с ударо и износостойкими покрытиями. Новый режущий материал хорошо себя зарекомендовал при испытаниях на заводах и ремонтных предприятиях Кузбасса. Применение пластин из НКНБ при ремонте горных, сельскохозяйственных и других машин технологически обеспечивает высокое качество ремонта и производительность труда.

Лезвийная обработка инструментальными материалами из НКНБ в ряде случаев заменяет шлифование и позволяет получить шероховатость поверхность Ra=1.25…0.63мкм, а при использовании жесткого оборудования и специального инструмента Ra=0.20…0.18 мкм. Применение этих инструментальных материалов на финишных операциях будет непрерывно расширяться по мере их изучения. Выбор лезвийного инструмента для обработки восстановительных покрытий ведут в три этапа. На первом этапе определяют отношение твердости инструментального и обрабатываемого материалов при рабочей температуре резания. Полагают, что при обработке покрытий инструментом из твердых сплавов эта температура равна 800° С, а сверхтвердыми материалами 1000° С. Выбирают тот инструментальный материал, который обеспечивает наибольшее отношение твердости. На втором этапе оценивают износостойкость режущего инструмента. На последнем этапе проводят экспериментальную проверку полученных результатов.

Кафедра технологии машиностроения ГОУ КузГТУ (г. Кемерово) может оказать практическую помощь предприятиям региона в установлении областей оптимального применение НКНБ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.

1. *Коган Б. И.* Технология обеспечения восстановления деталей горных машин. – Кемерово: Кузбассвузиздат, 2007. -392с.

2. *Коган Б. И.* Прогрессивные твердые сплавы, режущая керамика и композиты для обработки резанием. Методические указания. – Кемерово: КузГТУ, 2012, - 33с.

□Автор статьи:

Коган
Борис Исаевич,
докт. техн. наук, проф. каф. технологии машиностроения КузГТУ.
E-mail: Kogan.73@mail.ru