

УДК 621.793.18

Металлорежущий инструмент из порошковой стали с дисперсной структурой и алмазоподобным нанопокрывтием

В. Л. Гиршов, д-р техн. наук, профессор

Санкт-Петербургский государственный политехнический университет,

П. А. Тополянский, канд. техн. наук

ООО «НПФ „Плазмацентр“» (Санкт-Петербург)

Представлена концепция эффективности применения инструмента из порошковой быстрорежущей стали (ПБС) с микрокристаллической структурой, содержащей наноразмерную упрочняющую фазу, а также инструмента с алмазоподобным нанопокрывтием. ПБС с наноразмерной упрочняющей фазой обладает высокими характеристиками прочности, вязкости и теплостойкости, что значительно повышает работоспособность инструмента в условиях черновой обработки, прерывистого резания и вибрации, а также при высокоскоростной обработке труднообрабатываемых материалов. Применение технологии финишного плазменного упрочнения с нанесением алмазоподобного нанопокрывтия повышает износостойкость режущего инструмента за счет уменьшения коэффициента трения, увеличения поверхностной микротвердости, жаростойкости и повышения усталостной прочности.

В процессе эксплуатации металлорежущего инструмента его режущая кромка испытывает высокие контактные напряжения (4000 МПа и более) и интенсивное тепловое воздействие за счет выделения теплоты при резании. Участки инструмента, удаленные от режущей кромки, находятся под воздействием повышенных напряжений изгиба и кручения. Работа многих видов инструментов связана также с ударными нагрузками и вибрациями, например, при прерывистом резании. Очевидно, что работоспособность режущего инструмента в значительной мере зависит от механических свойств инструментального материала, прежде всего от его твердости, прочности и вязкости, а также от теплостойкости или способности материала сохранять повышенную твердость при нагреве.

К числу наиболее распространенных инструментальных материалов относятся быстрорежущие стали (БС). В состав БС входят исключительно дефицитные и дорогие легирующие элементы — вольфрам, молибден и кобальт, которые придают сталям необходимый уровень механических, технологических и функциональных свойств. Природные запасы этих

металлов во многом исчерпаны, поэтому особо актуальной является задача повышения эффективности инструмента и сокращения его расхода. Существенному увеличению механических и функциональных свойств традиционных БС препятствует карбидная неоднородность структуры. Чем выше степень карбидной неоднородности, тем ниже механические свойства. Например, в прутках диаметром 15–25 мм (2-й балл карбидной неоднородности) предел прочности при изгибе термически обработанных образцов стали Р6М5 составляет 3600–3700 МПа и ударная вязкость на образцах без надреза 350–400 кДж/м². Эти же характеристики свойств в прутках диаметром 90–110 мм (8-й балл карбидной неоднородности) снижаются до уровня 1800–2000 МПа и 150–180 кДж/м². Значительное влияние на прочность БС оказывает и размер зерна. При неизменном распределении карбидов и росте зерна в два раза прочность стали Р18 снижается на 200–300 МПа [1].

На протяжении многих лет борьба с карбидной неоднородностью БС велась путем совершенствования технологии литья и деформации слитков, но кардинальное решение этой

проблемы стало возможным только на базе технологии порошковой металлургии, включающей распыление металлического расплава и последующее компактирование распыленных порошков в плотные, беспористые заготовки способами горячей пластической деформации.

Жидкую сталь обычно распыляют высокоскоростным потоком азота, что повышает скорость охлаждения затвердевающего металла в тысячи раз (до 10^3 – 10^5 К/с). Столь высокие скорости охлаждения создают в каплях металла значительное переохлаждение. В результате формируется дисперсная структура порошковой быстрорежущей стали (ПБС), для которой типичны мелкое зерно, равномерное распределение первичных мелких карбидов и сильное пересыщение твердого раствора углеродом и карбидообразующими элементами. При этом необходимо учитывать, что ПБС, как и другие дисперсионно-твердеющие сплавы, являются естественными наноматериалами. При дисперсионном твердении ПБС (в процессе отпуска) из сильно пересыщенного твердого раствора выделяется особо дисперсная карбидная фаза с размером частиц менее 50 нм. Наноразмерная карбидная фаза дополнительно упрочняет ПБС.

Первые исследования по применению технологии распыления и быстрого затвердевания металлических расплавов для получения быстрорежущих сталей с однородной дисперсной структурой были выполнены в 1960-х годах фирмой «Крусилб» (США). Исследовалась сталь Т15, которая содержит в % по массе: углерода 1,5; хрома 4,0; вольфрама 12,0; ванадия 5,0; кобальта 5,0. На рис. 1 сопоставляются микроструктуры порошковой и стандартной (слиточной) быстрорежущей стали Т15.

Образцы шлифов вырезаны из прутков \varnothing 50 мм. Размер карбидов у порошковой стали 1–3 мкм при среднем значении 1,4 мкм, тогда как у обычной стали средний размер карбидов 9,2 мкм, а максимальный размер

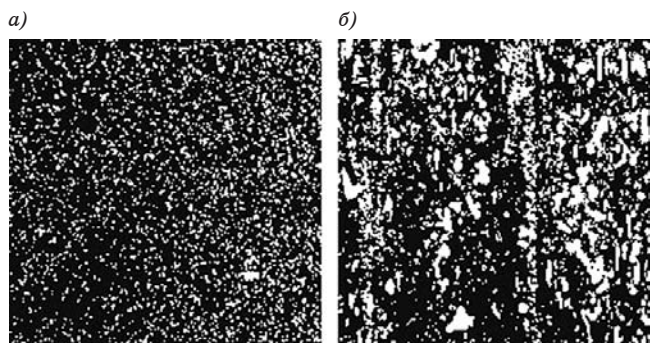


Рис. 1. Микроструктура порошковой (а) и стандартной (б) быстрорежущей стали Т15, $\times 250$

Таблица 1

Механические свойства порошковой и стандартной стали Т15

Марка (технология)	Твердость HRC	Предел прочности (изгиб), МПа	Ударная вязкость*, Дж	Шлифуемость**
Т15 (порошковая)	67	4750	19	2,2
Т15 (стандартная)	66	2180	5	0,6

* Образцы Шарпи с С-образным надрезом.
** Шлифуемость — отношение массы удаленного при шлифовке металла к потере массы шлифовального круга.

карбидных частиц — 34 мкм. Показательная разница и в однородности распределения карбидной фазы. Если у порошковой стали при среднем объеме содержания карбидной фазы 12,8 % на разных полях шлифа содержатся от 12,2 до 13,4 % фазы, то у обычной стали содержание карбидов изменяется от 6,3 до 20,8 %. Механические свойства и шлифуемость порошковой и стандартной стали Т15 сопоставляются в табл. 1.

Повышение механических свойств порошковой стали Т15 сопровождается значительным увеличением стойкости инструментов. Например, при токарной обработке деталей из армо-железа (очень вязкий материал) стойкость резцов из порошковой стали Т15 составила 180 мин, тогда как такие же резцы из стандартной стали работали до переточки только 30 мин.

В России Центральный научно-исследовательский институт материалов (ЦНИИМ), Санкт-Петербургский государственный политехнический университет (СПбГПУ) и другие предприятия на протяжении ряда лет исследовали свойства ПБС марки 10P6M5-МП и стойкость режущего инструмента из этой стали в сравнении с инструментом из стандартных сталей P6M5 и P18. В результате этих исследований были получены сортовой прокат и проволока с прочностью 5500–6500 МПа и ударной вязкостью 500–700 кДж/м² при твердости 64–66 HRC. Эти характеристики прочности и вязкости в 2–3 раза превышают аналогичные свойства стандартной стали P6M5. Необходимо отметить и некоторое повышение теплостойкости порошковой стали. Так, обычная сталь P6M5 после отпуска при 620 °С в течение 4 ч сохраняет твердость на уровне 58 HRC, тогда как сталь 10P6M5-МП — на уровне 60 HRC. Эти исследования также показали, что из ПБС целесообразно производить прежде всего мелкий инструмент, для которого прочность материала особенно важна.

Таблица 2

Результаты испытаний мелкого режущего инструмента

Тип инструмента	Ø, мм	Обрабатываемый материал	Режим резания		Стойкость	
			V, м/мин	S, мм/мин	N	K
Сверла спиральные ГОСТ 10902-77, кл. А1 10P6M5-МП P6M5	3,3	Ст. ОХНЗМФА	6,7	0,056 мм/об	18/5	3,6
	3,4	Ст. 14X17H2	5,4	Ручная	6/3	2,0
	4,2		5,9	Ручная	86/9	9,6
	6,0	Ст. 9XC	8,5	Ручная	78/18	4,3
	9,5	Ст. 12X18H9T	19,1	0,026	10/1,7	6,0
Фрезы концевые 10P6M5-МП P6M5	4,0	Ст. X18H9T	15,7	3	33/16	2,0
	10,0		16-20 8-20	13-33	15/9	1,7
	10,0	Ст. X12M	14-28/10-20	21-64/17-21	31/23	1,3
	6,0		33-52/33-42	26-33/21-26	16/12	1,3
	10,0	Ст. 45, 44 HRC	6,3	25	8/2	4,0
	6,0	Ст. 09X17H3CЛ	13,3	40	182/95	1,9
	8,0	Ст. 20X13	15,1	50	149/70	2,1
	5,0	Ст. 14X17H2	11,1	40	100/50	2,0
	6,0	Алюминий Д16	41-52/33-41	160/104-130	105/60	1,8
	10,0		33-41/25-33	200-255/130-160	180/150	1,2
	6,0	Титан BT5	20/16	60/50	30/17	1,7
	8,0		20/16	80/60	32/17	1,9
	10,0		20/16	60/45	45/34	1,3
Метчики специальные 10P6M5-МП P18	M2	Ст. 14X17H2, 34 HRC	-	-	240/37	6,5
	M3	Алюминий АЛ2	-	-	<u>8000</u> 2000	3,2
	M4		-	-	<u>6000</u> 1800	3,3
	M2	Титан BT14	-	-	414/106	3,9
	M2	Титан BT1-0	-	-	<u>1810</u> 380	4,8
	M2	Титан BT3	-	-	732/122	6,0

Известно, что до 70% мелких инструментов выходит из строя не по причине равномерно износа, а из-за поломок и выкрошивания режущей кромки.

В табл. 2 представлены результаты сравнительных испытаний мелкого режущего инструмента из сталей 10P6M5-МП, P6M5 и P18.

Индексом N в таблице обозначено число отверстий, выполненных при сверлении и нарезании резьбы, или время фрезерования (мин) до затупления фрезы. В числителе режим резания и результаты испытаний порошкового инструмента, в знаменателе — то же для стандартного инструмента.

Наиболее значительное повышение стойкости порошкового инструмента достигнуто на сверлах $K = 2,0 \div 9,6$, минимальное — на концевых фрезах ($K = 1,2 \div 4,0$). В последнем случае надо учесть, что порошковые фрезы работали при более высоких скоростях резания V и подачи S. Высокие показатели коэффициента стойкости и его мини-

мальный разброс характерны для метчиков ($K = 3,2 \div 6,5$). В целом сравнительно большой разброс коэффициента стойкости объясняется тем, что испытания проводились более чем на десяти предприятиях при многих переменных факторах (качество изготовления инструмента, режим резания, жесткость станка, квалификация рабочего, методика оценки и др.), которые практически невозможно стабилизировать [2].

В последние годы для дополнительного упрочнения поверхности металлорежущего инструмента широко используются физические (PVD) и химические (CVD) методы нанесения тонкопленочных износостойких покрытий на основе тугоплавких соединений. Для инструмента из быстрорежущих сталей применяются в основном PVD процессы, которые в большинстве случаев позволяют наносить одно- и многослойные покрытия на основе нитридов, карбидов, карбонитридов титана, хрома, циркония, оксида

Таблица 3

Результаты испытаний инструментов из стали Р6М5 до и после ФПУ

Тип инструмента	Материал обрабатываемой заготовки	Стойкость		Относительное повышение стойкости	Организация, проводившая испытания
		до ФПУ (тыс. шт., ч.)	после ФПУ (тыс. шт., ч.)		
Сверло Ø 2,0	Д16	–	–	2,5	«НПО Автоматики», ФГУП, Екатеринбург
Сверло Ø 2,1	30ХГСА	1600	5000	3,0	Электромашиностроительный завод «Лепсе», ОАО, Киров
Сверло Ø 3,0	ВЧ 70	0,08	0,46	5,75	Моторостроительный завод, ОАО, Харьков
Сверло Ø 4,2	12ХН3А	1 ч	5 ч	5,0	Завод технологической оснастки, ОАО, Николаев
Сверло Ø 5	АК7	300 шт.	4080 шт.	13,6	«Топливные системы», ООО, Санкт-Петербург
Сверло Ø 8,9	Ст45	0,045	0,183	4,0	Полтавский турбомеханический завод, ОАО, Полтава
Метчик М3	ВТ1-0	5	12	2,4	НПЦ «ПО „Старт“», ФГУП, Заречный
Метчик М8	Ст40Х	2 ч	6 ч	3,0	Кронштадтский морской завод, ФГУП, Кронштадт
Метчик М10	12Х18Н10Т	1 ч	2,25 ч	2,25	«Электрокомплекс», ОАО, Минусинск
Метчик М16	Ст35Л	0,008	0,08	10,0	Вагоностроительный завод, ФГУП, Усть-Катав
Метчик М24	40Х	80 шт.	240 шт.	3,0	Калужский турбинный завод, ОАО, Калуга
Развертка Ø 8	Силумин	2,5	15,3	6,5	Завод «Прогресс», ООО, Санкт-Петербург
Развертка Ø 14	У8А	4	9	2,25	«Царскосельский завод — София», ЗАО, Пушкин
Развертка Ø 20	Ст40Х	2,8	6,8	2,4	«Киевтрактородеталь», КП, Киев
Фреза концевая Ø 10	Х12	571 мм	2320 мм	4,1	«МАРТ», ОАО, Санкт-Петербург
Фреза шпоночная Ø 12	Ст45	0,016	0,039	2,4	«Царскосельский завод — София», ЗАО, Пушкин
Фреза фасонная	СтАС-14	5500	16 500	3,0	Автоагрегатный завод, ОАО, Димитровград
Зенкер	Ст45	3 ч	6 ч	2,0	Кронштадтский морской завод, ФГУП, Кронштадт
Резец фасонный круглый	СЧ20	0,15	0,4	2,7	Ульяновский моторный завод, ОАО, Ульяновск
Резец отрезной	Ст45	2 ч	16 ч	8,0	Кронштадтский морской завод, ФГУП, Кронштадт

алюминия. Известно, что данные тугоплавкие соединения, имея кристаллические структуры, обеспечивают повышенную твердость, но одновременно отличаются высокой хрупкостью. Для достижения повышенных адгезионных свойств нанесение покрытий в процессах PVD осуществляется при сравнительно высоких температурах нагрева инструмента, что может приводить к отпуску и разупрочнению БС.

Многолетние исследования и опыт промышленного освоения различных технологий и покрытий для упрочнения режущих инструментов из БС позволили разработать технологию безвакуумного плазменного нанесения упрочняющего алмазоподобного нанопокртия на основе карбида, нитрида и оксида кремния, обеспечивающего значительное повышение стойкости инструмента. Покрытие наносится при атмосферном давлении и минималь-

Таблица 4

Физические свойства известных материалов покрытий

Состав покрытия	Микротвердость, ГПа	$T_{ок}$, °С	f
TiN	19–22	600	0,5
TiC	28–30	400	–
TiCN	30	400	0,4
TiAlN	30–35	540	0,4
TiAlCrN	35	920	0,4
TiAlCrYN	27	950	–
CrN	16–21	700	0,5
Al ₂ O ₃	21–30	1200	–
ZrN	28	600	0,6
MoS ₂	15	–	0,02

ном нагреве изделий около 100 °С. Процесс является заключительной финишной операцией, поэтому он назван финишным плазменным упрочнением (ФПУ) [5]. В табл. 3 приведены результаты производственных испытаний металлорежущих инструментов из стали Р6М5 до и после ФПУ.

Наносимое покрытие на основе карбида, нитрида и оксида кремния обладает рядом уникальных свойств: микротвердостью порядка 52 ГПа, способностью без окисления выдерживать температуры до 1100 °С, низким коэффициентом трения (например, равным 0,07 по стали ШХ15). Для сравнения в табл. 4 приведены значения микротвердости, температуры начала окисления, коэффициента трения f известных материалов, используемых в покрытиях, наносимых вакуумными методами PVD [3]. На рис. 2 представлена фотография образца с покрытием, полученная с использованием растрового электронного микроскопа JEOL JSM-6460LV («Jeol», Япония). Условия формирования покрытия при ФПУ характеризуются также повышенной адгезией покрытия к основе за счет активных хемосорбционных процессов. Это подтверждается проведенными исследованиями адгезионных свойств покрытия с использованием склерометрического метода. Испытанию подвергались образцы из термообработанной стали Р6М5 с покрытием, нанесенным ФПУ, и покрытием нитрида титана, нанесенным ионно-плазменным напылением в вакууме. В качестве индентора применялся алмазный конус Роквелла с углом при вершине 120°, передвигаемый по поверхности покрытий со скоростью 3 см/мин. Вертикальная нагрузка на индентор увеличивалась до тех пор, пока не достигалась ее критическая величина, при которой покрытие отслаивалось от подложки. Данную критическую нагрузку определяли, исследуя по-

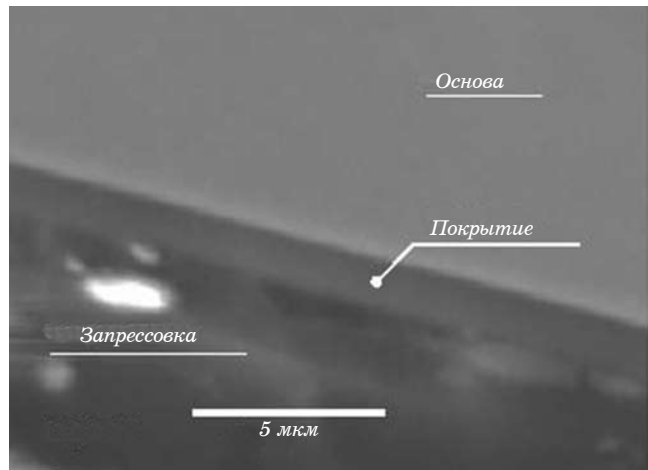


Рис. 2. Изображение образца из стали Р6М5 с алмазоподобным нанопокрывтием, $\times 3500$

лученные царапины под металлографическим микроскопом. В результате данных исследований выявлено, что критическая нагрузка, при которой появлялись первые сколы и отслоение покрытия из нитрида титана, составляла 35 Н, а для покрытий, нанесенных методом ФПУ, — 65 Н.

Эффективность покрытия, наносимого методом ФПУ, связана с его повышенными антифрикционными свойствами и, соответственно, низким коэффициентом трения. Известно, что имеющийся в составе покрытия оксид кремния является высокотемпературным самосмазывающимся материалом и относится к твердосмазочным покрытиям. Поэтому дополнительное наличие всегда существующей твердой смазки в виде тонкопленочного покрытия на рабочих поверхностях инструмента позволяет ослабить требования к качеству нанесения СОЖ, а в отдельных случаях обеспечивать обработку без СОЖ.

Одна из главных причин изнашивания рабочих поверхностей режущего инструмента связана с явлением усталости, которое приводит к изменению микрогеометрии поверхностного слоя иногда даже без заметного линейного или объемного износа. В этом случае на пятнах фактического контакта наблюдаются риски, питинги, следы схватывания, микротрещины, выкрошивания, которые при эксплуатации инструмента являются концентраторами напряжений, приводящими к более опасным повреждениям, чем равномерный износ того же объема. Усталостная прочность деталей в значительной степени определяется шероховатостью поверхности и физико-механическими характеристиками поверхностного слоя [4]. Известно, что чем меньше параметры шероховатости поверхности и, соответ-

Таблица 5

Параметры шероховатости поверхности до и после ФПУ

Параметр шероховатости	R_{\max}	R_a	Степень дефектности, K
До ФПУ	4,17	0,43	0,89
После ФПУ	2,69	0,39	0,85

ственно, степень дефектности поверхностного слоя, тем выше усталостная прочность деталей. Кроме этого, многочисленными исследованиями доказано повышение усталостной прочности за счет создания на поверхности (при финишной операции) технологических остаточных напряжений сжатия.

Известно, что усредненным критерием дефектности поверхности может являться параметр K :

$$K = 1 - R_a/R_{\max}, \quad (1)$$

где R_{\max} — наибольшая высота неровностей профиля; R_a — среднее арифметическое отклонение профиля.

Для экспериментальной оценки параметров шероховатости были изготовлены плоские образцы размерами $100 \times 100 \times 10$ мм из термообработанной стали Р6М5, которые с одной стороны шлифовались. После этого на одну из половин шлифованной поверхности было нанесено покрытие методом ФПУ. С использованием профилографа-профилометра «Пертометр М2» (фирма «Maht», Германия) были сняты параметры шероховатости поверхности до и после ФПУ. Результаты исследования представлены в табл. 5.

При расчетах по формуле (1) параметр K после ФПУ уменьшился на 5%, что характеризует наличие тенденции уменьшения дефектов, которые могут являться концентраторами напряжений после процесса упрочнения.

Одним из аспектов усталостного изнашивания твердых тел является изучение технологических остаточных напряжений (ОН), возникновение которых связано с неоднородностью линейных и объемных изменений материала в процессе изготовления деталей. Вид и режимы технологического воздействия определяют знак, величину и картину распределения ОН. Растягивающие напряжения обычно отрицательно влияют на эксплуатационные характеристики, способствуя раскрытию и развитию усталостных трещин, которые образуются на дефектах, всегда имеющих в реальном твердом теле вследствие его неоднородности. Напряжения сжатия, наоборот, тормозят развитие поверхностных трещин, способству-

ют перемещению очага зарождения усталостной трещины под поверхность, где действуют меньшие нагрузки и отсутствует контакт с внешней средой. В результате возрастает сопротивление усталостному разрушению. Возникновению усталостных трещин способствуют также дефекты механической обработки (царапины, риски), металлургические дефекты (поры, оксидные и шлаковые включения). Усталостные трещины могут возникать также на межфазных и межкристаллитных границах.

В условиях резания инструмент испытывает растягивающие напряжения поверхностных слоев. Практически весь инструмент проходит финишную технологическую операцию абразивной обработки (заточки), которая приводит к образованию на поверхности также растягивающих ОН. В результате в условиях эксплуатации рабочие растягивающие напряжения складываются с технологическими ОН, что негативно сказывается на процессах износа.

При использовании ФПУ с нанесением алмазоподобного нанопокртия температура основы не превышает $100 \dots 120$ °С, а температура наносимого покрытия — более $1000-2000$ °С, коэффициент линейного расширения наносимого покрытия составляет порядка $0,8 \cdot 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$, а коэффициент линейного расширения основного материала стали Р6М5 — порядка $11 \cdot 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$. Поэтому теоретически данный процесс должен обеспечивать образование в металле основы сжимающих остаточных напряжений.

В целях определения влияния процесса ФПУ как окончательного на технологические ОН в поверхностном слое инструментальных сталей, прошедших механическую, термическую и абразивную обработку, были проведены измерения ОН, для чего использовалась аппаратура неразрушающего контроля остаточных и эксплуатационных напряжений в металлах и сплавах «Ситон», которая позволяет определять механические напряжения при измерении амплитудно-фазочастотных характеристик. На основании анализа полученных эпюр напряжений было доказано, что после окончательной шлифовальной операции на поверхности образуются растягивающие остаточные напряжения. После ФПУ в подпленочной зоне образуются сжимающие остаточные напряжения порядка 80 МПа. На этом основании технология ФПУ может быть рекомендована как окончательный финишный процесс обработки поверхностей, работающих в условиях трения и износа, — процесс, препятствующий распространению трещин и повышающий усталостную прочность.

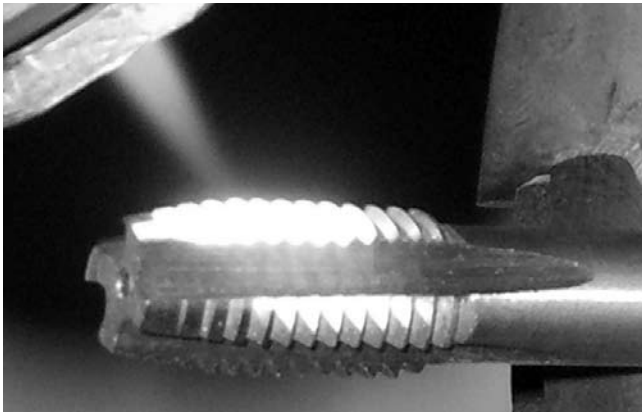


Рис. 3. Финишное плазменное упрочнение метчика

На рис. 3 представлен процесс нанесения алмазоподобного нанопокрyтия на метчик.

В заключение следует отметить, что специалистами СПбГПУ, ЗАО «СИЗ-Пром» и НПФ «Плазмацентр» в инициативном порядке впервые изготовлена представительная партия мелкого инструмента (концевые фрезы \varnothing 6 мм, сверла \varnothing 3 мм и др.) из ПБС с алмазоподобным нанопокрyтием. Начаты маркетинговые исследования в целях выявления потребности отечественных предприятий в таком инс-

трументе. НПФ «Плазмацентр» готов передать для производственного опробования опытные партии нового инструмента заинтересованным предприятиям. Соответствующие заявки направляйте по адресу: 191167, Санкт-Петербург, а/я 77, т/ф (812) 445-24-96, (812) 528-74-84, (901) 320-08-02. E-mail: office@plasmacentre.ru

Литература

1. Геллер Ю. А. Инструментальные стали. М.: Металлургия, 1983. 527 с.
2. Гиршов В. Л. Техничко-экономические преимущества порошковых быстрорежущих сталей // Металлообработка. 2001. № 4. С. 40–42.
3. Григорьев С. Н., Ильичев Л. Л., Волосова М. А. Нанесение покрyтий и поверхностная модификация инструмента. Оренбург: ИПК ГОУ ОГУ. 2007. 393 с.
4. Терентьев В. Ф. Усталость металлических материалов. М.: Наука, 2003. 254 с.
5. Тополянский П. А. Новая технология нанесения алмазоподобных покрyтий на инструмент и технологическую оснастку при атмосферном давлении // Металлообработка. 2005. № 3 (27). С. 45–50.
6. Kazak A., Dulis E. Powder metallurgy tool steel // Powder metallurgy. 1978. N 2. P. 114–123.

14-17 апреля 2009 г, Санкт-Петербург

При поддержке Северо-Западного
федерального округа Российской Федерации

11-я Международная научно-практическая конференция

«ТЕХНОЛОГИИ РЕМОНТА, ВОССТАНОВЛЕНИЯ И УПРОЧНЕНИЯ ДЕТАЛЕЙ МАШИН, МЕХАНИЗМОВ, ОБОРУДОВАНИЯ, ИНСТРУМЕНТА И ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ОСНАСТКИ»

Темы конференции:

- трение и износ, защита от коррозии, конструкционные, технологические и эксплуатационные методы обеспечения качества и повышения долговечности изделий
- технологии диагностики, дефектации, мойки, очистки, восстановления геометрии, упрочнения поверхности, обработки нанесенных покрyтий, окраски и консервации

В рамках конференции пройдут:

- Школа-семинар «ВСЕ МЕТОДЫ ПОВЫШЕНИЯ СТОЙКОСТИ ИНСТРУМЕНТА, ШТАМПОВ ХОЛОДНОГО ДЕФОРМИРОВАНИЯ, ПРЕСС-ФОРМ И ДРУГОЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ОСНАСТКИ»
- Школа-семинар «НАПЛАВКА И НАПЫЛЕНИЕ – ВЫБОР ТЕХНОЛОГИИ, ОБОРУДОВАНИЯ И МАТЕРИАЛОВ»
- Школа-семинар «РЕМОНТ, ВОССТАНОВЛЕНИЕ, УПРОЧНЕНИЕ И КОНТРОЛЬ КАЧЕСТВА ЛИТЕЙНОЙ ОСНАСТКИ, КУЗНЕЧНО-ПРЕССОВОГО ИНСТРУМЕНТА И ШТАМПОВ»
- Школа-семинар «КОНСТРУИРОВАНИЕ ДЕТАЛЕЙ И УЗЛОВ ТРЕНИЯ С ПОВЫШЕННОЙ ДОЛГОВЕЧНОСТЬЮ И ИЗНОСОСТОЙКОСТЬЮ»

К началу конференции будет издан сборник докладов. Познакомиться с темами докладов предыдущих конференций Вы можете на сайте www.plasmacentre.ru в разделе «Конференции»

Организаторы:

- Санкт-Петербургский государственный политехнический университет
- НПФ «Плазмацентр»



Плазмацентр

Заявки на участие принимаются
по тел.: (812) 4452496, (901) 3043191
факс: (812) 4452496, (812) 5287484
e-mail: info@plasmacentre.ru



www.plasmacentre.ru/conf