

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ОБРАБОТКИ ДАВЛЕНИЕМ ЗАГОТОВОК ИЗ ДИСПЕРСНО-УПРОЧНЕННОЙ МЕДИ

¹Шеменков В.М., ¹Ловшенко Ф. Г., ²Ловшенко Г. Ф.

¹ГУ ВПО «Белорусско-Российский университет», Могилев, Республика Беларусь,

²Белорусский национальный технический университет, Минск, Республика Беларусь,
greg-lovshenko@mail.ru

Твердые сплавы как инструментальные материалы эффективно применяются в металлообработке. Твердосплавным инструментом снимается до 70 % всей стружки [1]. Однако качественные изменения в металлообработке последних лет повышают требования к работоспособности и надежности твердосплавного инструмента.

Резервы повышения износостойкости инструментальной оснастки за счет создания новых материалов в значительной степени уже исчерпаны или связаны со значительными материальными затратами. Поэтому особое значение в настоящее время приобретают вопросы, связанные с внедрением технологических процессов модифицирования рабочих поверхностей.

Одним из перспективных способов повышения износостойкости рабочих поверхностей твердосплавных инструментов является процесс модифицирующей обработки тлеющим разрядом [2].

Разработанный метод по сравнению с существующими обладает рядом преимуществ. Метод позволяет повысить износостойкость всей гаммы инструментальных материалов. Отсутствуют традиционные для аналогичных видов обработки операции подогрева, нагрева и охлаждения изделий, предварительной термообработки, что приводит к повышению производительности процесса. В процессе обработки изделие нагревается до температуры 423 К, что обеспечивает сохранность его конструктивных и геометрических параметров. Отсутствие специальных устройств для подготовки рабочей среды экономически выгодно отличает предложенный метод от аналогов. Процесс модифицирующей обработки тлеющим разрядом не токсичен и отвечает самым жестким требованиям по защите окружающей среды [3].

Механизмы, приводящие к модифицирующей обработке инструментальных материалов тлеющим разрядом, сходны с процессами, протекающими при низкоэнергетической ионной имплантации, с разницей, в том, что в качестве источника ионов используется среда остаточных атмосферных газов. Вследствие чего изменение свойств поверхностных слоев твердых сплавов происходит за счет бомбардировки ионами и атомами остаточных газов, таких как азот (N_2), кислород (O_2), водород (H_2), аргон (Ar), а также распыленных атомов элементов твердого сплава. Это приводит к изменению эксплуатационных свойств твердых сплавов в условиях трибомеханического и трибохимического воздействия [4, 5].

Ниже представлены исследования партии многогранных неплетачиваемых пластин из твердых сплавов ВК8 и ТН-20 в исходном состоянии и подвергнувшихся обработке, при различных энергетических характеристиках тлеющего разряда.

Проведенный металлографический анализ при помощи электронной микроскопии свидетельствует о том, что твердые сплавы являются гетерогенными материалами, состоящими из твердой фазы и связки. Так, в качестве твердой фазы исследуемого твердого сплава ВК8 в состоянии поставки используется карбид вольфрама (WC) со средней площадью зерен, равной $17,3 \text{ мкм}^2$, а в качестве связующего компонента выступает кобальт (Co) (рис. 1, а). В качестве твердой фазы сплава ТН20 выступает карбид титана (TiC) со средней площадью зерен, равной $2,3 \text{ мкм}^2$, а в качестве связующего компонента выступает никель-молибденовая связка (рис. 2, а). Границы зерен карбидной фазы являются размытыми, а зерна имеют сложную форму.

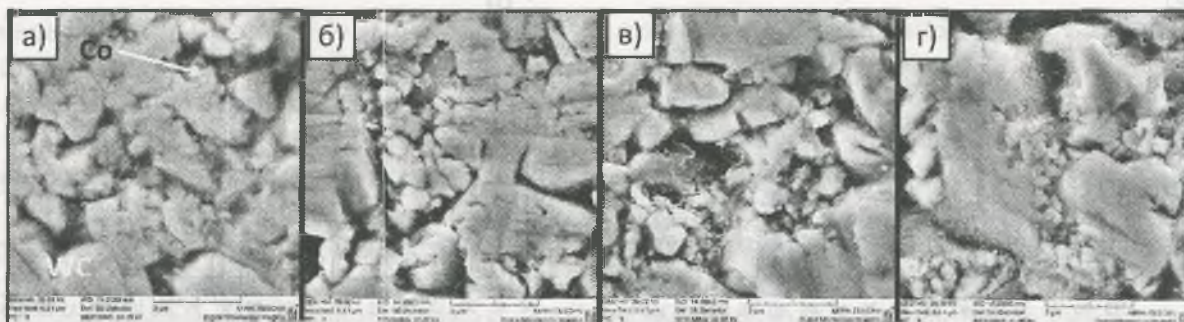


Рисунок 1 – Структура твердого сплава ВК8: а – в состоянии поставки б – после обработки тлеющим разрядом с удельной мощностью горения разряда $0,20 \text{ кВт/м}^2$; в – после обработки тлеющим разрядом с удельной мощностью горения разряда $0,50 \text{ кВт/м}^2$; г – после обработки тлеющим разрядом с удельной мощностью горения разряда $0,88 \text{ кВт/м}^2$.

Модифицирующая обработка твердого сплава ВК8 приводит к уменьшению размера зерен карбидной фазы. Помимо изменения размеров зерен карбида вольфрама и возникновению новых границ деления зерен твердой фазы особенно после обработки в тлеющем разряде с удельной мощностью горения $0,50 \text{ кВт/м}^2$ (рис. 1, в), обработка также приводит к размытости межфазных границ вызванных сложным взаимодействием кобальтового и карбидного скелетов (рис. 1, г).

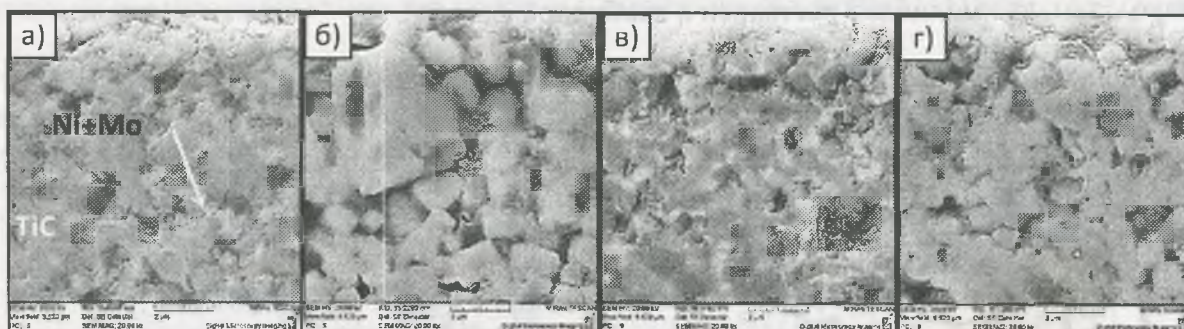


Рисунок 2 – Структура твердого сплава ТН-20: а – в состоянии поставки б – после обработки тлеющим разрядом с удельной мощностью горения разряда $0,20 \text{ кВт/м}^2$; в – после обработки тлеющим разрядом с удельной мощностью горения разряда $0,50 \text{ кВт/м}^2$; г – после обработки тлеющим разрядом с удельной мощностью горения разряда $0,88 \text{ кВт/м}^2$.

Модифицирующая обработка твердого сплава ТН20 приводит к появлению четких границ зерен карбидной фазы, особенно при обработке с удельной мощностью горения тлеющего разряда W , равной $0,20$ и $0,88 \text{ кВт/м}^2$ (рис. 2, б и 2, г), что может быть вызвано образованием по границам зерен твердого раствора $\text{TiC}+\text{Mo}_2\text{C}$ [4], перераспределением никеля вдоль границ зерен твердой фазы и частичным переходом молибдена из твердой фазы в связующую.

С целью получения информации о воздействии модифицирующей обработки на структуру отдельных составляющих твердого сплава было проведено изучение дифракционных отражений карбидов вольфрама, титана, кобальта, молибдена и никеля, полученных при помощи автоматизированного рентгеновского комплекса на базе дифрактометра ДРОН-3М. Фрагменты дифрактограмм представлены на рис. 3.

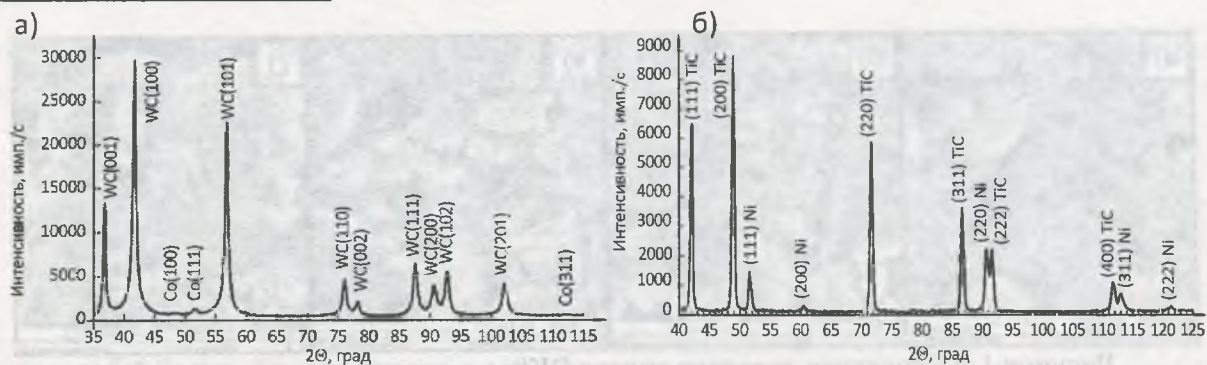


Рисунок 3 – Фрагменты дифрактограмм твердого сплава BK8 (а) и ТН-20 (б) в исходном состоянии.

При анализе полученной дифрактограммы исходного образца сплава BK8 (рис. 3, а) видно, что она содержит две системы отражений, одна из которых принадлежит карбиду вольфрама (WC), другая – кобальту (Co). Межплоскостные расстояния и распределение интенсивности регистрируемых линий WC, за исключением отражения (101), соответствуют данным стандартной картотеки PDF.

При анализе полученной дифрактограммы исходного образца сплава ТН-20 (рис. 3, б) видно, что фазовый состав сплава представлен карбидом титана (TiC) и никелем (Ni). Отсутствие отражений от молибдена (Mo) в исследуемом интервале углов рассеяния связано с тем, что молибден растворен в карбидной фазе [4].

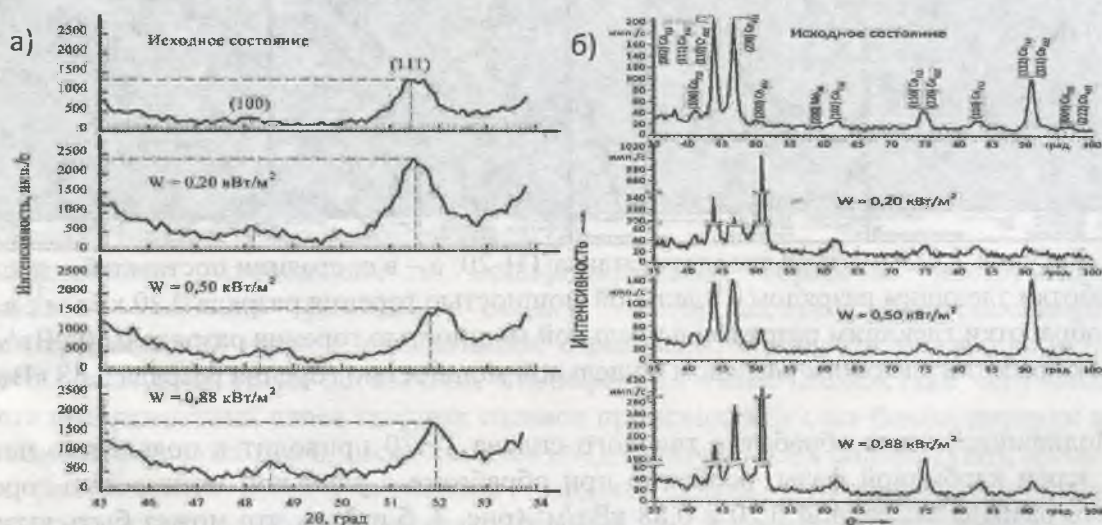


Рисунок 4 – Фрагменты рентгенограмм твердого сплава BK8 (а) и сплава GIALLOY PACO-CR (EN ISO 6871-1/6871-2) (б) в исходном состоянии и после модифицирующей обработки в тлеющем разряде с различной удельной мощностью горения.

В связи с малым содержанием кобальтовой связки в твердом сплаве BK8 его дифракционные линии, характеризуются низкой интенсивностью (рис. 4, а), что приводит к определенным трудностям при выявлении механизмов протекающих при модифицирующей обработке. В результате этого был проведен рентгеноструктурный анализ сплава GIALLOY PACO-CR (EN ISO 6871-1/6871-2) с массовой долей Co 64%, в исходном состоянии и подвергнутый модифицирующей обработке (рис. 4, б). За счет большого содержания кобальта механизмы структурно-фазовых превращений, протекающие в нем, будут более явными.

Характер изменения параметров дифракционных линий (002), (111) и (200) кобальта свидетельствует о протекании в процессе модифицирующей обработке полиморфного

превращения $\alpha\text{-Co} \rightarrow \beta\text{-Co}$ и $\beta\text{-Co} \rightarrow \alpha\text{-Co}$, а изменение интенсивности дифракционных линий (002), (110) и (112) – о переориентации кристаллов $\alpha\text{-Co}$.

Изменение физического уширения и интенсивности дифракционных линий Co, WC и Cr подтверждает, что воздействие тлеющего разряда приводит к уменьшению искажений, как в связующем материале, так и в твердой фазе сплавов.

Обработка тлеющим разрядом твердого сплава ТН-20 оказывает влияние на тонкую структуру никеля, на что однозначно указывают изменения профиля дифракционных линий и соотношение их интенсивностей. Так, из полученных результатов следует, что в исходном состоянии профиль линии (111) сильно размыт, отмечается асимметрия со стороны больших углов рассеяния 2θ , интенсивность линии относительно невелика, физическое уширение дифракционной линии составляет $12,7 \cdot 10^{-3}$ рад (табл. 1). Межплоскостное расстояние этого отражения составляет 0,2060 нм, что существенно превышает литературное значение 0,2038 нм (табл. 1).

Вместе с тем межплоскостные расстояния, рассчитанные по отражениям линий никеля (220) и (222), близки к литературным [7]. Это позволяет сделать однозначный вывод, что в исходном состоянии сплав характеризуется анизотропией свойств, и наибольшая степень искажения кристаллической решетки никеля происходит по плоскостям (111), (220), для которых соотношение интенсивностей отличается от эталона (табл. 2).

Сопоставление представленных в табл. 2 результатов свидетельствует о том, что воздействие тлеющего разряда оказывает значительное влияние на поверхностные слои сплава, на что указывает изменение профиля и интенсивности линии (111) никелевой связки.

Таблица 1 – Межплоскостное расстояние d/n , интегральная интенсивность J , физическое уширение β дифракционных линий никеля, размер фрагментов D в его поверхностных слоях.

Образец	Линия (111)					Линия (220)			Линия (222)		
	d/n , нм		J , имп	β , $\times 10^{-3}$ рад	D , нм	d/n , нм		J , имп	d/n , нм		J , имп
	эксперимент	эталон [7]				эксперимент	эталон [7]		эксперимент	эталон [7]	
Исходный	0,2060		1317	12,7	16	0,1257		1472	0,1026		438
0,20 кВт/м ²	0,2049	0,2038	981	18,9	11	0,1258	0,1252	246	0,1026	0,1022	384
0,50 кВт/м ²	0,2054		3850	5,2	38	0,1257		710	0,1027		606
0,88 кВт/м ²	0,2053		8103	4,1	50	0,1253		202	0,1027		522

Таблица 2 – Соотношение интенсивности линий никеля для различных образцов.

Образец	Интенсивность дифракционных линий, %		
	(111)	(220)	(222)
Эталон	100	40	10
Исходный	100	100	16
0,20 кВт/м ²	100	18	21
0,50 кВт/м ²	100	15	18
0,88 кВт/м ²	100	2	6

Воздействие тлеющего разряда с удельной мощностью горения 0,20 кВт/м² на поверхность образца (табл. 1) приводит к снижению интенсивности отражений линий (111), (220), (222) по сравнению с исходным состоянием сплава. Данное изменение может указывать на перераспределение никеля в поверхностных слоях, в частности, на некоторое

его уменьшение за счет растворимости в карбиде титана при одновременном измельчении (до 11 нм) его фрагментов и росте физического уширения дифракционной линии в 1,5 раза (табл. 1). При этом регистрируется заметное снижение межплоскостного расстояния линии (111) с 0,2060 нм до 0,2049 нм. Кроме того, изменяется соотношение интенсивностей отражений по отношению к эталонному образцу (табл. 2).

Обработка сплава ТН-20 тлеющим разрядом с удельной мощностью горения 0,50 кВт/м² сопровождается заметным сужением профиля линии (111), ростом ее интенсивности (рис. 26) и некоторым возрастанием межплоскостного расстояния, а также приближением соотношения интенсивностей к эталонному образцу (табл. 2). Все эти данные позволяют сделать заключение о протекании под воздействием тлеющего разряда процессов релаксации искажений, характерных для исходного сплава. На это также указывает рост размера фрагментов Ni в поверхностных слоях (табл. 1).

Дальнейшее уменьшение физического уширения (до $4,1 \cdot 10^{-3}$ рад) и существенное возрастание интенсивности линии (111) никеля регистрируются для образца, подвергнутого обработке тлеющим разрядом с удельной мощностью горения 0,88 кВт/м² (табл. 1). Однако в этом случае имеет место текстура, приводящая практически к исчезновению линии (220) и резкому снижению интенсивности линии (222) никеля (см. табл. 2), что может объясняться переориентацией кристаллитов никеля (эффект самоорганизации). Согласно проведенной оценке, в случае такой обработки образца в поверхностных его слоях формируются фрагменты с наибольшими (50 нм) размерами.

В табл. 3 представлены характеристики некоторых отражений TiC. Видно, что основные дифракционные параметры исследованных отражений у исходного образца сплава и после воздействия на него тлеющим разрядом практически не различаются. Последнее свидетельствует, что обработка тлеющим разрядом практически не оказывает воздействие на карбид титана.

Таблица 3 – Межплоскостное расстояние d/n , интегральная интенсивность J , физическое уширение β дифракционных линий TiC, размер фрагментов D в его поверхностных слоях.

Образец	Линия (111)					Линия (220)			Линия (222)		
	d/n , нм		J , имп	β , $\times 10^{-3}$ рад	D , нм	d/n , нм		J , имп	d/n , нм		J , имп
	эксперимент	эталон [7]				эксперимент	эталон [7]		эксперимент	эталон [7]	
Исходный	0,1528		3320	6,5	34	0,1248		1384	0,1080		789
0,20 кВт/м ²	0,1528	0,1520	3769	7,1	31	0,1248	0,1245	1394	0,1080	0,1079	923
0,50 кВт/м ²	0,1527		3683	7,1	31	0,1246		1406	0,1079		896
0,88 кВт/м ²	0,1528		3631	6,6	33	0,1248		577	0,1080		461

Некоторое исключение представляет образец, обработанный тлеющим разрядом с удельной мощностью горения 0,88 кВт/м², у которого интенсивность линий (222) и (400) ниже по сравнению с остальными образцами, что может указывать на некоторое перераспределение TiC по глубине образца, а именно снижение его количества вдоль плоскостей (222), (400) в поверхностных слоях.

Заключение

При обработке твердого сплава ВК8 в тлеющим разрядом с удельной мощностью горения от 0,20 до 0,88 кВт/м² происходит ряд структурно-фазовых изменений,

закрывающихся в формировании блочно-фрагментированной структуры карбидной фазы WC, в увеличении размера фрагментов кобальтовой связки, в изменении соотношения фаз α -Co и β -Co, а также в граничной и объемной диффузии Co в WC.

Обработка твердого сплава BK8 в тлеющем разряде с удельной мощностью горения от 0,20 до 0,88 кВт/м² приводит к уменьшению искажений как в связующих материалах (Ni + Mo), так и в твердой фазе (TiC); перераспределению TiC по глубине; образованию по границам зерен карбидной фазы твердого раствора TiC+Mo₂C.

Указанные выше изменения, протекающие в поверхностных слоях твердосплавного инструмента, приводит к повышению поверхностной твердости от 10 до 15 % и износостойкости от 2 до 3 раз [8].

Список литературы

1. Металлообрабатывающий твердосплавный инструмент: справочник / В. С. Самойлов [и др.]; редкол.: И. А. Ординарцев (пред.) [и др.]. – М.: Машиностроение, 1988. – 368 с.: ил.
2. Пат. РБ № 14716 ВУ, U C 21 D 1/78. Способ упрочнения изделий из металла или сплава, или сверхтвердого или графитсодержащего материала / В. М. Шеменков, А.Ф. Короткевич; заявитель и патентообладатель Государственное учреждение высшего профессионального образования «Белорусско-Российский университет». – № 20091136; заявл. 27.07.2009. опублик. 30.08.2011. – 3 с.
3. Ходырев, В. И. Прогрессивные электрофизические методы упрочнения твердосплавного инструмента / В. И. Ходырев, А. Ф. Короткевич, В. М. Шеменков // Вестн. МГТУ. – 2002. – № 2. – С. 159–163.
4. Шеменков, В.М. Влияние тлеющего разряда на механические и эксплуатационные свойства поверхностного слоя однокарбидных твердых сплавов / В.М. Шеменков, Ф.Г. Ловшенко, Г.Ф. Ловшенко // Вестн. Белорусско-Российского университета, – 2011. – №4/(33). С. 117-128.
5. Шеменков, В. М. Влияние тлеющего разряда на структуру и свойства безвольфрамовых твердых сплавов / В.М. Шеменков, Ф.Г. Ловшенко, Г.Ф. Ловшенко, // Современные методы и технологии создания и обработки материалов: VI Междунар. науч.-техн. конф. (Минск, 14-16 сентября 2011 г.): сб. материалов. В 3 кн. Кн. 1. Конструкционные и функциональные материалы в современной технике, методы их получения. Материалы для микро- и нанoeлектроники / ред. коллегия: С.А. Астапчик (гл. ред.) [и др.]. – Минск: ФТИ НАН Беларуси, 2011. с. 396 – 406.
6. Панов, В. С. Технология и свойства спеченных твердых сплавов и изделий из них: учеб. пособие для вузов / В. С. Панов, А. М. Чувилин, В. А. Фальковский. – 2-е изд., доп. и перераб. – М.: МИСИС, 2004. – 464 с.: ил.
7. Горелик, С. С. Рентгенографический и электронно-оптический анализ : учеб. пособие для вузов / С. С. Горелик, Ю. А. Скаков, Л. Н. Расторгуев. – 4-е изд., доп. и перераб. – М. : МИСИС, 2002. – 360 с. : ил.
8. Шеменков, В.М. Влияние тлеющего разряда на эксплуатационные свойства твердых сплавов / В.М. Шеменков, Ф.Г. Ловшенко, Г.Ф. Ловшенко, // Современные методы и технологии создания и обработки материалов: VII Междунар. науч.-техн. конф. (Минск, 19-21 сентября 2012 г.): сб. материалов. В 3 кн. Кн. 1. Конструкционные и функциональные материалы в современной технике, методы их получения. Материалы для микро- и нанoeлектроники / ред. коллегия: С.А. Астапчик (гл. ред.) [и др.]. – Минск: ФТИ НАН Беларуси, 2012. с. 396 – 406.