

3. Коновалов В.А., Шатохин В.В. Взаимосвязь прочности закрепления зерен в связке со стойкостью алмазно-абразивного инструмента. /XII межд. конф. Породоразрушающий металлообрабатывающий инструмент – техника, технология его изготовления и применения, Крым, 17 – 22 сент., 2010 г.: Сб. научн. трудов – Киев, 2009. – Вып. 12. – С. 508–513.
4. Пегловский В.В., Сидорко В.И., Ляхов В.Н., Поталыко Е.М. Исследование производительности и трудоемкости шлифования природных камней алмазным инструментом. /XII межд. конф. Породоразрушающий металлообрабатывающий инструмент – техника, технология его изготовления и применения, Крым, 17 – 22 сент., 2010 г.: Сб. научн. трудов – Киев, 2009. – Выпуск 12. – С. 500–604.
5. Александров В.А., Левин М.Д., Мечник В.А. Определение длины сегмента алмазного дискового инструмента // Сверхтвердые материалы, 1984. – №1. – С.42–45.

Поступила 08.07.11

УДК 622.24.057

В. И. Бугаков, д-р техн. наук, А. А. Поздняков, канд. техн. наук

Институт физики высоких давлений им. Л. Ф. Верещагина РАН, г. Троицк, РФ

АЛМАЗНЫЙ ИНСТРУМЕНТ ДЛЯ ОБРАБОТКИ БЕТОНА И ДРУГИХ СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ, ИЗГОТОВЛЕННЫЙ МЕТОДОМ ГОРЯЧЕГО ПРЕССОВАНИЯ ПРИ ДАВЛЕНИИ 1–1,5 ГПа

Рассмотрены процессы обработки бетона и других строительных материалов алмазным инструментом. Экспериментально показана эффективность алмазного инструмента изготовленного методом горячего прессования при давлении 1–1,5 ГПа, с использованием алмазов АРК-4 2000/1600 и связки никель – диборид хрома твердостью 30 НРС.

Ключевые слова: алмаз, высокое давление, алмазный инструмент, горячее прессование.

Алмазный инструмент для обработки природного камня различного минерального состава и других искусственных строительных материалов, обладающих необходимой прочностью и погодостойкостью, находит все более широкое применение в строительстве.

Прежде чем перейти к анализу работоспособности алмазного инструмента в конкретных условиях, рассмотрим общие закономерности работы алмазосодержащих элементов [1]. Общее явление для всех обрабатываемых материалов – образование стружки (шлама). Однако при обработке камня имеются характерные особенности. Модель, схема которой показана на рис. 1, основана на процессе обработки камня зерном алмаза без его предварительного затачивания.

Как видим на рис. 1, в зоне 1 наблюдается трение между абразивным шламом и матрицей, в зоне 2 – износ матрицы абразивным шламом, первичное разрушение происходит в зоне 3, для зоны 4 характерно трение между алмазным зерном и камнем, пластическая деформация происходит в зоне 5, упругая – в зоне 6, в зоне 7 наблюдается вторичное разрушение.

В процессе обработки природного камня и другого строительного материала происходит износ алмазного инструмента (сегментов), который можно разделить на два вида: износ алмаза и матрицы.

Параметры износа инструмента зависят от минерального состава материала и условий обработки. К износу алмазов приводит абразивное воздействие обрабатываемого камня или строительного материала, возникающее вследствие высоких механических и термических нагрузок. К износу матрицы приводит абразивное воздействие шлама (смеси стружки и охлаждающей жидкости), возникающее в процессе обработки. Абразивность шлама определяется главным образом размером его частиц и минеральным составом обрабатываемого материала.

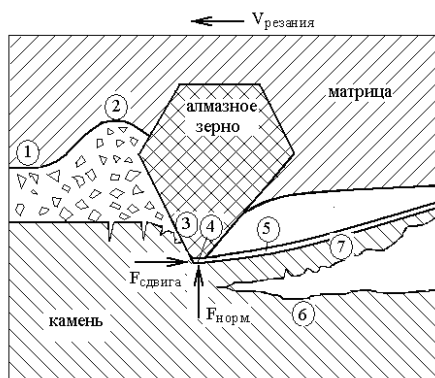


Рис. 1. Схема механического взаимодействия алмазного инструмента и обрабатываемого материала

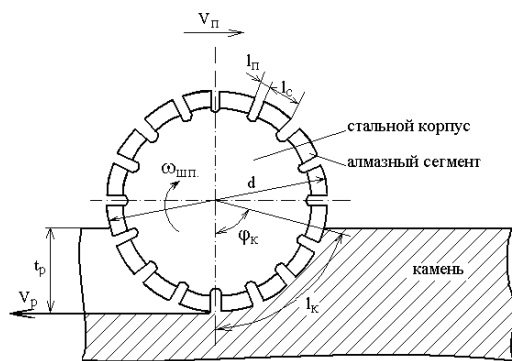


Рис. 2. Схема обработки материала алмазным инструментом: V_p – скорость обработки; V_n – скорость подачи; t_p – глубина обработки; $\omega_{шп}$ – угловая скорость шпинделя; d – диаметр круга; l_c – длина сегмента; l_n – длина паза; l_k – контактная длина; φ_k – контактный угол

где h_c – толщина съема стружки; λ – отношение длины, занятой сегментами, к общей длине поверхности инструмента.

Из формул (1) и (2) следует

$$h_c = \frac{hV_n}{V_{cл}} \quad (3)$$

Результаты анализа формулы (3) показывают, что повышение скорости обработки приводит к уменьшению толщины стружки и снижению нагрузки на алмазные зерна, повышение скорости подачи – к увеличению толщины стружки и повышению скорости съема с одновременным повышением нагрузки на алмазные зерна.

Для достижения оптимальной производительности следует либо увеличивать глубину обработки при неизменной скорости подачи, при этом увеличивается внедрение отдельного алмазного зерна в обрабатываемый материал, либо повысить скорость подачи при неизменной глубине обработки, при этом увеличивается ударная нагрузка на алмазные зерна. Съем материала, как правило, ограничен максимальными возможными термическими и механическими нагрузками, прилагаемыми к алмазным зернам. Алмазный инструмент является наиболее технологически контролируемым из таких факторов процесса обработки как качественные характеристики алмазного инструмента, физические, механические и химические характеристики обрабатываемого материала и условия обработки [2]. В Институте физики высоких давлений РАН провели исследования по применению алмазов АРК-4 в целях изготовления шлифовальных головок для обработки бетона, природного камня и других строительных материалов [3].

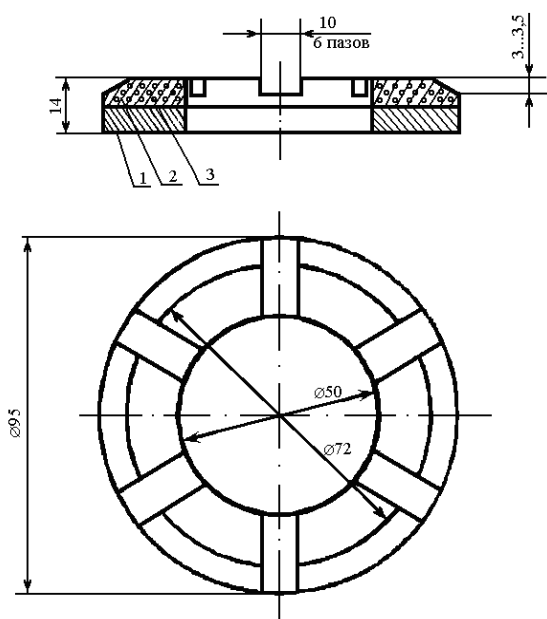


Рис. 3. Схема алмазной шлифголовки: 1 – корпус; 2 – матрица; 3 – алмазы АРК-4

Износ алмазных зерен (по его механизму) можно разделить на четыре вида: адгезионный, трением, диффузионный и излом алмаза.

Адгезионный и диффузионный виды износа наблюдаются при обработке определенных видов камня, например, руд металлов. К основным видам износа относятся излом и трение.

Кроме материала матрицы, свойств камня и алмазов на износ алмазного инструмента влияют условия обработки. Производительность процесса обработки определяют два фактора: глубина обработки h и скорость подачи V_n . Отношение скорости обработки и скорости подачи определяет нагрузку на инструмент. Параметры, влияющие на работу алмазного инструмента, показаны на рис. 2.

Производительность обработки можно выразить через параметры оборудования с помощью формулы:

$$Q = V_n h \quad (1)$$

где: V_n – скорость подачи; h – глубина обработки; и через параметры геометрии инструмента формулой:

$$Q = V_c h_c \lambda, \quad (2)$$

Разработали рациональную технологию изготовления алмазных шлифовальных головок (ШГК) с использованием крупных прочных шлифпорошков алмаза АРК-4 методом горячего прессования при давлении 1–1,5 ГПа, а также оптимальный состав связки алмазного слоя. Схема шлифовальной головки ШГК, показана на рис. 3.

Схема сборки камеры высокого давления

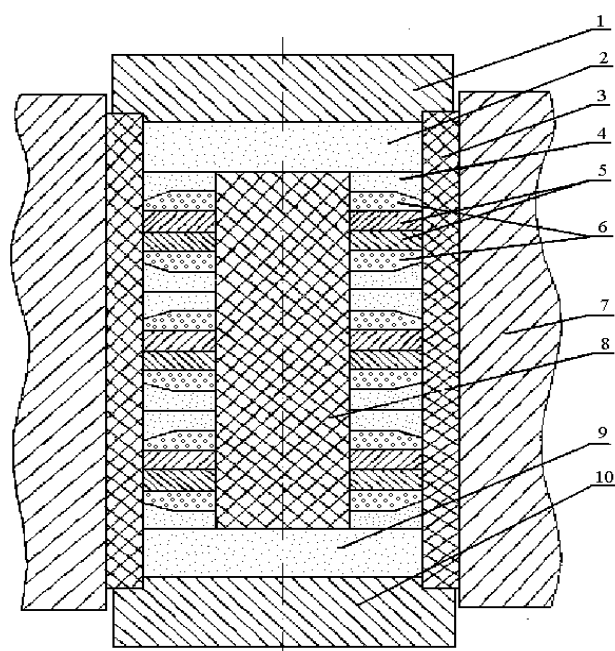


Рис. 4. Схема сборки КВД для спекания шлифовальных головок ШГК: 1 – верхний поршень; 2 – торцевой нагреватель; 3 – электро- и теплоизолирующая катлитовая обойма; 4 – графитовый диск; 5 – стальной корпус; 6 – алмазная шихта; 7 – контейнер высокого давления; 8 – катлитовый стержень; 9 – торцевой нагреватель; 10 – нижний поршень

оснащенных цилиндрическими вставками диаметром 10 мм из композиционного материала “Славутич”, производства Института сверхтвердых материалов им. В. Н. Бакуля НАН Украины.

В процессе шлифования мозаичных полов отобрали для исследования пробы шлама. В шламе бетона, обработанного ШГК 95 с АРК-4 1000/800, обнаружили алмазы АРК-4, размером до 0,5 мм. В пробах шлама бетона, обработанного шлифголовками ИСМ НАН Украины, максимальный размер алмазов не превышал 200 мкм. Применяемый в шлифголовках композиционный материал “Славутич” состоял из природных алмазов фракции 630/500 и твердого сплава ВК6, твердость матрицы составляла 84–90 НРА.

Результаты анализа поверхности шлифголовок ШГК-95 показали, что связка в процессе шлифования бетона истирается настолько, что алмазы АРК-4 возвышаются над ее поверхностью на 0,4–0,5 мм. Это создает условия для более интенсивного срезания поверхности бетона и отвода шлама, т. е. повышения производительности шлифования, однако при этом ослабевает крепление алмазного зерна в связке. Не успев износиться, алмазное зерно выкрашивается из связки, что подтверждается наличием в шламе крупных частиц алмазов АРК-4. Износостойкость применяемой связки твердостью 22–25 НРС оказывается недостаточной для сбалансированной работы шлифовальной головки ШГК-95.

Для установления влияния свойств алмазных материалов, размера алмазного зерна и метода изготовления шлифголовок на их работоспособность изготовили шлифовальные головки ШГК-95 из алмазов АРК-4 2000/1600 и 630/500 и АРС3 630/500 горячим прессованием под давлением 1,0–1,5 ГПа на металлокерамической связке (Ni – ВК15) с твердостью 22–25 НРС. При изготовлении шлифголовок использовали разработанный припой [4]. Для сравнения испытывали шлифголовки производства ВНИИАЛМАЗ из алмазов АРС3 и природных алмазов АЗД на связке М6-01. Характеристики алмазных шлифголовок приведены в табл. 1.

Сравнили износостойкость алмазных шлифголовок по эксплуатационным показателям и традиционных абразивных шлифовальных инструментов из карбида кремния черного К4 твердостью 2 на связке Б по ГОСТ 2424-82. Обработывали мозаичные и полимерцементобетонные (ПЦБ) материалы с пределом прочности на сжатие до 60 МПа. Глубина шлифования за один проход составляла 0,6–1,2 мм, окружная скорость – 0,4–15 м/с, скорость продольной подачи – 2–3 м/мин, удельное давление – 0,1–0,15 МПа, расход воды – 20–30 л/мин. Результаты испытаний шлифголовок приведены в табл. 2.

(КВД) для горячего прессования шлифголовок ШГК (рис. 4) следующая: в камере высокого давления горячему прессованию подвергается комплект из шести шлифовальных головок. За один цикл горячего прессования спекается алмазный инструмент с содержанием алмаза до 240 карат.

Полученные в результате горячего прессования заготовки шлифголовок подвергали механической обработке для придания им окончательных размеров и установления способа крепления.

В Институте высоких давлений РАН также разработали и изготовили опытные шлифголовки диаметром 95 мм (ШГК-95), армированные поликристаллическими алмазами АРК-4 зернистостью 400/315 – 1000/800 и концентрацией 50–100 % на металлокерамической (никель – твердый сплав ВК15) матрице. Испытания проводили на мозаично-шлифовальной машине СО-149 при шлифовании мозаичного пола с мраморным наполнителем возрастом семь суток. Проектная прочность на сжатие – 30 МПа. Для сравнения испытывали шлифголовки из поликристаллических алмазов АРВ1 на связке М2-01 производства Полтавского завода искусственных алмазов и алмазного инструмента и шлифголовок,

Результаты анализа данных показали, что производительность шлифования всеми алмазными шлифголовками в 4–5 раз превышает этот показатель для абразивных шлиф головок. Наивысший удельный расход алмазов у природных алмазов АЗД и крупных поликристаллов АРК-4 2000/1600 и АРС3 1250/1000. Сравнивая данные табл. 2, приходим к выводу, что наиболее рациональной является шлиф головка из АРК-4 2000/1600 с повышенной износостойкостью матрицы.

Таблица 1. Характеристики алмазных шлиф головок

Тип, размеры инструмента	Характеристика инструмента				Содержание алмазов, карат	
	Марка алмаза	Концентрация алмаза, %	Связка	Количество	в одной шлиф головке	всего
Фреза алмазная торцевая $\varnothing 100$ мм исп.2 ВНИИАЛМАЗ	АРС3 1250/1000	50	М6-01	12	41,4	496,0
Фреза алмазная торцевая $\varnothing 100$ мм исп.1 ВНИИАЛМАЗ	АРС3 630/500	50	М6-01	6	14,4	86,4
Фреза алмазная торцевая $\varnothing 100$ мм исп.2 ВНИИАЛМАЗ	АРС3 630/500	50	М6-01	6	39,6	237,6
Фреза алмазная торцевая $\varnothing 100$ мм исп.1 ВНИИАЛМАЗ	АЗД 500/400	50	М6-01	6	14,4	86,4
Шлиф головка ШГК-95	АРС3 630/500	100	Опытная 22-25 НРСэ	6	40	240
Шлиф головка ШГК-95	АРК-4 2000/1600	100	“ – “	6	40	240
Шлиф головка ШГК-95	АРК-4 630/500	100	“ – “	6	40	240

Таблица 2. Режимы работы и результаты испытаний шлиф головок

Обрабатываемые материалы	Номер	Площадь обработки, м ²	Режимы				Результаты испытаний		
			Скорость		Размер съема, мм		Энергозатраты	Производительность, м ² /ч	Удельный расход алмазов, карат/м ²
			окружная, м/с	подача м/мин	за один проход	суммарный			
Бетонные поверхности	1	1188	10–15	2–3	0,8	2,5	1,8	5,8	0,23
	2	2000	10–15	2–3	0,2–0,4	2,5	2,8	5,8	0,20
Мозаичные	4	1188	10–15	2–3	0,8	3,0	1,8	5,4	0,15
	5	1200	10–15	2–3	0,1–0,2	3,0	3,0	4,8	0,3
ПЦБ	2	860	10–15	2–3	1,2	3,5	1,5	4,8	0,31
	7	798	10–15	2–3	0,1	3,5	3,0	4,6	0,4
Бетонные поверхности и ПЦБ полы	Абразивные К4	20	4	0,5	0,2	2	3,0	1,2	1 шт.

Для проверки этого положения изготовили комплект шлиф головок ШГК-95 из алмазов АРК4 2000/1600 на связке никель – диборид хрома твердостью 30 НРС [5]. Испытывали шлиф головки при шлифовании мозаичных полов М200 с наполнителем из мраморной крошки. Режимы шлифования соответствовали приведенным в табл. 2. Шлифование проводили до вскрытия наполнителя пола (мраморной крошки). Снимали слой пола толщиной 4–5 мм. Стойкость комплекта шлифовальных головок ШГК-95 2000/1600 до его полного износа составила 7000 м², стойкость шлифовальных кругов (шарошек) – 16 м², шлифовальных сегментов 6С – 5 м². Несмотря на то, что обработанная шлиф-

головками ШГК-95 АРК-4 2000/1600 поверхность была шероховатой и требовала подшлифовки шарошками или сегментами, общие затраты на инструмент (с учетом подшлифовки) при расчете на 1 м² обработанной поверхности составляли 20 % стоимости шарошек или сегментов. Опытные шлифголовки ШГК-95 2000/1600 показали высокую работоспособность на наиболее сложной стадии шлифования полов – вскрытии фактуры заполнителя.

Промышленные испытания шлифголовок проводили при шлифовании в заводских условиях плоских поверхностей цементобетонных изделий (лестничных маршей и площадок, стеновых панелей и т.д.). Диаметр шлифголовок равнялся 95 мм, концентрация алмазов АРК-4 1600/1250 составляла 50 %, масса алмазов в одной шлифголовке 24 карата.

Испытания проводили с помощью машины для шлифования лестничных площадок жилых зданий корундовым инструментом со следующими техническими характеристиками: тип машины – двухшпиндельная, передвигающаяся по рельсовому пути; тип базы – тележка на катках с пространственной рамой П-образной формы; тип каретки – тележка на катках, передвигающаяся по направляющим. Ширина рельсового пути – 3500 мм, скорость вращения шпинделей – 365 об/мин, скорость передвижения тележки по рельсам (продольная подача) – до 6 м/мин, скорость передвижения каретки по направляющим (поперечная подача) – 4,2 м/мин, усилие прижатия инструмента к обрабатываемой поверхности – 90–120 кгс.

Во время испытаний также определяли характеристики работы корундового инструмента, выполненного в виде формы треугольной призмы. При этом режимы работы корундового инструмента соответствовали режимам работы алмазного инструмента.

В ходе промышленных испытаний получили следующие данные:

1. Подвергнутый испытаниям комплект алмазного инструмента с момента установки на машину до полного износа алмазного слоя находился в эксплуатации 51 сутки. Выравнивали и шлифовали поверхность лестничных площадок круглосуточно. За весь период работы инструмент не ломался.

2. В этот же период обрабатывали поверхность 2237 лестничных площадок пяти типоразмеров общей площадью 9417 м². Из общего количества площадок 1755 (7421 м²) имели прочность поверхности 160–180 кг/см², 482 (1996 м²) – 220–250 кг/см². Кроме того обработали поверхность двух плит с заполнителем типа гранитного щебня прочностью 280–300 кг/см².

3. Поверхность бетона обрабатывали в следующем режиме: средняя скорость резания – 3,1 м/с; скорость продольной подачи (вручную) – до 6 м/мин; скорость поперечной подачи (самоходом) – 4,2 м/мин; глубина резания за один проход инструмента – до 2,5 мм. Общая глубина обработки бетона до полного вскрытия мозаики составляла 5–6 мм.

Указанный режим не оптимальный, а обусловлен техническими возможностями шлифовальной машины для работы с корундовым инструментом.

4. При обработке поверхности бетона с заполнителем типа мраморной крошки (прочностью 160–250 кг/см²) средняя техническая производительность алмазного инструмента в указанном режиме работы составляла 30–40 м²/ч с заполнителем типа гранитного щебня (прочностью – 280–300 кг/см²) – 32–35 м²/ч.

5. При использовании алмазного инструмента обеспечиваются выравнивание (срезание возвышений, наплывов) бетонной поверхности, вскрытие мозаичного слоя и выглаживание (шлифование) поверхности. Качество обработки удовлетворительное.

6. Алмазный слой инструмента изнашивается равномерно по всей рабочей поверхности. За период испытаний он полностью израсходовался на всех шести шлифголовках. Это определяет расход алмазов 0,015 карат/м² при глубине съема до 6 мм.

7. Результаты сравнения характеристик работы алмазного инструмента типа шлифголовок с применяемым корундовым инструментом показали, что при обработке бетонной поверхности на требуемую глубину производительность алмазных шлифголовок в 3–5 раза выше.

Розглянуто процеси обробки бетону та інших будівельних матеріалів алмазним інструментом. Експериментально показано ефективність алмазного інструменту виготовленого методом гарячого пресування при тиску 1–1,5 ГПа, з використанням алмазів АРК-4 2000/1600 і зв'язки нікель – діборид хрому твердістю 30 HRC.

Ключові слова: алмаз, високий тиск, алмазний інструмент, гаряче пресування.

The paper discusses the processes taking place when machining concrete and other building materials with diamond tools. The experiments have proved the efficiency of diamond tools fabricated by a hot

pressing technique under 1-1.5 GPa pressure with the use of diamonds APK-4 2000/1600 and a nickel-chromium diboride binder with a hardness of 30 HRC.

Key words: *diamond, high pressure, diamond tools, hot pressing.*

Литература

1. Tonshoff H. K., Asche J. Wear of metal-bond diamond tools in the machining of stone. // *Industr. diamond rev.* – 1997. – N 1. – P. 7–13.
2. Reed J. R. Applying metal bond diamond blades – art or science? // *Industr. diamond rev.* – 1973. – N 8. – P. 291–296.
3. Бугаков В. И. Разработка процессов и технологии получения высокоэффективного алмазного инструмента методом спекания при высоких давлениях с применением новых алмазных материалов и порошковых композиций: Дисс... д-ра техн. наук. М., 2005. – С. 323.
4. Разработка припоя для пайки алмазосодержащего слоя к стальному корпусу при изготовлении алмазного породоразрушающего инструмента/ В. И. Бугаков, А. В. Елютин, А. И. Лаптев и др. // *Материаловедение.* – 2003. – № 3. – С. 48–52.
5. Новый тип связок на основе никеля, легированного диборидами титана и хрома, для алмазного камнеразрушающего инструмента / В. И. Бугаков, А. В. Елютин, К. М. Караваев и др. // *Изв. ВУЗов. Цветная металлургия.* – 1998. № 5. – С.61–68.

Поступила 20.06.11

УДК.541.12.012.5

Н. А. Щур, Е. А. Пашенко, д-р техн. наук

Институт сверхтвердых материалов им. В. Н. Бакуля НАН Украины, г. Киев

ОСОБЕННОСТИ СТРУКТУРЫ ЭЛЕКТРОЛИТИЧЕСКИХ НИКЕЛЕВЫХ ПОКРЫТИЙ, ОСАЖДАЕМЫХ С ПРИМЕНЕНИЕМ НЕСТАЦИОНАРНЫХ РЕЖИМОВ ЭЛЕКТРОЛИЗА

С помощью метода сканирующей электронной микроскопии (СЭМ) исследованы никелевые покрытия, образованные в условиях нестационарного электролиза из электролита типа Уоттса во внешнем магнитном поле и при отсутствии его влияния. Установлено, что размер зерен и ориентация кристаллов в никелевых осадках, полученных в магнитном поле, зависели от комбинации токовых параметров полупериодов асимметричного тока.

Ключевые слова: *магнитное поле, асимметричный ток.*

Эксплуатационные характеристики алмазно-абразивного инструмента на гальванической никелевой связке во многом определяются макро- и микроструктурой, прочностью, твердостью электролитического никелевого осадка, способностью удерживать частицы алмаза до максимально возможного использования их полезных режущих свойств. Применение нестационарного электролиза позволяет существенно расширить диапазон технологических факторов, дополнительно влияющих на условия электрокристаллизации металлов из растворов их солей, обеспечивает возможность нанесения покрытий с необходимым улучшенным комплексом заданных ценных свойств [1]. Известно, что электроосаждение на асимметричном синусоидальном токе частотой 50 Гц способствует получению гальванических осадков никеля, характеризующихся меньшей пористостью и внутренними напряжениями по сравнению с осадками, формируемыми на постоянном токе, отличается простотой и незначительными энергетическими затратами [2]. В то же время исследователи отмечают перспективность использования периодических и реверсивных токов с частотой, приближенной к промышленной [3]. Значительный интерес представляет изучение воздействия внешних магнитных полей на морфологию, структуру, физико-механические свойства гальванических и алмазно-гальванических покрытий.