

УДК 621.762+621.785.533+621.921.34

DOI: 10.22213/2413-1172-2020-1-6-13

Карбонитрация алмазосодержащей ленты на основе железа и его сплавов

А. А. Хлыбов, доктор технических наук, Нижегородский государственный технический университет имени Р. Е. Алексеева, Нижний Новгород, Россия

Т. М. Колосова, кандидат технических наук, доцент, Нижегородский государственный технический университет имени Р. Е. Алексеева, Нижний Новгород, Россия

Е. С. Беляев, кандидат технических наук, Нижегородский государственный технический университет имени Р. Е. Алексеева, Нижний Новгород, Россия

С. С. Беляева, Нижегородский государственный технический университет имени Р. Е. Алексеева, Нижний Новгород, Россия

Представлены результаты исследования структуры и свойств алмазосодержащих листовых материалов, предназначенных для изготовления тонких отрезных кругов для операций разделения изделий в микроэлектронике. Рассматриваемый алмазосодержащий материал изготовлен на базе металлической связки системы «железо – медь – никель». Структурная композиция, обеспечивающая работоспособность инструмента, создана путем прокатки порошковой шихты в ленту, спекания прокатной ленты, многостадийной уплотняющей, совмещенной с механико-термической обработкой и заключительной химико-термической обработкой готовых отрезных кругов.

Механико-термическая обработка совмещает этапы уплотнения до беспористого состояния инструментальной ленты и позволяет увеличить прочность связки в алмазосодержащем инструменте за счет создания работоспособной дислокационной структуры. Механизмы дисперсионного упрочнения подразделяются на основные и косвенные. Основные базируются на том, что дисперсные частицы являются препятствиями для движения дислокаций, косвенные связаны с влиянием дисперсных частиц на характер субструктуры. К основным упрочняющим фазам относятся карбиды, нитриды, карбонитриды, интерметаллиды.

Химико-термическая обработка (карбонитрация) формирует в структуре дисперсные нитриды и карбонитриды, что создает дополнительные препятствия для движения дислокации, увеличивая прочность связки согласно принципам дисперсионного твердения.

В результате комплексной обработки, направленной на формирование структуры металлической связки тонких алмазосодержащих отрезных кругов, достигнута микротвердость в наружном слое отрезного круга до 8250 МПа, а во внутреннем гетерофазном слое – до 4150 МПа. Высокая микротвердость в наружном слое отрезного круга позволила снизить радиальный износ до 26 мкм на 100 м суммарного пути резания при скорости вращения 34000 мин⁻¹ и максимальной предельной разрушающей подаче 95...103 мм/с (при резке высокопрочных хрупких материалов) по сравнению с отрезными кругами, полученными той же аналогичной технологией, но не подвергнутыми заключительной химико-термической обработке. В рассмотренном случае химико-термическая обработка, проводимая на тонких отрезных кругах, существенно повышает их ресурс работы.

Ключевые слова: спекание, прокатка, порошки, лента, карбонитрация, азотирование, алмазосодержащие материалы, компактирование, прочность.

Введение

В настоящее время разработано и совершенствуется большое количество видов алмазосодержащих инструментов на различных связках [1–4]. Уделяется значительное внимание установлению закономерностей типа состав – структура – свойства примененных связок [5–8] во взаимосвязи с параметрами изнашивания таких инструментальных материалов [9, 10]. Особое место среди разработанных

алмазосодержащих материалов занимают тонколистковые материалы для отрезных кругов, применяемые при производстве электронных компонентов [11]. В технологиях изготовления алмазосодержащего инструмента большое внимание уделяется процессам компактирования, спекания шихты и уплотняющей обработке связки. При спекании алмазосодержащих композиций необходимо применение температурных режимов, обеспечивающих сохранение ал-

мазных микрочастиц, поскольку процесс окисления при постоянном давлении в основном зависит от температуры, а также совокупного действия иных факторов.

Известно, что нагрев синтетических алмазов, начиная с температуры 850 °С, может привести к снижению их прочности. Исследование явления смачивания и растекания жидких металлов и сплавов как прямое проявление химических межфазных связей представляет собой значительный интерес при изучении термостойкости алмазов [12]. Авторами [13] показано, что оптимальной температурой спекания композиций Fe – Cu – Ni является температура 800...850 °С, которая обеспечивает возможность комплексного упрочнения металлической матрицы за счет образования различных высокодисперсных фаз, в частности ϵ -фазы.

Механизмы дисперсионного упрочнения подразделяются на основные и косвенные. Основные базируются на том, что дисперсные частицы являются препятствиями для движения дислокаций, косвенные связаны с влиянием дисперсных частиц на характер субструктуры. К основным упрочняющим фазам относятся карбиды, нитриды, карбонитриды, интерметаллиды [14].

Необходимую для качественного резания структурную композицию можно получить путем термической, термомеханической и химико-термической обработки. Легирование железоникелевой матрицы медью обеспечивает возможность упрочнения за счет образования ϵ -фазы. Наличие переменной растворимости ϵ -фазы в γ -растворе обуславливает принципиальную возможность проведения закалки с последующим получением пересыщенного твердого раствора и последующего старения.

Кроме того, представляет интерес применение ионного азотирования и карбонитрации для упрочнения алмазосодержащих материалов на основе железа. Авторами проведены комплексные исследования микроструктуры и тонкой структуры медистых сталей. Показано, что при отпуске медистых сталей из твердого раствора выделяется ϵ -фаза. Максимальное упрочнение соответствует стадии предвыделения, при которой образуются зоны повышенной концентрации меди с объемно-центрированной тетрагональной решеткой, что приводит к тетрагональным искажениям окружающей матрицы.

Насыщение железа азотом или совместно азотом и углеродом изменяет состояние структуры и тем самым статическую и динамическую прочность, износостойкость, деформируемость

и коррозионные свойства этих материалов [15]. Поскольку температура обработки не превышает 600 °С, то структурных превращений, подобных тем, которые протекают в результате аустенизации при закалке, не происходит, что позволяет проводить охлаждение с любой скоростью без риска возникновения мартенсита. По этой причине в отличие от закаленных деталей и инструментов деформация и коробление азотированных получают незначительными. Это позволяет упростить последующую механическую обработку или даже вообще обойтись без нее. Соответственно, меньшими по сравнению с другими видами термической обработки оказываются и энергозатраты. Влияние рассматриваемых процессов на прочность, износостойкость и коррозионную стойкость открывает широкие технические возможности их применения. Варьируя технологические аспекты, возможно получать различные структурные композиции и, соответственно, свойства.

Представление о метастабильных равновесных состояниях твердых растворов Fe – N и нитридов дает диаграмма состояния системы «железо – азот». Для рассмотрения системы Fe – N – C следует использовать трехкомпонентные диаграммы состояния.

При этом следует учитывать, что интенсивность диффузионных процессов в порошковых спеченных сплавах значительно выше, чем в литых, что связано с искаженностью кристаллической решетки исходных порошков и повышенной концентрацией дефектов, получаемой в процессе спекания. Кроме того, в порошковых системах высока интенсивность граничных и поверхностных процессов, что приводит к интенсификации массопереноса при диффузии.

Таким образом, работоспособность алмазосодержащих материалов может быть повышена термической и химико-термической обработкой. В этой связи были выполнены исследования микроструктуры и микротвердости алмазосодержащей ленты на основе связки железо – медь – никель, подвергнутой карбонитрации с целью повышения твердости и износостойкости инструмента.

Цель исследования – используя термическую, термомеханическую и химико-термическую обработку, создать в алмазосодержащем материале на связке железо – медь – никель структуру и свойства для обеспечения эффективного и качественного резания.

Используемые подходы

1. Применение различных методов (термическая, термомеханическая и химико-термическая

обработка) упрочнения для обеспечения повышенной работоспособности отрезных кругов.

2. Использование основных и косвенных механизмов дисперсионного упрочнения с целью создания структуры, необходимой для эффективного и качественного резания алмазодержащим инструментом.

3. Применение пониженных температур спекания алмазодержащего материала с целью сохранения алмазных микрочастиц с одной стороны и обеспечения науглероживания ферритной матрицы с последующим образованием высокодисперсного цементита – с другой.

4. Использование повышенной дефектности порошковых композиций и интенсификации диффузионных процессов в них с целью формирования сквозной микроструктуры при химико-термической обработке тонких алмазодержащих лент.

Материалы и методы

В качестве исходных материалов применены порошки восстановленного железа, электролитической меди, карбонильного никеля и алмазного синтетического микропорошка АСМ 10/7.

Металлографические исследования проводились на оптическом инвертированном микроскопе Olympus GX53 с системой анализа изображений Siams 800. Шлифы для исследования подготавливались по традиционной методике. Травление осуществлялось в реактиве состава HNO_3 – 4 мл, $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$ – 96 мл. Микротвердость по Виккерсу измерялась на приборе ПМТ-3 при нагрузке 0,49 Н.

Алмазометаллическая лента толщиной 40 мкм, предназначенная для изготовления алмазных

отрезных кругов, используемых при резании пластин из высокотвердых материалов, изготовлялась по следующей технологической схеме:

- подготовка смеси порошков и ее прокатка в пористую «сырую» ленту;
- спекание ленты в среде водорода;
- проведение нескольких циклов холодной уплотняющей прокатки (4 цикла со степенями обжатия $\epsilon = 35\%$, от 20 до 400 проходов) и отжига до получения беспористой ленты с однородной структурой;
- изготовление алмазных кругов методом вырубki или электроэрозионной резки;
- химико-термическая обработка кругов (карбонитрация).

Исследование структурообразования и свойств алмазодержащего материала после спекания, механико-термической и химико-термической обработки

Для выбора оптимального режима карбонитрации кругов выполнены исследования микроструктуры и микротвердости спеченной железной ленты без алмазов. Карбонитрация проводилась в расплаве цианата калия при температурах 540...580 °С и времени выдержки от 3 до 120 мин.

Вследствие диффузии азота и углерода в процессе карбонитрации возникает новая структурная композиция, вносящая коренные изменения в структуру ленты.

Микроструктура диффузионной зоны имеет два слоя, расположенных параллельно поверхности образца (рис. 1).

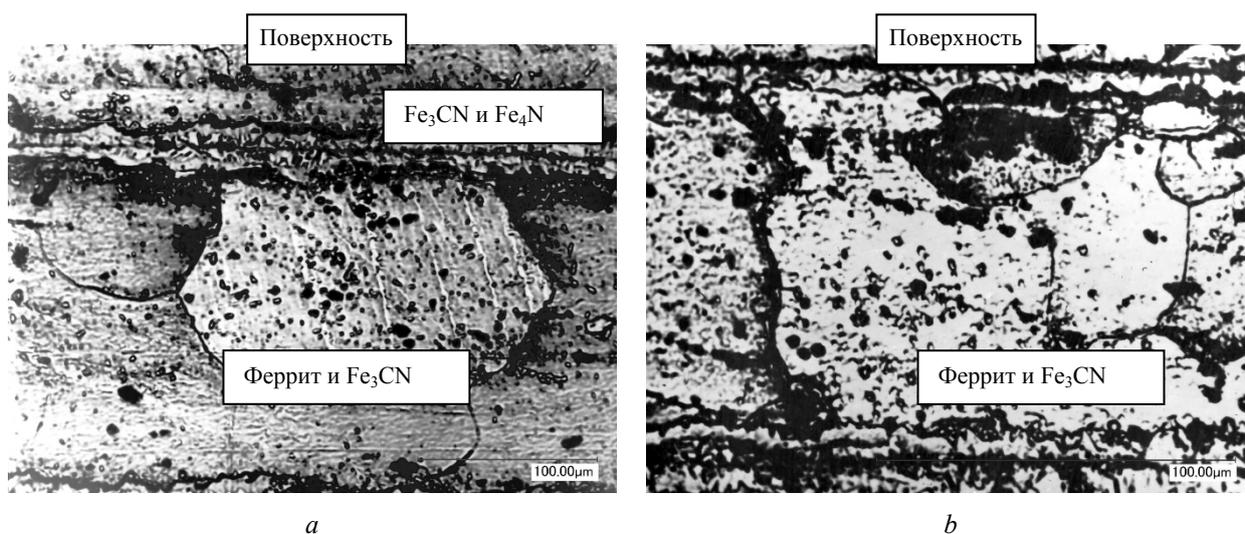


Рис. 1. Микроструктура ленты из железного порошка после карбонитрации: $\times 1000$ (a), $\times 2000$ (b)

Fig. 1. Microstructure of an iron powder ribbon after carbonitration: $\times 1000$ (a), $\times 2000$ (b)

Наружный слой (нетравящийся реактивом) представляет собой карбонитридные фазы Fe_3CN и Fe_4N . Второй слой имеет гетерофазное строение: зерна ферритного твердого раствора насыщены дисперсными включениями карбонитридных фаз. Карбонитридная фаза наблюдалась уже после 3...5-минутной обработки ленты. Химическим анализом установлено, что при 560 °C содержание азота и углерода в ленте непрерывно возрастает с увеличением времени выдержки (табл. 1).

Таблица 1. Химический состав пластин после карбонитрации при 560 °C

Table 1. The chemical composition of the plates after carbonitration at 560 °C

Время выдержки, мин	30	60	120
Содержание углерода, %	0,60	0,82	0,90
Содержание азота, %	0,71	0,87	1,10

В результате карбонитрации микротвердость ленты значительно увеличивается, также возрастает толщина карбонитридного слоя. Как видно из табл. 2, упрочнение наблюдается уже после 5-минутной выдержки.

Таблица 2. Зависимость микротвердости от времени карбонитрации при температуре 560 °C

Table 2. Dependence of microhardness on the time of carbonitration at a temperature of 560 °C

Время выдержки, мин	Микротвердость HV, МПа	
	Наружный карбонитридный слой	Внутренний слой гетерофазного строения
Без карбонитрации	–	1450
5	Малая глубина слоя	2700
10		2970
20		3090
40	5900	3200
60	5900	3200

Сравнительный анализ значений микротвердости показал, что оптимальной температурой карбонитрации является 560 °C при времени 20...40 мин.

Структура ϵ -фазы (Fe_4N), преобладающей в карбонитридном слое, гексагональная, она имеет ограниченные плоскости и направления сдвигов, поэтому обладает сопротивлением износу несравнимо более высоким, чем сама лента без карбонитрации. Структура гетерофазного слоя также характеризуется высоким сопротивлением износу.

Таким образом, предварительные исследования на железной ленте показали, что режим карбонитрации при 560 °C в течение 20...40 мин обеспечивает сквозную диффузию азота и углерода, а также оптимальные значения микротвердости.

По выбранному режиму произведена карбонитрация кругов из алмазосодержащей ленты на железной основе. Выполнены исследования микроструктуры и микротвердости. Обнаружено, что в процессе спекания и промежуточных отжигов в алмазосодержащей ленте при 800 °C и выше происходит частичное диффузионное разрушение зерен алмаза. В процессе диффузии углерода алмазных зерен в металлическую матрицу происходит науглероживание с образованием ферритно-цементитной структуры (рис. 2).

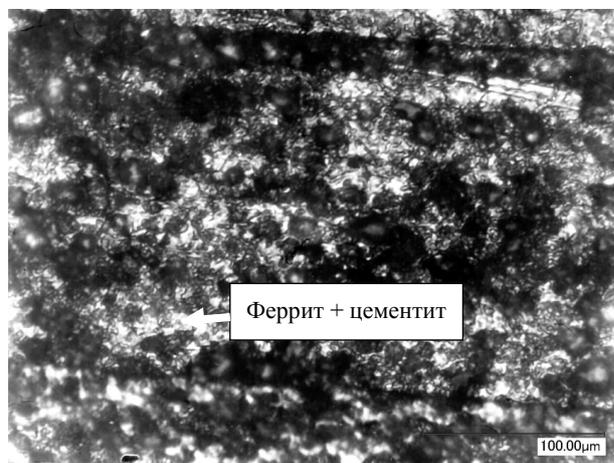


Рис. 2. Ферритно-цементитная структура алмазосодержащего материала, $\times 1000$

Fig. 2. Ferrite-cementite structure of diamond-containing material, $\times 1000$

Для дальнейшей корректировки режимов в направлении их оптимизации произведены исследования ленты, подвергнутой карбонитрации в сочетании с термообработкой (закалкой с отпуском). Нагрев под закалку до температуры 850 °C производился в расплаве солей; отрезные круги помещались в специально изготовленное приспособление (для избегания контакта с солью), выдерживались в ванне в течение 10 мин и охлаждались в воде. Образовавшаяся в результате закалки мартенситная структура показана на рис. 3. Здесь же представлена микроструктура сорбита отпуска, сформировавшаяся после закалки и высокого отпуска (улучшения). Карбонитрация проводилась как на термообработанной (улучшение) ленте, так и на ленте после последней уплотняющей прокатки. Данные о микротвердости приведены в табл. 3.

Результаты выполненных исследований показывают, что путем применения термической обработки и карбонитрации микротвердость алмазных кругов может быть значительно повышена.

Микроструктура алмазных кругов после карбонитрации представлена на рис. 4. Видно, что

структурные изменения, происходящие в результате карбонитрации, аналогичны наблюдаемым на ленте без алмазов. Хорошо видны слои, описанные выше. При увеличении времени карбонитрации до 40 мин в ряде случаев наблюдалось образование цементитной сетки по границам зерен, что недопустимо (рис. 4, b).

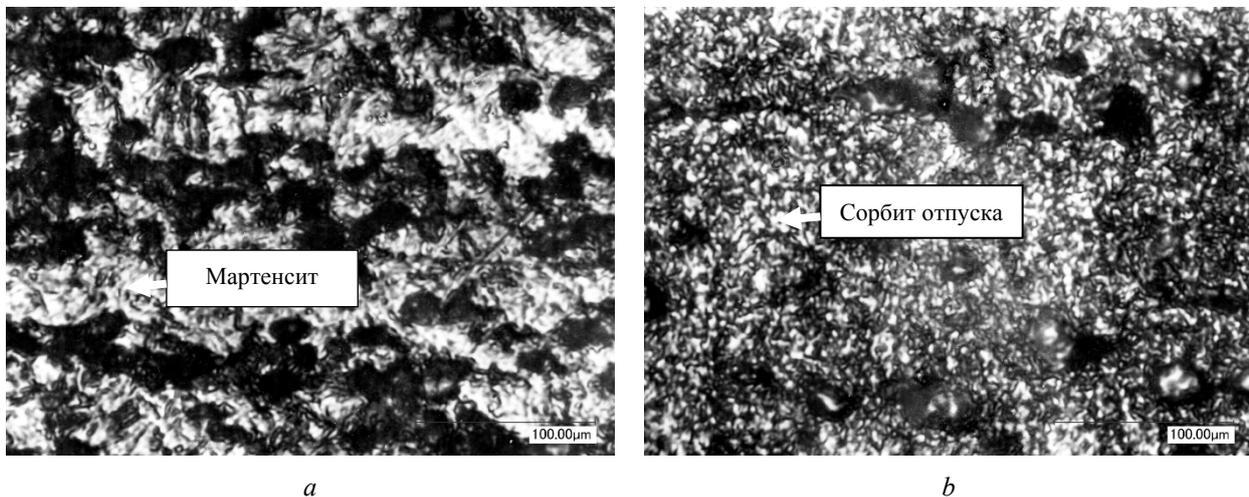


Рис. 3. Микроструктура термообработанной алмазоносной порошковой железной ленты, $\times 1000$:
a – после закалки с 850 °C; b – после улучшения

Fig. 3. Microstructure of heat-treated diamondiferous powder iron strip, $\times 1000$:
a - after quenching from 850 °C; b - after improvement

Таблица 3. Микротвердость алмазных кругов разных составов с алмазами ACM 10/7 – 100 %

Table 3. Microhardness of diamond wheels of different compositions with diamonds ASM 10/7 – 100 %

Химический состав, %			Микротвердость внутреннего гетерофазного слоя, после различной обработки HV, МПа			
Железо	Никель	Медь	Без термо-обработки	Закалка	Закалка и отпуск	Закалка, отпуск и карбонитрация 560°20'
90	5	5	2700	7600	3450	–
100	–	–	2550	7550	3950	4350
100	–	–	2300	7500	3550	3850
90	5	5	2450	–	–	3900
92	5	3	2620	–	–	4250

Примечание: микротвердость наружного карбонитридного слоя составляла 8250 HV.

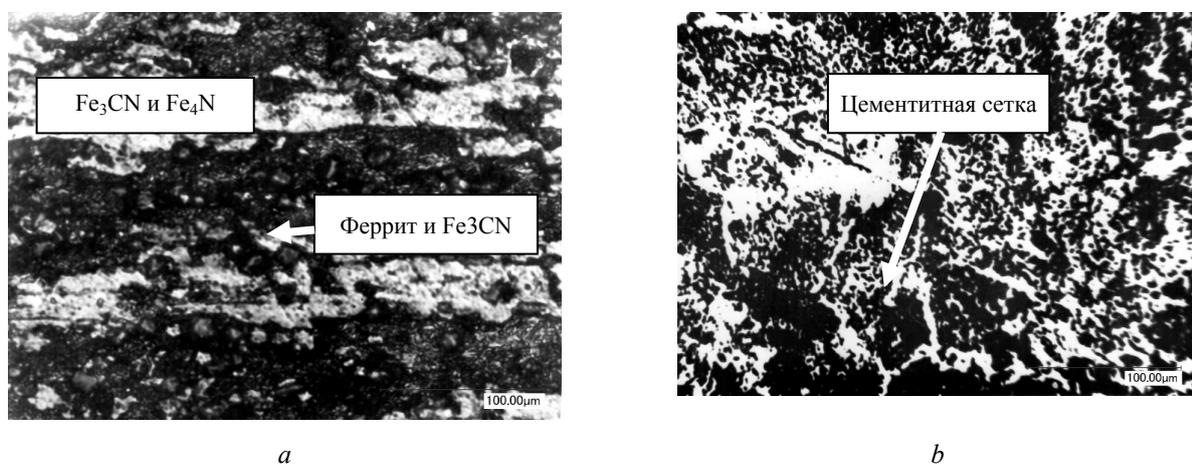


Рис. 4. Микроструктура алмазных кругов после карбонитрации (при 560 °C), $\times 1000$: a – 20 мин; b – 40 мин

Fig. 4. Microstructure of diamond wheels after carbonitration (at 560 °C), $\times 1000$: a - 20 min; b - 40 min

Карбонитрацию образцов ленты, изготовленной по порошковой технологии, проводили на ленте после прокатки без предварительной термообработки. Микротвердость алмазосодержащей ленты после последней прокатки $HV = 2900$, после карбонитрации при $560\text{ }^{\circ}\text{C}$ 20 мин $HV = 4150$ МПа, при $560\text{ }^{\circ}\text{C}$ 40 мин $HV = 4400$ МПа.

По известным данным карбонитридный слой изнашивается без выкрашивания и сколов, он обладает теплостойкостью и малым коэффициентом трения. Все это позволяет прогнозировать повышенную работоспособность алмазных отрезных кругов, упрочненных карбонитрацией.

Далее испытывалась работоспособность металлоалмазного инструмента. В процессе испытаний по резанию определялись прочностные свойства отрезных кругов, радиальный износ, стойкость и качество резания. Критерием качества являлась ширина дефектной зоны, равная сумме ширины прорези и размера абразивных сколов по кромкам разрезаемых пластин вдоль обеих боковых граней прорези. Ширина дефектной зоны зависит от обрабатываемого материала, методов и режимов резания.

Отрезные круги диаметров 56 мм испытывались при сквозном разрезании пластин кремния толщиной менее 1 мм, диаметром 75 и 100 мм. Пластины кремния закреплялись на спутнике с помощью эластичной пластмассовой ленты с адгезионным клеевым слоем. Спутник устанавливался на вакуумный стол прецизионной установки разделения пластин из твердых и хрупких неметаллических материалов. При частоте вращения 34000 мин^{-1} предельная «разрушающая» скорость подачи, являющаяся критерием работоспособности абразивного инструмента, составляла до $95\dots 103\text{ мм/с}$, износ по радиусу кругов – 55 мкм на 100 м суммарного пути резания. Использование карбонитрации позволило снизить износ до 26 мкм.

Выводы

Исследованы структурообразование и свойства алмазосодержащего материала состава 90Fe-5Cu-5Ni – АСМ 10/7 100 % при механико-термической и химико-термической обработке.

Изучена кинетика процесса карбонитрации, порошковой алмазосодержащей ленты, выбраны оптимальные режимы для обеспечения повышенной работоспособности инструмента.

Проведены испытания по резанию алмазными отрезными кругами на связке железо – медь – никель, показавшие разрушающую скорость подачи до 103 мм/с и радиальный износ до 26 мкм по сравнению с дисками без карбонитрации.

Оптимальный режим карбонитрации рассматриваемой алмазосодержащей ленты при $560\text{ }^{\circ}\text{C}$ 20 мин с получением микротвердости в наружном слое отрезного круга до 8250 МПа, а во внутреннем гетерофазном слое – до 4150 МПа.

Библиографические ссылки

1. Разработка нового поколения режущего инструмента из сверхтвердых материалов с наномодифицированной связкой для обработки стали и чугуна / П. А. Логинов, Д. А. Сидоренко, Е. А. Левашов, В. А. Андреев // Изв. вузов. Порошковая металлургия и функциональные покрытия. 2017. № 1. С. 64–75. DOI: dx.doi.org/10.17073/1997-308X-2017-1-64-75.

2. Atabiev R.K., Polushin, N.I. Laptev A.I. [Composition dependence of mechanical properties of diamond segments]. *Non-ferrous Metals*, 2015, no. 56, pp. 73-78. DOI:10.3103/S1067821215010046.

3. Xie D., Qin H., Lin F. [Microstructures and Properties of Fe-Co-Cu Pre-Alloyed Powder for Geological Diamond Bits]. *J. Superhard Mater.*, 2019, no. 41, pp. 302-309. DOI: 10.3103/S1063457619050022.

4. Xie L., Chen L. & Huang X. [Effect of Graphite Addition on Impregnated Diamond Bit Properties]. *J. Superhard Mater.*, 2019, no. 41, pp. 237-246. DOI: 10.3103/S106345761904004X.

5. Гадалов В. Н., Филатов Е. А., Макарова И. А. Инструментальные композиционные алмазосодержащие материалы // Композиционные строительные материалы. Теория и практика : сб. ст. Междунар. науч.-техн. конф., посвященной памяти В. И. Калашникова. Пенза : Приволжский Дом знаний, 2017. С. 22–25. ISBN 978-5-8356-1659-6.

6. Шарин П. П., Акимова М. П. Влияние структуры переходной зоны твердосплавной матрицы на удельную производительность инструмента, полученного при металлизации алмазов в процессе их спекания с пропиткой медью // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Машиностроение, материаловедение. 2018. Т. 20, № 4. С. 57–66. DOI: 10.15593/2224-9877/2018.4.07.

7. Влияние состава, структуры и свойств матриц на стойкость алмазного бурового инструмента / Н. И. Полушин, А. В. Богатырев, А. И. Лаптев, М. Н. Сорокин // Изв. вузов. Порошковая металлургия и функц. покрытия. 2016. № 1 С. 60–66. DOI: dx.doi.org/10.17073/1997-308X-2016-1-60-66.

8. Соколов Е. Г. Влияние олова на структуру и твердость металлических связей алмазных инструментов, полученных композиционной пайкой // Изв. вузов. Порошковая металлургия и функц. покрытия. 2015. № 3 С. 62–67. DOI: dx.doi.org/10.17073/1997-308X-2015-3-62-67.

9. Изнашивание поверхности трения алмазного сверла с твердосплавной матрицей WC-CO-CU / П. П. Шарин, М. И. Васильева, И. И. Суздалов, Г. Г. Винокуров, М. В. Федоров // Вестник СВФУ. 2016. № 4 (54). С. 57–66.

10. Stakhniv N.F., Devin L.N. [The Influence of the Cutting Speed on the Temperature and Forces at the Precision Turning of Nonferrous Metals Using Cutters with Round Diamond-Hard-Alloyed Plates]. *J. Superhard Mater.*, 2019, no. 41, pp. 178-184. DOI: 10.3103/S1063457619030055.

11. Алмазосодержащие материалы для отрезного инструмента на основе железного порошка / Т. М. Колосова, В. К. Сорокин, С. В. Костромин, Е. С. Беляев // Современные проблемы науки и образования. 2013. № 2. С. 209.

12. Судник Л. В., Витязь П. А., Ильющенко А. Ф. Алмазосодержащие абразивные наноконкомпозиты. Минск : Беларус. навука, 2012. 319 с. ISBN 978-985-08-1425-8.

13. Абразивные алмазосодержащие материалы для отрезного инструмента: технология упрочнения и свойства / В. К. Сорокин, Т. М. Колосова, С. В. Костромин, Е. С. Беляев // Современные наукоемкие технологии. 2018. № 2. С. 96–103.

14. Азотирование и карбонитрирование / Р. Читтерджи-Фишер, Ф. В. Эйзел [и др.] : пер. с нем. / под ред. А. В. Супова. М. : Металлургия, 1990. 280 с.

15. Интенсификация процессов химико-термической обработки сталей : монография / Л. Г. Петрова, В. А. Александров, П. Е. Демин, А. С. Сергеева ; под ред. Л. Г. Петровой. М. : МАДИ, 2019. 160 с.

References

1. Loginov P.A., Sidorenko D.A., Levashov E.A., Andreev V.A. [Development of next generation diamond tools based on superhard materials with nanomodified binder for steel and cast iron machining]. *Izvestiya vuzov. Powder metallurgy and functional coatings*, 2017, no. 1, pp. 64-75 (in Russ.). DOI: dx.doi.org/10.17073/1997-308X-2017-1-64-75.

2. Atabiev R.K., Polushin, N.I. Laptev A.I. [Composition dependence of mechanical properties of diamond segments]. *Non-ferrous Metals*, 2015, no. 56, pp. 73-78. DOI:10.3103/S1067821215010046.

3. Xie D., Qin H., Lin F. [Microstructures and Properties of Fe-Co-Cu Pre-Alloyed Powder for Geological Diamond Bits]. *J. Superhard Mater.*, 2019, no. 41, pp. 302-309. DOI: 10.3103/S1063457619050022.

4. Xie L., Chen L. & Huang X. [Effect of Graphite Addition on Impregnated Diamond Bit Properties]. *J. Superhard Mater.*, 2019, no. 41, pp. 237-246. DOI: 10.3103/S106345761904004X.

5. Gadalov V.N., Filatov E.A., Makarova I.A. *Instrumental'nye kompozitsionnyealmazosoderzhashchie materialy* [Tool composite diamond-containing materials]. *Kompozitsionnye stroitel'nye materialy. Teoriya i praktika sbornik statei: Materialy Mezhdunarodnoi nauchno-tekhnicheckoi konferentsii, posvyashchennoi pamyati V.I. Kalashnikova* [Proc. Sat. Art. Int. scientific and technical Conf., dedicated to the memory of

V.I. Kalashnikov: "Composite building materials: Theory and practice". Penza, Volga House of Knowledge, 2017, pp. 22-25 (in Russ.). ISBN 978-5-8356-1659-6.

6. Sharin P.P., Akimova M.P. [The influence of the structure of the transition zone of the carbide matrix on the specific productivity of the tool obtained by metallization of diamonds in the process of sintering with copper impregnation]. *Vestnik Permskogo natsional'nogo issledovatel'skogo politekhnicheskogo universiteta. Mashinostroenie, materialovedenie*, 2018, vol. 20, no. 4, pp. 57-66 (in Russ.). DOI: 10.15593/2224-9877/2018.4.07.

7. Polushin N.I., Bogatyrev A.V., Laptev A.I., Sorokin M.N. [Influence of the matrix composition, structure and properties on the service life of diamond drills]. *Izvestiya vuzov. Poroshkovaya metallurgiya i funkts. pokrytiya*, 2016, no. 1, pp. 60-66 (in Russ.). DOI: dx.doi.org/10.17073/1997-308X-2016-1-60-66.

8. Sokolov E.G. [Influence of tin on the structure and hardness of metallic binders of diamond tools fabricated by composition soldering]. *Izvestiya vuzov. Poroshkovaya metallurgiya i funkts. pokrytiya*, 2015, no. 3, pp. 62-67 (in Russ.). DOI: dx.doi.org/10.17073/1997-308X-2015-3-62-67.

9. Sharin P.P., Vasil'eva M.I., Suzdalov I.I., Vinokurov G.G., Fedorov M.V. [Study on the wear friction surface of diamond drills with tungsten carbide matrix WC-CO-Cu]. *Vestnik SVFU*, 2016, no. 4, pp. 57-66 (in Russ.).

10. Stakhniv N.F., Devin L.N. [The Influence of the Cutting Speed on the Temperature and Forces at the Precision Turning of Nonferrous Metals Using Cutters with Round Diamond-Hard-Alloyed Plates]. *J. Superhard Mater.*, 2019, no. 41, pp. 178-184. DOI: 10.3103/S1063457619030055.

11. Kolosova T.M., Sorokin V.K., Kostromin S.V., Belyaev E.S. [Diamond cutting tool materials based on iron powder]. *Sovremennye problemy nauki i obrazovaniya*, 2013, no. 2, p. 209 (in Russ.).

12. Sudnik L.V., Vityaz' P.A., Il'yushchenko A.F. *Almazosoderzhashchie abrazivnye nanokompozity* [Diamond-containing abrasive nanocomposites]. Minsk, Belarus. navuka Publ., 2012, 319 p. (in Russ.). ISBN 978-985-08-1425-8.

13. Sorokin V.K., Kolosova T.M., Kostromin S.V., Belyaev E.S. [Abrasive diamond-containing materials for cutting tools: technology of strength and properties]. *Sovremennye naukoemkie tekhnologii*, 2018, no. 2, pp. 96-103 (in Russ.).

14. Chatterjee-Fischer R., Eisell F.V. *Azotirovanie i karbonitrirovanie* [Nitriding and Carbonitriding]. Moscow, Metallurgiya Publ., 1990, 280 p. (in Russ.).

15. Petrova L.G., Aleksandrov V.A., Demin P.E., Sergeeva A.S. *Intensifikatsiya protsessov khimiko-termicheskoi obrabotki stalei* [The intensification of the processes of chemical-thermal treatment of steels]. Moscow, MADI, 2019, 160 p. (in Russ.).

Carbonitriding of Diamondiferous Tape Based on Iron and Its Alloys

A.A. Khlybov, DSc in Engineering, Nizhny Novgorod State Technical University named after R.E. Alekseev, Nizhny Novgorod, Russia

T.M. Kolosova, PhD in Engineering, Associate Professor, Nizhny Novgorod State Technical University named after R.E. Alekseev, Nizhny Novgorod, Russia

E.S. Belyaev, PhD in Engineering, Nizhny Novgorod State Technical University named after R.E. Alekseev, Nizhny Novgorod, Russia

S.S. Belyaeva, Nizhny Novgorod State Technical University named after R.E. Alekseev, Nizhny Novgorod, Russia

The paper presents the results of studying the structure and properties of diamond-containing sheet materials intended for the manufacture of thin cutting wheels for separation of products in microelectronics. The considered diamond-containing material is made on the basis of a metal bond of the iron - copper - nickel system. The structural composition that ensures the operability of the tool is created by rolling a powder mixture into a tape, sintering a rolling tape, a multi-stage sealing combined with mechanical-thermal treatment and final chemical-thermal treatment of finished cutting wheels.

The mechanical-thermal treatment combines the compaction steps to the non-porous state of the tool belt and will increase the bond strength in the diamond-containing tool by creating a workable dislocation structure. The mechanisms of dispersion hardening are divided into main and indirect. The main ones are based on the fact that dispersed particles are obstacles to the movement of dislocations, indirect ones are associated with the effect of dispersed particles on the nature of the substructure. The main hardening phases include carbides, nitrides, carbonitrides, and intermetallic compounds.

Chemical-thermal treatment (carbonitriding) forms dispersed nitrides and carbonitrides in the structure, which creates additional obstacles to the movement of the dislocation, increasing the bond strength according to the principles of dispersion hardening.

As a result of complex processing aimed at forming the structure of a metal bond of thin diamond-containing cutting wheels, microhardness in the outer layer of the cutting wheel is reached up to 8250 MPa, and in the inner heterophase layer up to 4150 MPa. High microhardness in the outer layer of the cutting wheel made it possible to reduce radial wear to 26 μm per 100 m of the total cutting path at a rotation speed of 34,000 min⁻¹ and a maximum, ultimate destructive feed of 95 ... 103 mm/s (when cutting highly hard brittle materials) compared to cutting circles obtained by a similar technology but not subjected to final chemical-thermal treatment. In the case considered, chemical-thermal treatment carried out on thin cutting wheels significantly increases their service life.

Keywords: sintering, rolling, powders, tape, carbonitriding, nitriding, diamond-containing materials, compacting, strength.

Получено 15.10.2019

Образец цитирования

Карбонитрация алмазонасной ленты на основе железа и его сплавов / А. А. Хлыбов, Т. М. Колосова, Е. С. Беляев, С. С. Беляева // Вестник ИжГТУ имени М. Т. Калашникова. 2020. Т. 23, № 1. С. 6–13. DOI: 10.22213/2413-1172-2020-1-6-13.

For Citation

Khlybov A.A., Kolosova T.M., Belyaev E.S., Belyaeva S.S. [Carbonitriding of Diamondiferous Tape Based on Iron and Its Alloys]. *Vestnik IzhGTU imeni M.T. Kalashnikova*, 2020, vol. 23, no. 1, pp. 6-13 (in Russ.). DOI: 10.22213/2413-1172-2020-1-6-13.