

# The influence of some physical and mechanical properties of metallic binder on the performance of the diamond tool

Avalishvili Z.<sup>1</sup>, Tserodze M.<sup>2</sup>, Loladze N.<sup>3</sup> (Georgia)

## Влияние некоторых физико-механических свойств металлической связки на эффективность работы алмазного инструмента

Авалишвили З. А.<sup>1</sup>, Церодзе М. П.<sup>2</sup>, Лоладзе Н. Т.<sup>3</sup> (Грузия)

<sup>1</sup>Авалишвили Зураб Антонович / Avalishvili Zurab – докторант,  
научный центр «Алмазов и композиционных материалов»;

<sup>2</sup>Церодзе Медея Прокофьевна / Tserodze Medea – кандидат химических наук, ассоц. профессор,  
факультет химической технологии и металлургии;

<sup>3</sup>Лоладзе Николай Теймуразович/ Loladze Nikolai – кандидат технических наук, профессор, Зав. научного центра  
«Алмазов и композиционных материалов»,

Грузинский технический университет, г. Тбилиси, Грузия

**Аннотация:** в работе представлены экспериментальные данные работоспособности алмазных сверл в зависимости от состава и физико-механических свойств металлической связки при обработке железобетона.

**Abstract:** the paper presents the experimental date describing workability of tubular diamond drills on the reinforced concrete drilling operation with binding materials having different physical-mechanical properties.

**Ключевые слова:** алмазкомпозиционный материал, связка, алмазный инструмент

**Keywords:** diamond composite material, binder, diamond tool.

Создание и внедрение новых материалов и композиции делают необходимым разработку новых, эффективных технологии их получения. Возможность придания композиционным материалам широчайшей гаммы заданных свойств обуславливают их широкое применение в различных отраслях техники.

Одним наиболее используемых классов композитов являются металлокерамические и алмазкомпозиционные материалы (АКМ). Одним из самых масштабных и важнейшей сферой применения АКМ является производство алмазного инструмента. Являясь основным функциональным элементом, свойства АКМ в основном и определяет эффективность работы алмазного инструмента в целом.

Высокопроизводительная и рентабельная работа АКМ зависит от целого ряда факторов: физико-механических, физико-химических и теплофизических свойств алмазных кристаллов принимающих участие в процессе резания. Прочностные и термпрочностные характеристики алмазных кристаллов предопределяют их возможность противостоять возникшим нагрузкам без разрушения.

Металлическая связка АКМ, которая обеспечивает оптимальную прочность закрепления алмазных зерен, а также необходимую износостойкость при контакте с обрабатываемым материалом и шламом в зоне резания. Основное назначение связки – удержание зерен алмаза на рабочей поверхности в течении всего периода их стойкости и постепенное обнажение новых слоев зерен (самозатачивание). Исходя из этого, важнейшим моментом формирования металлоалмазных композиции является соблюдение соответствия прочности алмазного зерна и удерживающая способность связки. Скоростей износа зерен и связки.

Алмазодерживающая способность металлической связки в свою очередь определяются его физико-механическими (прочность, твердость, ударная вязкость, модуль Юнга, коэффициент Пуассона), теплофизическими (теплопроводность, коэффициент термического расширения, горячая твердость) и физико-химическими (смачиванием и адгезионной способностью жидкой фазы металлической композиции по отношению к различным граням кристаллов алмаза) свойствами. Кроме всего прочего, прочность закрепления алмазного кристалла в связке может меняться в процессе работы и зависит от цикличности нагрузки и величины самой нагрузки [1,2].

Значение удельной нагрузки, и его динамика приходящие на единичные алмазные кристаллы зависят от таких факторов, как концентрация алмазов в связке и его зернистость, кинематическая схема техпроцесса (шлифование, резка сегментными пилами, бурение и т.д.), а также от свойств и природы обрабатываемого материала. Кроме того, рабочие условия во многом будут определяться режимами обработки, гидродинамикой охлаждающей жидкости и конструкцией рабочей части алмазного инструмента [3,4].

Имеется большое количество работ, посвященных изучению зависимости физико-механических, трибологических и алмазодерживающих свойств связок на работоспособность АКМ в алмазном

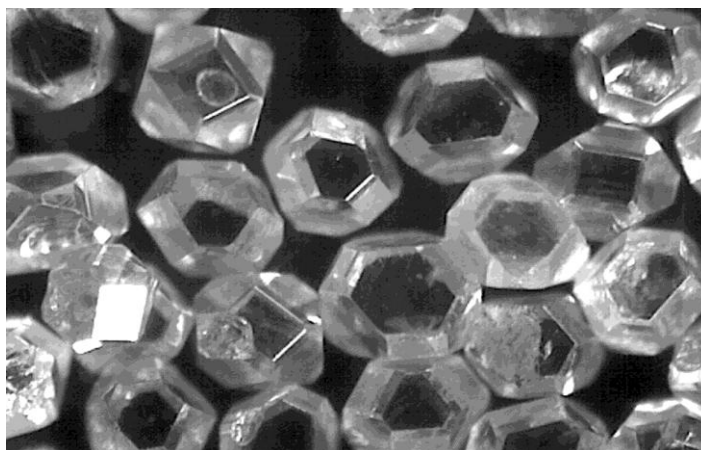
инструменте в пределах конкретного технологического процесса [5 - 8]. Но, по сей день, нет единой формулы, которая включала бы в себя совокупность всех параметров на эффективность алмазной обработки и позволяющей безошибочно прогнозировать эксплуатационные характеристики АКМ для различных тех. процессов и обрабатываемых материалов. Поэтому, на наш взгляд расширение и пополнение базы экспериментальных данных новыми результатами ценны как для дальнейшего углубления знаний в области создания новых составов АКМ, так и с практической стороны, поскольку облегчает путь при создании новых эффективных технологии.

В данной работе приводятся экспериментальные данные по производительности и стойкости алмазного инструмента на конкретной технологической операции в зависимости от физико-механических параметров металлической связки АКМ. Эксплуатационные характеристики различного состава АКМ определяли в условиях тех. процесса сверления сквозных отверстий в железобетоне трубчатыми сверлами рабочей коронкой с напаянными сегментами. Диаметр сверла –  $\Phi 60$ мм, размер сегментов  $23 \times 3 \times 8$ мм, количество 6 штук (рис.1).



*Рис. 1. Алмазное трубчатое сверло*

Алмазные сегменты изготавливались технологией порошковой металлургии. Спекание проводили методом горячего прессования в графитовых пресс-формах в защитной атмосфере. Температура спекания в зависимости от состава металлической связки составляло  $790-840^{\circ}\text{C}$ ; Изотермическая выдержка при  $T_{\text{спек}}$  равнялось 150сек. Приложенное давление горячего прессования  $P=400\text{кг}/\text{см}^2$ . Для изготовления сегментов использовали синтетические монокристаллические изометричные алмазы марки АС 125, фракции 400/315 (ИСМ им. В.Н. Бакуля НАН Украины) рис.2. Концентрация алмазов в сегментах 50%-ов.



*Рис.2. Алмазы марки АС 125, фракции 400/315*

В качестве металлической связки АКМ были использованы системы  $\text{Co}$ ,  $\text{Co-Sn}$  и  $\text{Co-Ni-Sn}$ : Для сравнительного анализа изготавливались также сегменты с металлической матрицей состава  $\text{Fe-Cu-Ni-Sn}$ , которая является стандартной широкоприменяемой универсальной связкой обозначением М6-14 (МЖ).

Выбор для исследований системы с Со-ом предопределил тот факт, что они широко освещены в научной литературе и имеются многочисленные данные как физико-механических, физико-химических и трибологических параметров, так и технико-экономических показателей алмазных инструментов на кобальтовой основе на различных операциях. Данное относится и к алмазному инструменту на связке М6-14.

Известно [9], микроструктура, состав, твердость, прочность, пластичность, износостойкость горячего прессованных кобальтовых сплавов сильно отличаются от дисперсности исходного порошка и режимов горячего прессования. Нами был использован кобальтовый порошок марки ПК-1У с размером частиц 3–5 мкм (рис.3). Также, для изготовления сегментов использовали порошок олова марки ПО-1, никеля ПНЭ-1, меди ПМС-1 и железа ПЖВ-1 с размерами частиц  $\leq 40$  мкм.

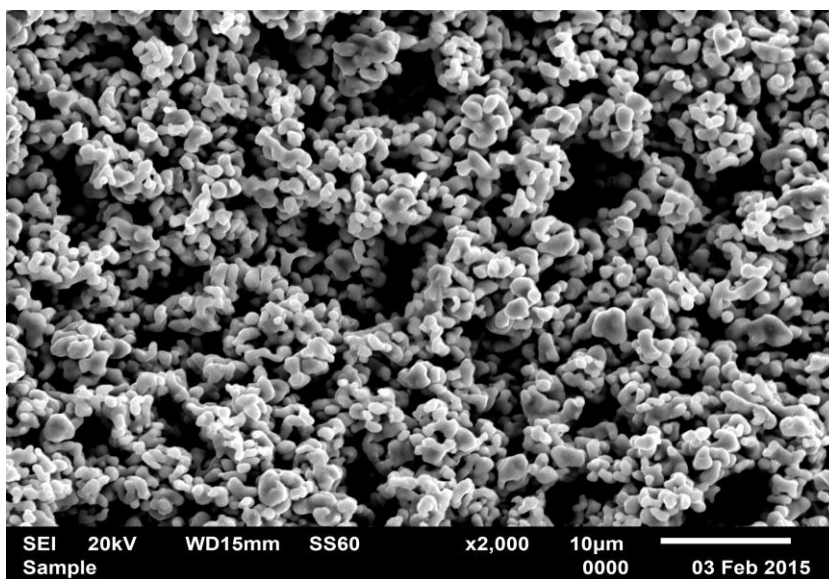


Рис.3. Исходный кобальтовый порошок

Изменение физико-механических свойств кобальтовой связки для АКМ достигалось за счет добавления различного количества олова или олово и никеля одновременно. В таблице 1 приведены составы металлических систем, параметры спекания, твердость, прочность и ударная вязкость некоторых характерных спеченных сплавов.

Введение олова в кобальтовую связку способствует существенному повышению твердости сплава (рис.4.кр.1). Так, добавка 15% олова повышает твердость связки не менее на 28%, что хорошо согласуется с данными работы [10]. Проведенный рентгенофазовый анализ (ДРОН4.13С; в излучении железного анода) образцов выявил образование интерметаллида кобальта  $Co_3Sn_2$  (дистанид кобальта) с увеличением количества олова. Об этом свидетельствует повышение интенсивности пика линии  $Co_3Sn_2$ . При этом, фиксируется и некоторое увеличение параметра решетки  $\beta Co$  (высокотемпературная модификация) по всей видимости в результате образования твердого раствора олова в кобальте, что также способствует некоторому увеличению твердости матричного составляющего металла.

Таблица 1. Свойства и исходные составы спеченных металлических систем

Состав связки	Т, горяч. прессов. T °С	Давление гор пресс. Р, кг/см <sup>2</sup>	Выдержка τ, сек.	Тверд. НРС	Прочн. изгиб σ <sub>б</sub> , кг/мм <sup>2</sup> ,	Удар. вяз КСУ, Дж/см <sup>2</sup>
Ni	880	400	150	–	–	12.5
М6-14 (МЖ)	790	350	150	23	101	5.9
Со	840	450	150	28	176	5.5
90%Со-10%Sn	840	400	150	34	95	–
85%Со-15%Sn	840	400	150	36	63	4.4
80%Со-20%Sn	840	400	150	39.5	45	–
90%Со-10%(Ni-Sn)	840	400	150	32	–	–

80%Co-20%(Ni-Sn)	840	400	150	33	95	–
70%Co-30%(Ni-Sn)	840	400	150	35	76	5.4
60%Co-40%(Ni-Sn)	840	400	150	37.5	73	5.7
50%Co-50%(Ni-Sn)	840	400	150	40	74	–
40%Co-60%(Ni-Sn)	840	400	150	42.5	–	–

Увеличение твердости приводит к охрупчиванию сплава и прочность образцов монотонно снижается (рис.4, кр.2). При введении в исходную кобальтовую связку одновременно олова и никеля – соотношение Ni:Sn всегда сохранялся в пределах 3:2.

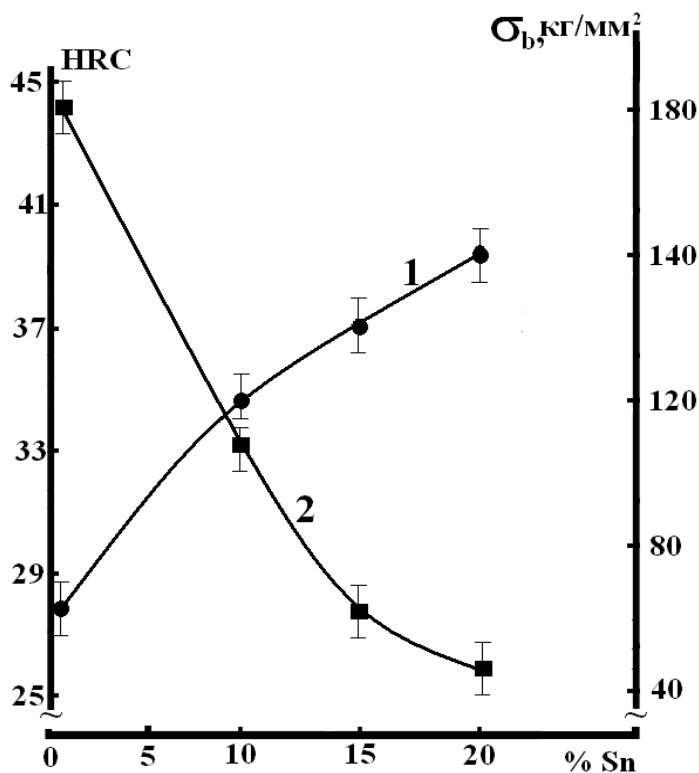


Рис. 4. Зависимость твердости (1) и прочности (2) от спеченных образцов Co-Sn от содержания олова

Аналогично, добавки Ni и Sn способствуют повышению твердости и она монотонно возрастает с увеличением концентрации. Прочность образцов при этом падает, однако, угол наклона кривой несколько смягчен, а при концентрации Ni  $\geq 18.5\%$ , т.е. (Ni-Sn)  $\geq 30\%$ , практически остается неизменной и это на фоне всё возрастающей твердости (рис.5). Добавки никеля в сплав Co-Sn приводят и некоторому повышению и ударной вязкости последнего (табл.1). Рентгенофазовый анализ выявил наличия интерметаллида  $\text{Co}_3\text{Sn}_2$  и твердого раствора олова или никеля на основе кобальта. Интерметаллид никеля не зафиксирован.

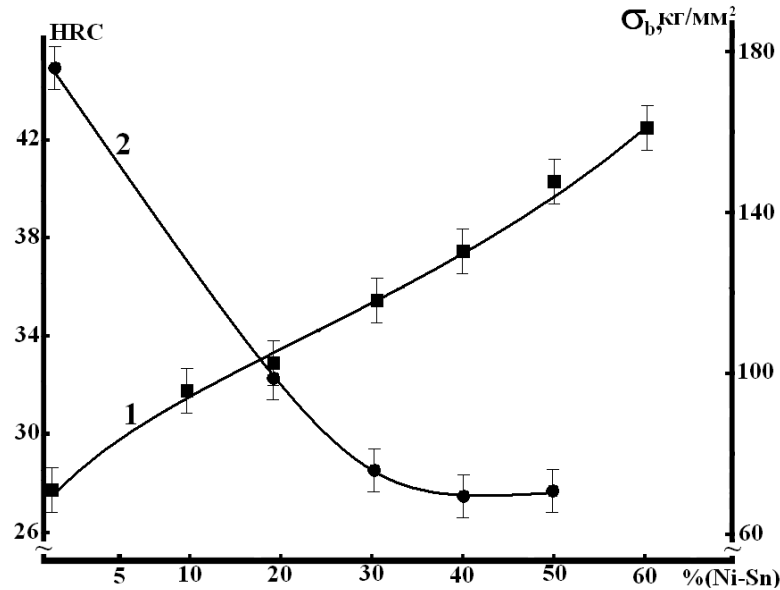


Рис. 5. Зависимость твердости и прочности образцов системы Co –Ni –Sn от процентного содержания (Ni –Sn)

Приводя анализ полученных данных для изготовления алмазных сегментов были выбраны металлические связки состава:

1. 100%Co( $\sigma_b$ - 176 кг/мм<sup>2</sup>, HRC =28, KCU = 5.5 Дж/см<sup>2</sup>)
2. 85%Co, 15% Sn ( $\sigma_b$ - 63 кг/мм<sup>2</sup>, HRC =36, KCU =4.4 Дж/см<sup>2</sup>)
3. 60%Co, 40% (Ni –Sn) ( $\sigma_b$ - 73 кг/мм<sup>2</sup>, HRC =37.5, KCU =5.7 Дж/см<sup>2</sup>)

Спекались также сегменты на связке М6-14 ( $\sigma_b$ - 101 кг/мм<sup>2</sup>, HRC =23, KCU = 5.7Дж/см<sup>2</sup>,)

Операции сверления проводили на вертикально сверильном станке модели 2М-125. Рабочие обороты сверла 700об/мин., соответственно линейная скорость резания  $V_{рез.}=0.8\text{м/с}$ ; вертикальная подача под постоянным давлением  $P=7\text{кг}$ ; подача охлаждающей жидкости через спец. приемники в корпусе сверла (рис.1) расход воды 5л/мин. Обрабатывали железобетонные плиты толщиной 550мм. Марка бетона М-450, степень армирования 3.3%. Определяли скорость сверления  $V_{сверл.см/мин.}$  и удельный ресурс инструмента  $R_m/мм$  – суммарная длина просверленной отверстия на 1мм износа алмазного сегмента.

Данные по производительности и стойкости алмазных сверл различного состава представлены на рис.6. Первое, что необходимо отметить, скорость сверления и удельный ресурс инструментов на железоникелевой (МЖ) и кобальтовых связках близки по значению данными по сверлению железобетона представленных в работе [11]. Полученные данные указывают о достоверности и воспроизводимости полученных результатов. Алмазные инструменты на связке Co–Sn и Co–Ni– Sn показали существенное увеличение как производительности, так и стойкости по сравнению с инструментом на кобальтовой связке. Увеличение ресурса достигает до 60 и 85%-ов соответственно. Повышения рабочего ресурса (Rs) алмазносверла можно связать в какой-то мере, с увеличением износостойкости материала связки по мере повышения её твердости [5].

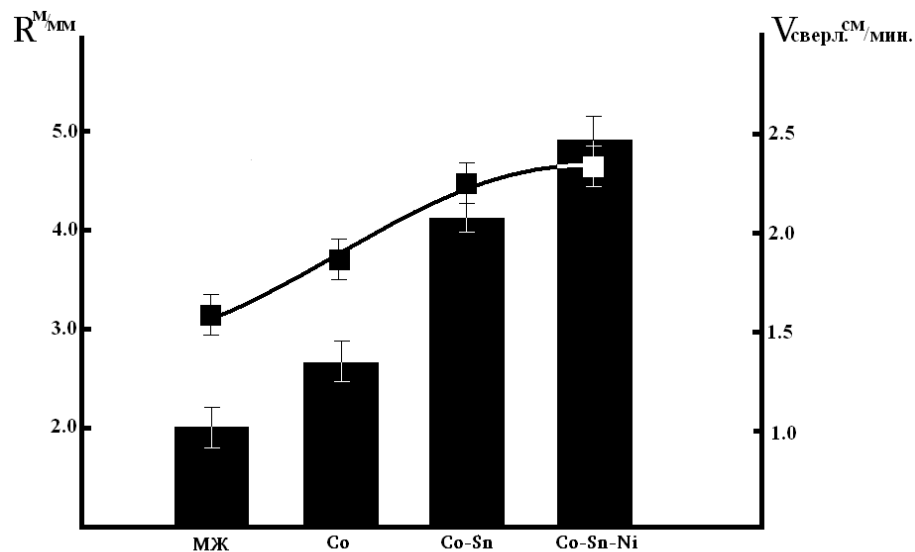
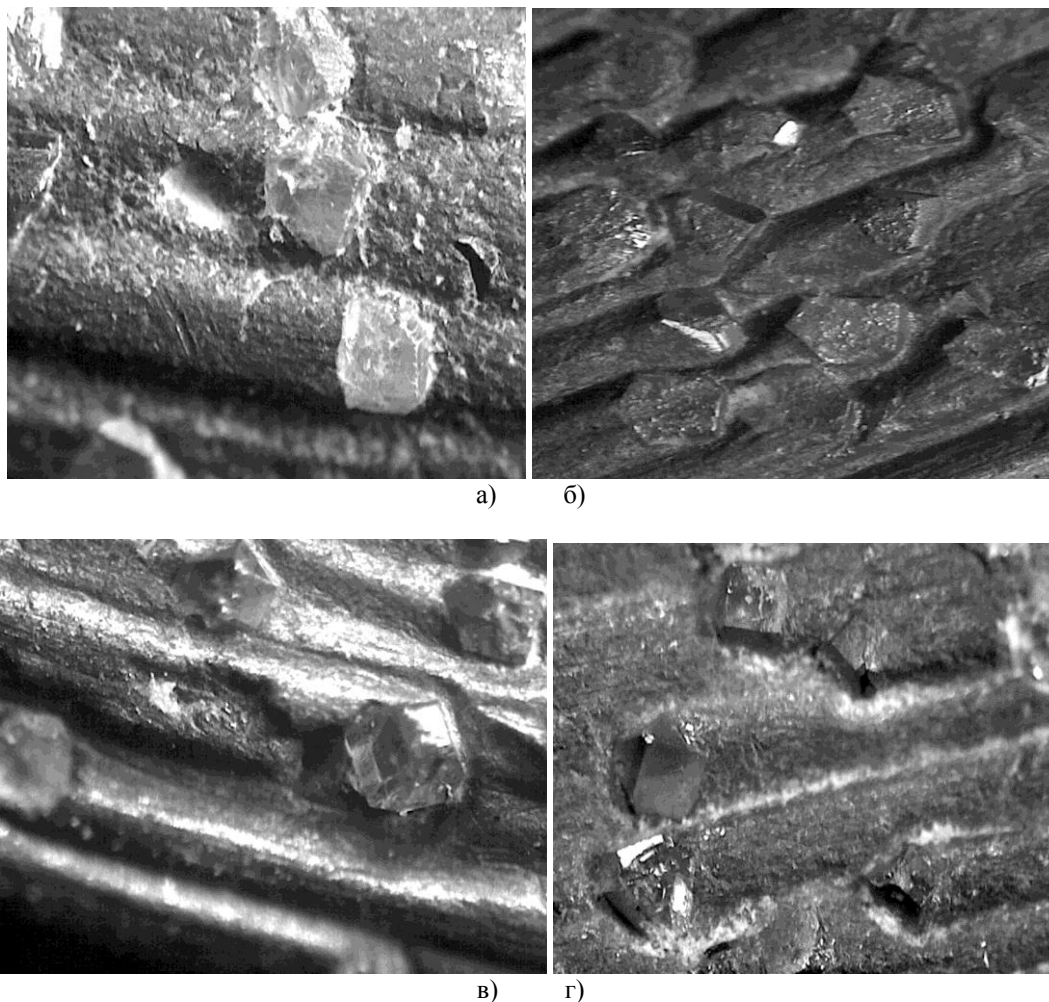


Рис. 6. Производительности и стойкости алмазных сверл различного состава

Одновременное увеличение скорости резания ( $V_{сверл.}$ ) которое имеет место при применении связок Co–Sn и Co–Ni–Sn можно было бы объяснить повышением алмазоудерживающей способностью связок влекущий уменьшение критической глубины заделки алмазного зерна (нз.кр.). При этом увеличивается высота выступа зерен из связки (нв.), увеличивается объем срезанного с обрабатываемого материала в единицу времени стружки. Некоторую ясность в объяснении основных факторов повлекших значительное увеличение ресурса (Rs) и производительности ( $V_{сверл.}$ ) инструмента дало изучение динамики изменения морфологии рабочих поверхностей режущих сегментов.

На рис. 7 представлены микрофотографии характерных участков рабочих поверхностей сегментов различного состава. Общей для всех композиции сегментов является минимальная количество вырванных из матрицы кристаллов (лунок) свидетельствующий о приемлемых значениях алмазоудерживающей способности связок для данного тех.процесса. Основной отличительной чертой сегментов на железо-никелевой связке от кобальтовой и особенно от связок систем Co–Sn и Co–Ni–Sn является различие в габитусе и морфологии кристаллов алмазов принимающих участие в процессе резания. Алмазы в связке Мб-14 имеют отпечаток сильного износа. Присутствуют как площадки износа, также и многочисленные микросколы, поверхность последнего шероховато (рис.7.а). Проявляются следы как абразивного, так адгезионного износа [12]. Режущая способность единичных алмазных кристаллов снижается в связи их затупления. Производительность и стойкость не высокая.

Алмазы в кобальтовой связке износу и соответственно затуплению подвергаются значительно в меньшей степени (рис.7,б). Особо отличаются алмазы, на рабочей поверхности сегментов составов Co–Sn и Co–Ni–Sn. Алмазные кристаллы практически сохранили исходную гладкую поверхность кубоктаэдрических граней. Высота выступа (нв.), кристаллов из связки очень высокая. При такой картине рабочей поверхности реализуется высокая скорость резания.



*Рис.7. Микрофотографии характерных участков рабочих поверхностей сегментов различного состава; а) связка М6-14, б) связка Co, в) связка Co-Sn, г) связка Co-Ni-Sn*

Учитывая, что во всех сегментах марка алмазов, концентрация, зернистость и заданные параметры тех.процесса идентичны, значительное разрушение алмазов в связке М6-14 можно объяснить дополнительными тепловыми нагрузками возникших в процессе трения материала связки с обрабатываемым материалом и шламом. Причиной выделения дополнительной тепловой энергии может являться сравнительно высокий коэффициент трения железоникелевого сплава по отношению к стальной арматуре (низкоуглеродная сталь) так и к бетону. Можно предположить, что коэффициент трения связок составов Co-Sn и Co-Ni-Sn по отношению к обрабатываемым материалам значительно ниже. Естественно, данное предположение требует экспериментального подтверждения, что и будет реализовано в последующих исследованиях.

### *Литература*

1. Коновалов В.А., Ткач В.Н., Шатохин В.В. Разрушение металлической связки при высокоскоростном циклическом нагружении алмазного зерна. // Породоразрушающий металлообрабатывающий инструмент – техника, технология его изготовления и применения: XII межд. конф.(Крым, 17 сентября – 22 сентября 2009), Киев,Изд-во ИСМ им.В.Н.Бакуля НАН Украины, 2009. С. 504 – 508.
2. Коновалов В.А., Шатохин В.В. Взаимосвязь прочности закрепления зерен в связке со стойкостью алмазно-абразивного инструмента. // Породоразрушающий металлообрабатывающий инструмент – техника, технология его изготовления и применения: XII межд. конф.(Крым, 17 сентября – 22 сентября 2009), Киев, Изд-во ИСМ им. В.Н. Бакуля НАН Украины, 2009. С. 508 – 513.

3. *Пегловский В.В., Сидорко В.И., Ляхов В.Н., Поталыко Е.М.* Исследование производительности и трудоемкости шлифования природных камней алмазным инструментом. // Породоразрушающий металлообрабатывающий инструмент – техника, технология его изготовления и применения: XII межд. конф. (Крым, 17 сентября – 22 сентября 2009), Киев,Изд-во ИСМ им.В.Н.Бакуля НАН Украины, 2009. С. 500 – 604.
4. *Лоладзе Н.Т., Церодзе М.П., Дзидзишвили Ю.Г., Авалишвили З.А.* Исследование взаимосвязи производительности и стойкости алмазных сверл от различных факторов. // Породоразрушающий металлообрабатывающий инструмент – техника, технология его изготовления и применения: XII межд. конф. (Крым, 18 сентября – 24 сентября 2011), Киев, Изд-во ИСМ им.В.Н.Бакуля НАН Украины, 2011. С. 537 – 541.
5. *Коновалов В.А., Александров В.А, Левин М.Д.* Влияние прочности алмазоудержания и скорости абразивного износа связки на работоспособность алмазно-абразивного камнерезного инструмента// Синтетические Алмазы. 1975. вып. 2. С. 26-28
6. *Janusz Konstanty.*Theoretical analysis of stone sawing with diamonds// Journal of Materials Processing Technology. 2002. 123. p.146-154
7. *Коновалов В.А., Александров В.А.* Исследование износостойкости связок алмазного камнерезного инструмента // Синтетические Алмазы. 1974. вып.5. С. 27 - 29.
8. *Лоладзе Н. Т., Церодзе М.П., Дзидзишвили Ю.Г.* Физико-Химические Основы Получения и Применение Алмазкомпозиционных Материалов для Обработки Неметаллов.Тбилиси: «Технический Университет», 2009,226 стр.
9. *Molirani A., Marchetti F., Gialanella S., Scardi P., Tiziani A.* Study of the Diamond-Matrix Interface in Hot-pressed Cobalt-based Tools//Materials Science and Engineering A.1990.Vol.130. p.257-262
10. *Nitkiewicz Z., Swierzy M.* Tin influence on diamond-metal matrix hot pressed tools for stone cutting//Journal of Materials Processing Technology. 2006.vol 175 p.306-315.
11. *Зайцев А.А.* Разработка дисперсно-упрочненных наночастицами металлических связок и технологии получения алмазосодержащих сегментов для режущего инструмента.: Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук. Москва, 2009. 160с.
12. *Захаренко И.П.* Основы алмазной обработки твердосплавного инструмента. Киев: Наукова Думка,1981,298с.