

УДК 621.923

И.Н. ПЫЖОВ, д-р техн. наук,
В.А. ФЕДОРОВИЧ, д-р техн. наук, Харьков,
В.Г. КЛИМЕНКО, Полтава, Украина

3D МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ПРАВКИ АЛМАЗНЫХ КРУГОВ МЕТОДОМ КОНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

Наведено результати досліджень з 3D моделювання напружено-деформованого стану в зоні правки алмазних шліфувальних кругів алмазними олівцями. Встановлено вплив основних факторів на виникаючі внутрішні напруження в зернах. Запропоновано удосконалену технологію виготовлення алмазних олівців.

Приведены результаты исследований по 3D моделированию напряженно-деформированного состояния в зоне правки алмазных шлифовальных кругов алмазными карандашами. Установлено влияние основных факторов на возникающие внутренние напряжения в зернах. Предложена усовершенствованная технология изготовления алмазных карандашей.

The results of studies on the 3D simulation of deflected mode in the area of dressing of diamond grinding wheels with diamond dressers are presented. The influence of the main factors in the internal stresses arising in the grains is established. An improved technology for producing diamond dressers are proposed.

Постановка проблеми. Известно, что правку алмазных кругов выполняют в случаях «засаливания» режущей поверхности, при неравномерном износе и необходимости восстановления заданной формы круга. Наиболее простым и доступным способом является правка алмазными карандашами методом обтачивания. При правке алмазным инструментом может происходить дробление абразивного материала, удаление целых зерен и связки шлифовального круга. В связи с этим представляет определенный интерес установление физической сущности процесса разрушения зерен круга. На наш взгляд одним из путей решения этой задачи является использование 3D моделирования методом конечных элементов. В перспективе это позволит установить условия управления

характером этого разрушения в пределах от микро- до макроразрушения.

Анализ последних исследований и публикаций. 3D моделирования методом конечных элементов уже широко используется применительно к процессам лезвийной [1], абразивной [2] обработок, а также спекания алмазосносного слоя кругов на различных связках [3] и правки шлифовальных кругов из традиционных абразивных материалов [4]. Данные по анализу напряженно-деформированного состояния (НДС) при правке алмазных кругов алмазными карандашами отсутствуют, в то время как этот процесс имеет ряд принципиальных особенностей, которые связаны, в первую очередь, с использованием алмазных зерен и наличием в них включений металлофазы физико-механическими свойствами которой существенно отличаются от алмаза.

Цель исследования. Выявление физических особенностей процесса правки алмазных кругов алмазными карандашами.

Основные материалы исследования. Расчеты по методу конечных элементов позволяют количественно оценить главные и приведенные напряжения, энергию деформации и плотность энергии деформации в системе «правлящий элемент – алмазные зерна – связка круга» в зависимости от их размеров, физико-механических свойств и условий правки (например, глубина правки, марка связки (припоя) карандаша, скорость осуществления процесса и др.).

Исследование НДС в алмазных зернах при правке алмазных кругов. В данной работе проводилась серия расчетов для фрагмента алмазосносного слоя, включающего несколько зерен, окруженных массивом связки. В качестве связующего материала рассматривались металлические, органические и керамические связки. В качестве моделей алмазных зерен использовался многогранник в поперечном сечении, которого лежит восьмиугольник. Наличие металла-катализатора в алмазных зернах моделировалось произвольно ориентированными пластинами, объемное содержание которых составляло 5% или 10% [5]. Для исследования влияния количества металлофазы на процесс правки рассматривалось наличие в зерне одного, двух и трех включений металлофазы, расположенных на периферии зерна. Вначале, была построена исходная 3D-модель системы «правлящий элемент – алмазные зерна – связка круга»

(рис. 1). Полагалось, что модели являются сплошными упругими телами. Все геометрические модели построены с использованием коммерческого программного CAD обеспечения SolidWorks.

Схема нагружения модели приведена на рис. 2.

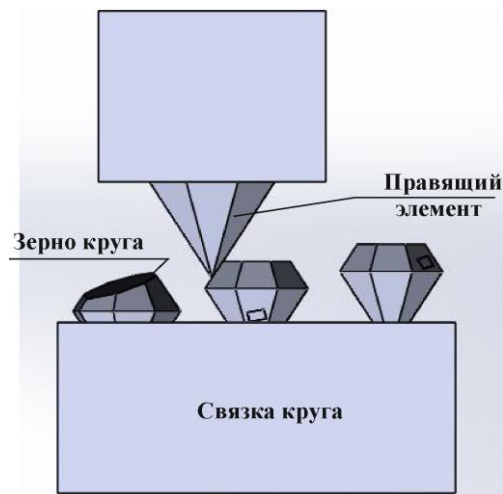


Рисунок 1 – 3D-модель системы «правящий элемент – алмазные зерна – связка круга»

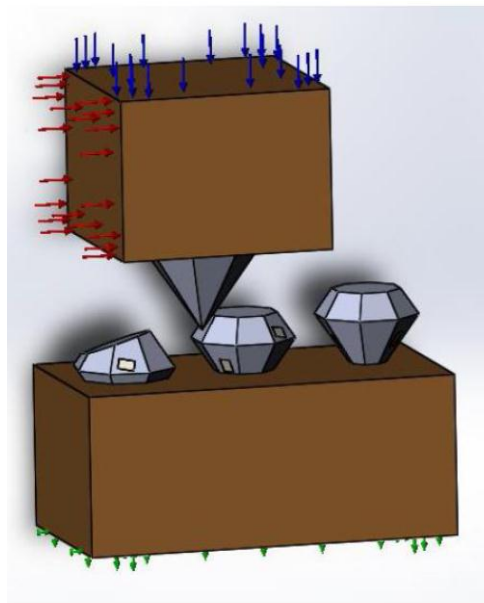
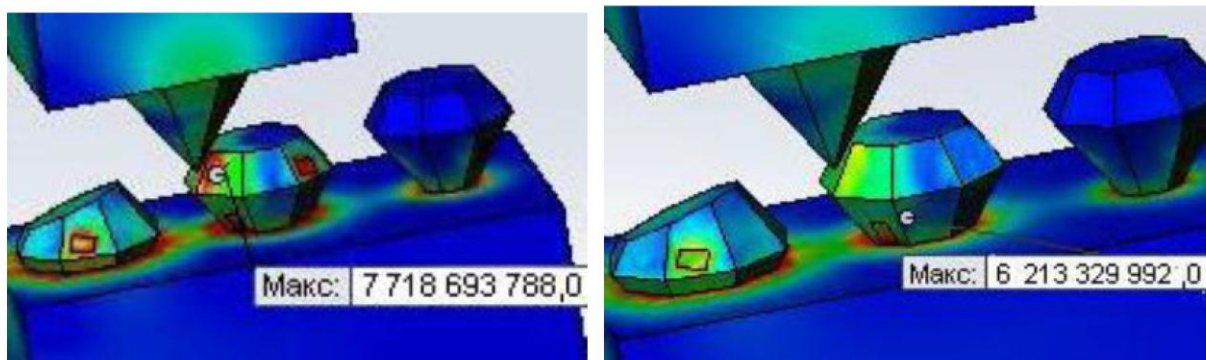


Рисунок 2 – Схема нагружения модели процесса правки круга

Исследование влияния металлофазы на НДС показало увеличение напряжений в зернах в местах ее сосредоточения. С увеличением

количества металлических включений в зернах их прочность и термостойкости снижаются.

Концентрация максимальных напряжений в области металлофазы свидетельствует о том, что именно она может играть ключевую роль в разрушении алмазных зерен в процессе правки алмазно-абразивного инструмента. И чем больше включений металлофазы присутствуют в одном зерне (рис. 3), тем более интенсивно будет происходить их разрушение.



а)

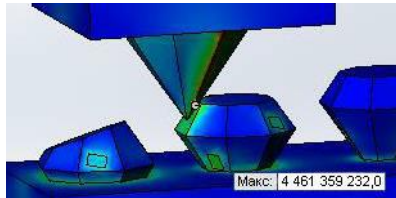
б)

Рисунок 3 – Влияние количественного содержания металлофазы в зерне на изменение в нем эквивалентных напряжений

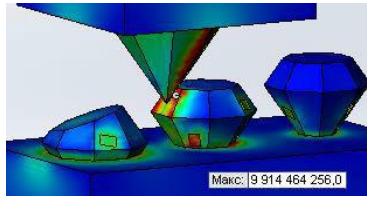
На рис. 4 представлены результаты расчета НДС для различных значений давления в контакте и типов связок. Значения давления принимались соответственно 10 МПа, 55 МПа, 100 МПа применительно к керамической (а), органической (б) и металлической (в) связкам. Материал металлофазы – никель, количество включений металлофазы - три. Наименьшие напряжения наблюдаются при правке кругов на керамической связке с давлением 10 МПа. Наибольшие напряжения наблюдаются при правке кругов на металлической связке, с давлением 100 МПа.

Повышение эффективности процесса правки за счет совершенствования правящего алмазного карандаша. Суть изменения технологии изготовления алмазных карандашей [6, 7] состоит, во-первых, в использовании синтетических поликристаллических алмазов (СПА), полученных CVD методом [8]. Физико-механические свойства этого

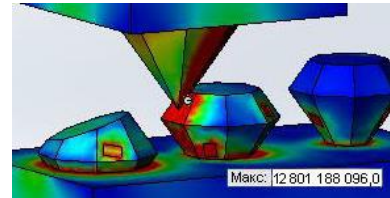
алмаза приближаются к свойствам природного алмаза. Во-вторых, на эти поликристаллы предварительно наносится толстослойное рельефное металлическое покрытие [9].



$P=10 \text{ МПа}, \sigma_{\text{ЭКВ.}}=5,72 \text{ ГПа}$

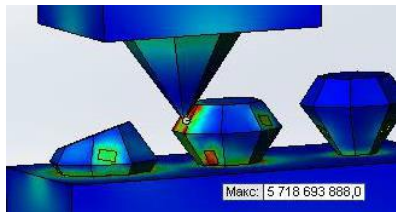


$P=55 \text{ МПа}, \sigma_{\text{ЭКВ.}}=9,91 \text{ ГПа}$

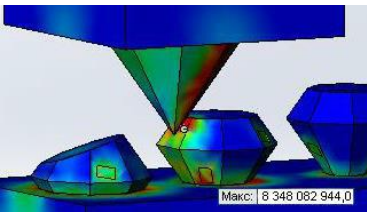


$P=100 \text{ МПа}, \sigma_{\text{ЭКВ.}}=12,8 \text{ ГПа}$

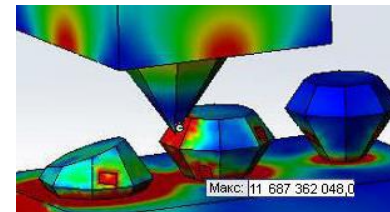
а)



$P=10 \text{ МПа}, \sigma_{\text{ЭКВ.}}=4,46 \text{ ГПа}$

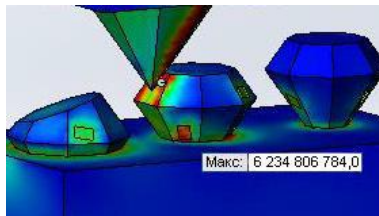


$P=55 \text{ МПа}, \sigma_{\text{ЭКВ.}}=8,35 \text{ ГПа}$

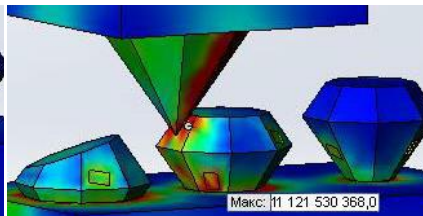


$P=100 \text{ МПа}, \sigma_{\text{ЭКВ.}}=11,7 \text{ ГПа}$

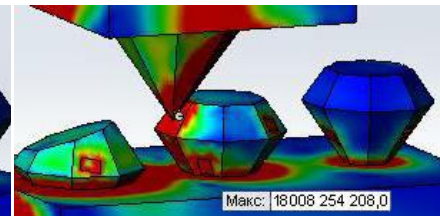
б)



$P=10 \text{ МПа}, \sigma_{\text{ЭКВ.}}=6,23 \text{ ГПа}$



$P=55 \text{ МПа}, \sigma_{\text{ЭКВ.}}=11,21 \text{ ГПа}$



$P=100 \text{ МПа}, \sigma_{\text{ЭКВ.}}=18,0 \text{ ГПа}$

в)

Рисунок 4 - Визуализация результатов моделирования процесса правки алмазосодержащего слоя круга

Роль покрытия при изготовлении алмазного карандаша многоцелевая. С одной стороны оно способствует увеличению силы удержания СПА в державке карандаша как за счет лучшего сцепления алмаза с покрытием в сравнении со связкой (припоем), так и за счет увеличения общей площади поверхности покрытого СПА. Во вторых в условиях воздействия на СПА высоких значений сил и температур (при их

закрепленні в державке карандаша) оно предотвращает возможное растрескивание и разрушение поликристалла алмаза [10]. Для карандашей типа 01 (ГОСТ 607-80), в которых алмазные поликристаллы расположены цепочкой, их предложено предварительно соединять, например, склеиванием цепочкой в блок, после чего наносить на этот блок рельефное толстослойное металлическое покрытие. И уже после этого указанный блок поликристаллов закреплять в державке карандаша одним из известных способов, например, запайкой. Конструкция карандаша схематически представлена на рис. 5. Такой подход позволяет еще на предварительном этапе обеспечить точное и плотное прилегание поликристаллов друг к другу, что важно для осуществления процесса непрерывной правки, а также более полное использование ресурса алмаза. Предварительные исследования показали, что минимальная толщина покрытия должна быть не менее чем 0,1 мм.

Реализация описанных технических решений, предложенных на основе исследований, сводит к минимуму необходимость в выходном контроле готовых алмазных правящих карандашей, способствует повышению их качества, а, следовательно, и их общего срока службы при последующей эксплуатации.

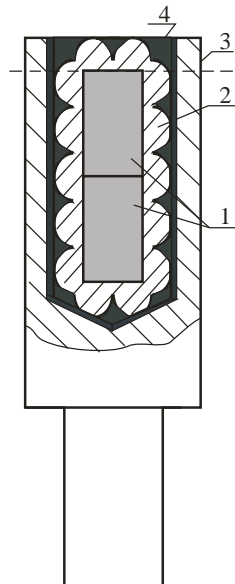


Рисунок 5 – Алмазный карандаш

1 – СПА; 2 – покрытие; 3 – державка; 4 – припой (связка)

На кафедре «Интегрированные технологии машиностроения» НТУ «ХПИ» были проведены испытания алмазных карандашей производства ПАО «Полтавский алмазный инструмент» (шифр 800053 А-01).

Испытания проводились на модернизированном круглошлифовальном станке мод. 3У12 согласно требованиям ГОСТ 607-80 на следующих режимах: скорость шлифовального круга $V_k=35$ м/с; скорость продольной подачи $S_{пр.}=0,5$ м/мин; поперечная подача $S_{поп.}=0,03$ мм/ход, производительность подачи эмульсии в зону правки 20 л/мин. Испытуемый абразивный круг имел следующую характеристику ПП 250х40х76 24А 25 СТ 1 К (вариант 1). Для сравнения испытания были проведены на кругах ПП 250х40х76 24А 25 М 1 К (вариант 2) и ПП 250х40х76 24А 8 М 1 К (вариант 3, $S_{поп.}=0,01$ мм/ход). В качестве критерия оценки использовалась удельная производительность Q (см³/мГ.). В качестве базового использовали карандаш 3908-0051 (исполнение А, тип 01) из природного алмаза производства ОАО «Терекалмаз» (весовая группа алмазов 0,03 - 0,05 карат, общая масса алмазов, 0,5 карат). Результаты испытаний представлены в таблице.

Таблица – Результаты испытаний алмазных карандашей.

№ варианта	800053 А-01	3908-0051	Расхождение, %
1	$Q=49$ см ³ /мГ	$Q=51$ см ³ /мГ	4
2	$Q=1984$ см ³ /мГ	$Q=1990$ см ³ /мГ	0,3
3	$Q=5000$ см ³ /мГ	$Q=5000$ см ³ /мГ	0

Выводы и перспективы развития. Таким образом, полученные данные свидетельствуют о следующем: 1 - наличие в алмазных зернах металлофазы при силовом нагружении исследуемой системы для различных видов связей может способствовать облегчению процесса их разрушения при правке кругов. 2 – усовершенствованные алмазные карандаши обеспечивают работоспособность при правке абразивных кругов на уровне природных алмазов.

В дальнейшем представляет интерес исследования по правке алмазных кругов предложенными алмазными карандашами.

Список использованных источников: 1. Heisel U, Krivoruchko DV, Zaloha VA, Storchak M (2007) CauseAnalysis of Errors in FE Prediction Orthogonal Cutting Performances. Proceedings of the 10th CIRP International Workshop on Modeling of Machining Operations. Calabria 141–148. 2. Федорович В.О. Розробка наукових основ та способів практичної реалізації управління пристосовуваністю при алмазному шліфуванні надтвердих матеріалів. Автореф. дис.... докт. техн. наук 05.03.01 – Харків, 2002, 34с. 3. Козакова Н.В. Определение рациональных характеристик алмазных кругов путем 3D моделирования процессов их изготовления и шлифования сверхтвердых материалов: дис... канд. техн. наук: 05.03.01 / Козакова Наталья Витальевна. - Харьков, 2004. - 210 с. 4. Шахбазов Я.О. Наукові і технологічні основи формування різального рельєфу шліфувальних кругів з метою підвищення ефективності обробки: дис. ... д-ра техн. наук: 05.03.01 / Шахбазов Яків Олександрович. – Львів: - 2006. – 318с. 5. Грабченко А.И. 3D моделирование алмазно-абразивных инструментов и процессов шлифования / Грабченко А.И., Доброскок В.Л., Федорович В.А. Учебн. пособие. – Харьков: НТУ «ХПИ», 2006.-364 с. 6. Грабченко А.И., Пыжов И.Н., Клименко В.Г. Повышение работоспособности правящих алмазных карандашей /Збірник наукових праць (Галузеве машинобудування, будівництво) // Полтав. нац. техн. ун-т ім. Ю. Кондратюка. – Полтава: ПолтНТУ, 2011. – Вип.5(35).-С. 7. Пат. 74681 Україна, МПК (2012.01) В24 В 53/00. Спосіб виготовлення алмазного олівця / Грабченко А.І., Пижов І.М., Федорович В.О., Клименко В.Г. Власник Полтавський національний технічний університет ім. Ю. Кондратюка - № u 2012 04084; заявл. 03.04.2012; опубл. 12.11.2012. Бюл. № 21. 8. Электронный ресурс. [CVD-Diamant als Schneidstoff](http://www.idr-online.com/german/pages/archive/2003_4/10_art/Art10_04_03.htm). http://www.idr-online.com/german/pages/archive/2003_4/10_art/Art10_04_03.htm. 9. Методы определения показателей качества никелевого покрытия / [Гринь Г.И., Козуб П.А., Мухина Л.В., Дробног И.Н.] // Вісник Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут». – Харків: НТУ «ХПИ». – 2006. – № 12. – С. 90-94. 10. Влияние металлизации на окисление синтетических поликристаллических материалов. / [Кудрявцев К.К., Страхова Г.М., Панченко М.А.] // –Сб. «Алмазы и сверхтвердые материалы». Вып. 5, 1976. -С. 3-4.

Bibliography (transliterated): 1. Heisel U, Krivoruchko DV, Zaloha VA, Storchak M (2007) CauseAnalysis of Errors in FE Prediction Orthogonal Cutting Performances. Proceedings of the 10th CIRP International Workshop on Modeling of Machining Operations. Calabria 141–148. 2. Fedorovich V.O. Rozrobka naukovih osnov ta sposobiv praktichnoї realizacії upravlinnja pristosovuvanistju prialmaznomu shlifuvanni nadtverdih materialiv. Avtoref. dis.... dokt. tehn. nauk 05.03.01 – Harkiv, 2002, 34s. 3. Kozakova N.V. Opredelenie racional'nyh harakteristikalmaznyh krugov putem 3D modelirovanija processov ih izgotovlenija i shlifovanija sverhtverdyh materialov: dis... kand. tehn. nauk: 05.03.01 / Kozakova Natal'ja Vital'evna. - Har'kov, 2004. - 210 s. 4. Shahbazov Ja.O. Naukovi i

tehnologichni osnovi formuvannja ryzal'nogo rel'efu shlifoval'nih krugiv z metoju pidvishhennja efektyvnosti obrobki: dis. ... d-ra tehn. nauk: 05.03.01 / Shahbazov Jakiv Oleksandrovich. – L'viv: - 2006. – 318s. 5. Grabchenko A.I. 3D modelirovaniealmazno-abrazivnyh instrumentov i processov shlifovanija / Grabchenko A.I., Dobroskok V.L., Fedorovich V.A. Uchebn. posobie. – Har'kov: NTU «HPI», 2006.-364 s. 6. Grabchenko A.I., Pyzhov I.N., Klimenko V.G. Povyshenie rabotosposobnosti pravjashhihalmaznyh karandashej /Zbirnik naukovih prac' (Galuzeve mashinobuduvannja, budivnictvo) // Poltav. nac. tehn. un-t im. Ju. Kondratjuka. – Poltava: PoltNTU, 2011. – Vip.5(35).-S. 7. Pat. 74681 Ukraïna, MPK (2012.01) V24 V 53/00. Sposib vigotovlennjaalmaznogo olivcja / Grabchenko A.I., Pizhov I.M., Fedorovich V.O., Klimenko V.G. Vlasnik Poltavs'kij nacional'nij tehničnij universitet im. Ju. Kodratjuka - № u 2012 04084; zajavl. 03.04.2012; opubl. 12.11.2012. Bjul. № 21. 8. Jelektronnyj resurs. CVD-Diamant als Schneidstoff. http://www.idr-online.com/german/pages/archive/2003_4/10_art/Art10_04_03.htm. 9. Metody opredelenija pokazatelej kachestva nikelovogo pokrytija / [Grin' G.I., Kozub P.A., Muhina L.V., Drobonog I.N.] // Visnik Nacional'nogo tehničnogo universitetu «Harkivs'kij politehničnij institut». – Harkiv: NTU «HPI». – 2006. – № 12. – S. 90 – 94. 10. Vlijanie metallizacii na okislenie sinteticheskikh polikristallicheskih materialov. / [Kudrjavcev K.K., Strahova G.M., Panchenko M.A.] // –Sb. «Almazny i sverhtverdye materialy». Vyp.5, 1976. -S. 3-4.