

УДК 621.787.4

Н.В. Рязанова-Хитровская, В.А. Федорович, д-р техн. наук,
И.Н. Пыжов, д-р техн. наук, Харьков, Украина

МОДЕЛИРОВАНИЕ ИНСТРУМЕНТА ДЛЯ ПРОЦЕССА ВЫГЛАЖИВАНИЯ

Стаття присвячена 3D моделювання напружено-деформованого стану зони пайки інструментального матеріалу в корпусі вигладжувача. Вперше для досліджень задіяна широка гама інструментальних матеріалів, які можуть бути використані для практичної реалізації процесів вигладжування різних груп матеріалів.

Ключові слова: процес вигладжування, алмазне вигладжування, вигладжувач, інструментальний матеріал, природний і синтетичний алмази, ельбор-Р, гексанит-Р, напружено-деформований стан, еквівалентні напруження

Статья посвящена 3D моделированию напряженно-деформированного состояния зоны пайки инструментального материала в корпусе выглаживателя. Впервые для исследований задействована широкая гамма инструментальных материалов, которые могут быть использованы для практической реализации процессов выглаживания различных групп материалов.

Ключевые слова: процесс выглаживания, алмазное выглаживание, выглаживатель, инструментальный материал, природный и синтетический алмазы, эльбор-Р, гексанит-Р, напряженно-деформированное состояние, эквивалентные напряжения

The article is devoted to 3D modeling of the stress-strain state of the soldering zone of tool material in the burnishing body. For the first time, a wide range of tool materials is used for research, which can be used for the practical implementation of the burnishing processes of various groups of materials.

Key words: smoothing process, diamond burnishing, burnishing, tool material, natural and synthetic diamonds, elbor-R, hexanite-P, stress-strain state, equivalent stresses

1. Постановка проблемы. Известно, что благодаря использованию выглаживателей, оснащенных поликристаллами сверхтвёрдых материалов на основе плотных модификаций нитрид бора и синтетических алмазов удается обеспечить значительное повышение производительности обработки ответственных поверхностей деталей [1-5]. В основном инструмент для выглаживания изготавливают из алмаза, который имеет существенные преимущества при обработке цветных металлов и сплавов, однако далеко не всегда пригоден для обработки сталей и сплавов с большим содержанием углерода и железа. Это объясняется тем, что алмаз как аллотропная модификация углерода может вступать в химическую реакцию с указанными обрабатываемыми материалами, а, следовательно, подвергаться повышенному износу. В тех случаях, когда необходимо обработать комбинированные заготовки, состоящие из разных материалов (черных и цветных) более предпочтительными являются инструменты из плотных

модификаций нитрида бора. Исключением являются обработка заготовок из алюминий кремниевых сплавов со вставками из специальных чугунов (деталей типа поршень) – здесь эффективнее алмазный инструмент. Отличие алмазных инструментов от инструментов из плотных модификаций нитрида бора состоит и в том, что первые успешно применяются с теми же оснасткой и режимами обработки, с которой работают замененные твердосплавные инструменты (эффективность достигается благодаря повышению стойкости инструмента в десятки и сотни раз), а вторые эффективны, как правило, только при резком повышении скорости обработки. В последнем случае проявляются такие достоинства инструментов из плотных модификаций нитрида бора как инертность к углеродсодержащим материалам и повышенная теплостойкость [5].

2. Анализ последних исследований и публикаций. Силы, возникающие в процессе выглаживания, создают большие контактные давления на его рабочей поверхности, поэтому материал выглаживателя должен обладать большой твердостью, сопротивлению истиранию, высоким пределом прочности, низким коэффициентом трения, большой теплопроводностью и теплоемкостью. Всем этим требованиям в наилучшей степени удовлетворяет алмаз. Указанными свойствами в той или иной степени обладают синтетический корунд, минералокерамика, твердые сплавы и др. [1]. Однако наиболее выгодно выделяются алмаз и плотные модификации нитрид бора.

Одной из важных народнохозяйственных задач является обеспечение целостности инструментального материала в высокотемпературных процессах пайки его в корпусе выглаживателя и самого процесса выглаживания. Анализ литературы показал, что исследования, посвященные вопросам напряженно-деформированного состояния (НДС) зоны спекания выглаживателей, а также разработки и использование компьютерных программ для определения напряжений, практически отсутствуют. Это можно сказать и в отношении использования выглаживателей из плотных модификаций нитрида бора.

Поэтому, исследования направленные на повышение эффективности процесса выглаживания является актуальной.

3. Цель исследования. Изучение НДС зоны пайки при изготовлении выглаживателей путем ее 3D моделирования.

4. Материалы исследования. В программном пакете SOLIDWORKS была разработана 3D модель выглаживателя (рис. 1), где с помощью приложения CosmosWorks изучалось НДС для случая использования каждого из исследуемых материалов.

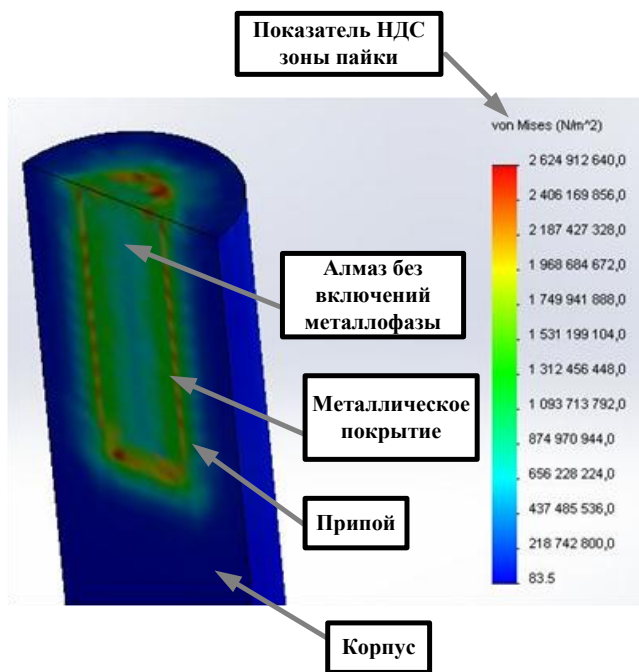


Рисунок 1 – 3D НДС зоны пайки алмазного выглаживателя в компьютерной программе SOLIDWORKS

Для получения адекватных результатов в данной программе закладывались все необходимые физико-механические свойства инструментальных материалов (табл. 1). В качестве представителей плотных модификаций нитрида бора использовались эльбор-Р и гексанит-Р [5].

Выглаживатель изготавливается пайкой, которая обеспечивает качественное крепление рабочей части в державке и позволяет уменьшить габариты инструмента. Поэтому изготовление инструмента, в частности из алмаза, связано с высокими температурами. Для лучшего удержания и предотвращения растрескивания рабочей части инструмента было предложено использовать дополнительное металлическое покрытие [8].

Таблица 1 – Физико-механические свойства материалов [1, 4]:

Материалы	Плотность, кг/м ³	Твердость, ГПа	Модуль упругости, ГПа	Предел прочности при изгибе, МПа	Предел прочности при сжатии, ГПа	Коэффициент теплопроводности при 20 ⁰ С, Вт/м·К	Включение металлофазы, %
Натуральный алмаз	3,47-3,55	99	885	1960	0,2	145	нет
CVD	3,52	85-100	1000-1100	1200-1300	1,0-3,0	600-2200	нет
АСПК	3,5-4,0	92-150	850	0,5-1,0	0,4-0,8	290-330	2-20
СКМ-Р	-	100	850	-	5,0	150-250	10
Синтетический лейкосапфир	3,99	23	450	567	2,6	83	нет
Минерало-керамика ЦМ 332	3,85-3,90	90	360	290-390	4,9	10,5	нет
Твердый сплав Т15К6	11,0-11,7	17	400	1050-1080	3,0-4,0	27	нет
Эльбор-Р	3,31-3,39	70-80	660-800	700-800	1,9-2,1	30-60	нет
Гексанит-Р	3,28-3,36	50-80	715-980	700-1500	2,0-5,0	25-80	нет

Результаты расчетов показали, что наименьшие напряжения имеют место в случае использования алмаза без содержания металлофазы (рис. 2).

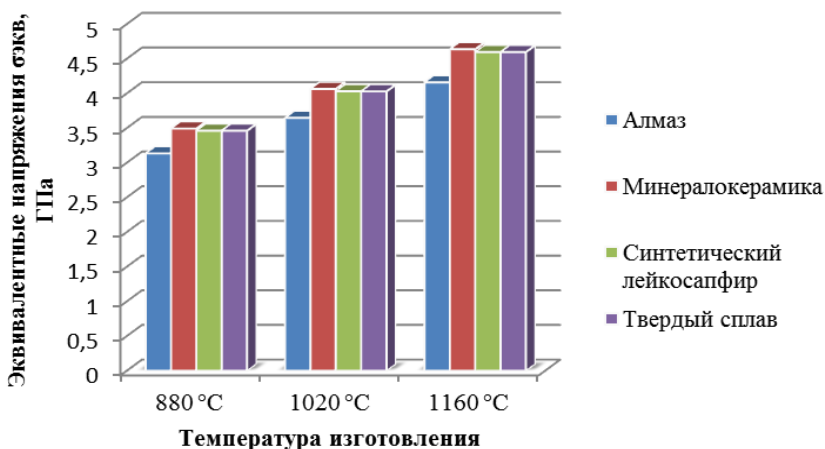


Рисунок 2 – Влияние температуры пайки на значения эквивалентных напряжений для различных инструментальных материалов

Следующим этапом исследования было установление оптимальных марок алмаза, наиболее подходящих для изготовления выравнивающих инструментов. Для экспериментов использовались следующие марки: натуральный алмаз, алмаз, изготовленный методом CVD, синтетический алмаз АСПК (метод прямого синтеза из графита) и СКМ-Р (метод порошковой металлургии) [4]. При моделировании инструмента в модель выравнивателя была включена металлофаза (в зависимости от марки алмаза). В случае нахождения в составе алмаза минимального количества металлофазы (или при ее практическом отсутствии) НДС системы должен быть минимальным по причине отсутствия концентратора возникновения значительных напряжений, что подтверждается данными рисунка 3. Учитывая то, что предел прочности алмаза на растяжение составляет примерно 2,0 ГПа, можно сделать вывод о том, что при пайке целостность алмазов, в составе которых практически нет металлофазы, гарантированно обеспечивается.

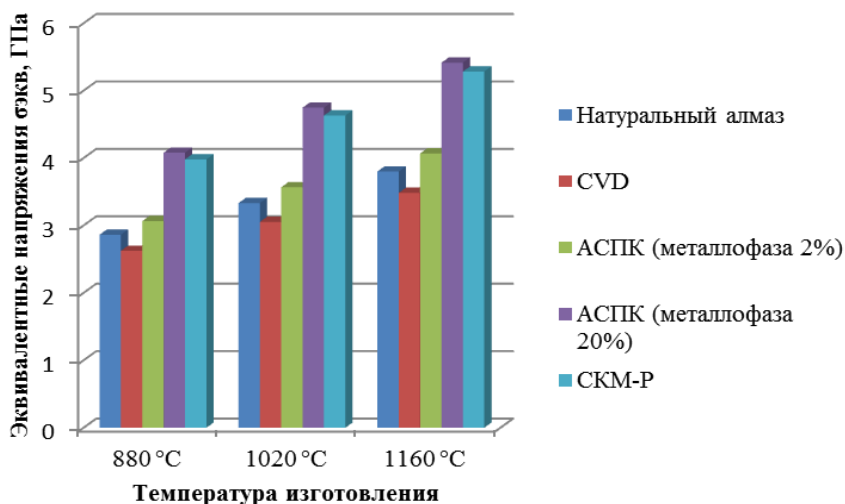


Рисунок 3 – Влияние температуры пайки на значения эквивалентных напряжений для различных марок алмазов

Результаты моделирования показали, что использование алмаза, изготовленного методом CVD, является оптимальным, так как возникающие эквивалентные напряжения ниже критических значений. Это объясняется тем, что с одной стороны он не имеет металлических включений, а другой повышенный предел прочности на растяжение (до 3 ГПа).

Поскольку коэффициент термического расширения металлофазы значительно выше чем у алмаза, то при ее значительном процентном содержании в алмазах марок АСПК и СКМ-Р это зачастую приводит к критическим значениям эквивалентных напряжений. В результате этого происходит растрескивание и даже полное разрушение алмаза при пайке инструмента.

По аналогии с практикой применения инструментов из эльбора-Р и гексанига-Р для резания [4, 5, 6, 7] было сделано предположение о целесообразности их использования и для выглаживающего инструмента.

Методом 3D моделирования было исследовано НДС при пайке выглаживателей из этих сверхтвердых материалов (рис. 4). Эти результаты подтвердили защитную роль металлических покрытий на инструментальных материалах.

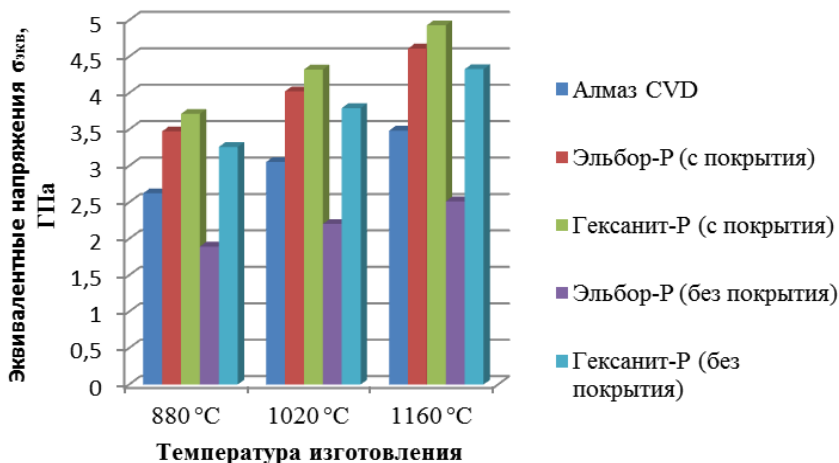


Рисунок 4 – Сравнительный анализ НДС при использовании алмаза и плотных модификаций нитрида бора для выглаживателей

Выводы и перспективы развития. 1. Алмаз, изготовленный методом CVD, является оптимальным для изготовления выглаживающего инструмента. 2. Модельные эксперименты показали на возможную перспективность применения эльбора-Р и гексанита-Р для выглаживающего инструмента.

В дальнейшем представляет интерес исследование НДС при изготовлении (заточке) выглаживателей алмазными кругами.

Список использованных источников: 1. *Торбило В.М.* Алмазное выглаживание [Текст] / В. М. Торбило. – М.: Машиностроение, 1972. – 105 с. 2. *Хрульков В. А.* Алмазные инструменты в прецизионном приборостроении / В. А. Хрульков, А. Я. Головань, А. И. Федотов. – М.: Машиностроение, 1977. – 223 с. 3. *Титов В.А.* Некоторые перспективные направления развития процессов выглаживания конструкционных материалов / *Титов В.А., Титов А.В.* // Вісник національного технічного університету «ХПІ». Збірник наукових праць. Тематичний випуск: Нові рішення в сучасних технологіях. – Харків: НТУ «ХПІ» – 2009. – № 32. – С. 78-86. 4. *Магазеев М.Г.* Повышение эффективности изготовления профильных инструментов из сверхтвердых и керамических материалов за счет сочетания электроэрозионной и алмазной обработки: дис...канд. техн. наук: 05.03.01 / *Магазеев Михаил Геннадиевич.* – Харьков, 1997. – 204 с. 5. Режущие инструменты, оснащенные сверхтвердыми и керамическими материалами, и их применение: Справочник / *Жедь В.П., Боровский Г.В., Музыкант Я.А., Инполитов Г.М.* – М.: Машиностроение, 1987. – 320 с. 6. Инструменты из сверхтвердых материалов / под. ред. *Н.В. Новикова и С.А. Клименко.* – Изд. 2-е, перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 2014. – 608 с.: ил. 7. Полиморфные модификации углерода и нитрида бора: Справ. / *А.В. Курдюмов, В.Г. Малоголове, Н.В. Новиков и др.* – М.: Металлургия, 1994. – 318 с.

8. Рязанова-Хитровская Н.В. [Текст] / Некоторые пути повышения эффективности процесса алмазного выглаживания / *Пыжов И.Н., Рязанова-Хитровская Н.В., Крюкова Н.В.* // *Высокі технології в машинобудуванні: зб. наук. праць.* – Вип. 1. – Харків: НТУ «ХП», 2015. – с. 173-182.

Bibliography (transliterated): 1. Torbilo V.M. Almaznoe vyglazhivanie [Tekst]. – M.: Mashinostroenie, 1972. – 105 s. 2. Hrul'kov V.A., Golovan' A.Ja., Fedotov A.I. Almaznye instrumenty v precizionnom priborostroenii. – M.: Mashinostroenie, 1977. – 223 s. 3. Titov V.A., Titov A.V. Nekotorye perspektivnye napravlenija razvitiya processov vyglazhivaniya konstrukcionnyh materialov / *Visnik nacional'nogo tehničnogo universitetu «HPI»*. Zbirnik naukovih prac'. Tematičnij vipusk: Novi rishennja v suchasnih tehnologijah. – Harkiv: NTU «HPI» – 2009. – № 32. – S. 78-86. 4. Magazeev M.G. Povyšenie jeffektivnosti izgotovlenija profil'nyh instrumentov iz sverhtverdyh i keramičeskih materialov za schet sochetanija jelektroerozionnoj i almaznoj obrabotki: dis...kand. tehn. nauk: 05.03.01. – Har'kov, 1997. – 204 s. 5. Rezhushhie instrumenty, osnashennye sverhtverdymi i keramičeskimi materialami, i ih primenenie: Spravočnik / *Zhed' V.P., Borovskij G.V., Muzykant Ja.A., Ippolitov G.M.* – M.: Mashinostroenie, 1987. – 320s. 6. Instrumenty iz sverhtverdyh materialov / pod. red. N.V. Novikova i S.A. Klimenko. – Izd. 2-e, pererab. idop.—M.: Mashinostroenie, 2014. – 608 s.: il. 7. Polimorfnye modifikacii ugleroda i nitrida bora: Sprav. /*A.V. Kurdjumov, V.G. Malogolove, N.V. Novikov i dr.* – M.: Metalurgija, 1994. – 318 s. 8. Pyzhov I.N., Riazanova-Khytrovska N.V., Krjukova N.V. Nekotorye puti povyšeniya jeffektivnosti processa almaznogo vyglazhivaniya / *Visoki tehnologії v mashinobuduvanni: zb. nauk. prac'.* – Vip. 1. – Harkiv: NTU «HPI», 2015. – s. 173-182.