



КОМПЛЕКСЕН АНАЛИЗ, ОЦЕНЯВАЩ РАЗЛИЧНИТЕ ОСОБЕНОСТИ НА ДВА АБРАЗИВНИ МАТЕРИАЛА ПРИ ЕДНИ И СЪЩИ УСЛОВИЯ НА ШЛИФОВАНЕ

Николай Христов, Николай Тончев

n_d_hristov@abv.bg, tontchev@vtu.bg

Висше транспортно училище „Тодор Каблешков”

гр. София, ул. „Гео Милев“ № 158

РЕПУБЛИКА БЪЛГАРИЯ

Ключови думи: шлифване, технологични параметри, режим на шлифване, моделиране оптимизация.

Резюме: В статията е разглежда процес на шлифване при изследване на два абразивни материала, чрез методите на моделиране и оптимизация. Анализът е установил чрез сравнение, че и двата абразива при два еднакви технологични фактора (размер на зърното и компресия), се постига почти еднаква производителност при различни разходи на абразив, като е определена и конкретната себестойност. В статията са поместени различни производствени режими, ценни за практиката на използването на материалите, обект на изследване.

ВЪВЕДЕНИЕ

Основните резултати са от експериментални изследвания и оптимизиране на параметрите на искрово шлифване, базирано на въвеждането на допълнителна електрическа енергия в зоната на рязане под формата на електрически разряди, изследвано в [1]. Изследван е процесът на взаимодействие на състава „твърда сплав-стомана“, който включва традиционната твърда сплав, съдържаща волфрам Т15К6 и безволфрамова твърда сплав ТН-20. Изследванията са били проведени по схемата на еластично шлифване, което е направило възможно по-пълното разкриване на потенциала на абразивните инструменти в сравнение с процеса на шлифване по твърда схема [4].

Работният капацитет на шлифовъчните инструменти е оценен чрез производителността на обработката Q [mm^3/min], относителния разход на абразив q [mg/g] и специфичните разходи за обработка [$\text{€} \cdot 0.01/\text{cm}^3$]. Основният критерий за оптимизиране на производителността на инструментите е специфичната цена на обработката, която е най-обобщен показател за процеса на шлифване [2, 3].

1. ДЕФИНИРАНЕ НА ОБЕКТА И ЦЕЛТА НА ИЗСЛЕДВАНЕТО

Избраните изследвани абразивни материали са известни в машиностроителната практика. В табл.1 са посочени особеностите на химичния състав на компонентите на абразивите, а табл.2 показва основни свойства на сравняваните материали. От данните

посочени в табл.2 става ясно, че най-голямата разлика в свойствата е в плътността и коефициента на термично разширение.

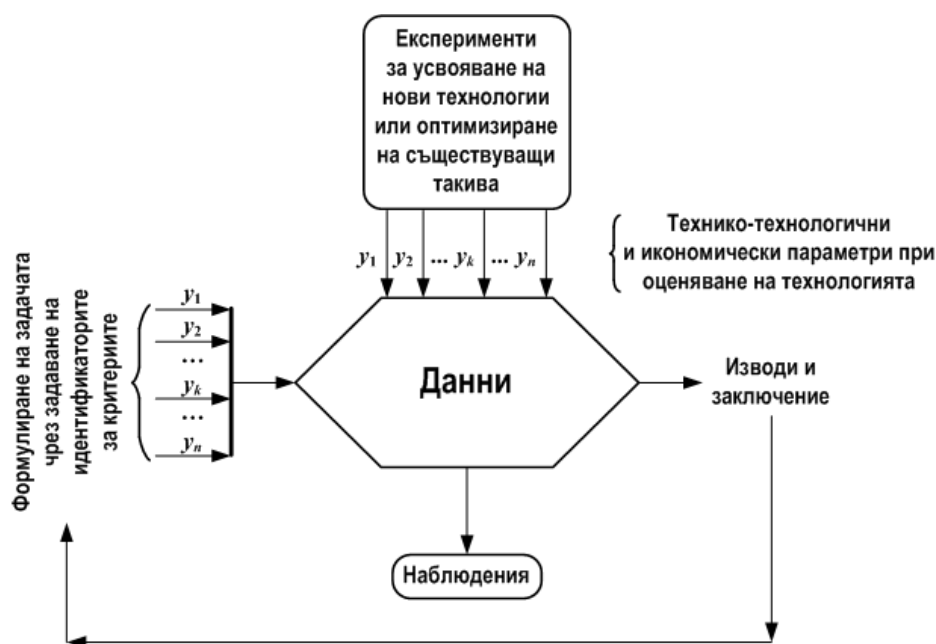
Таблица 1. Химичен състав на твърди сплави T15K6 и TH-20

	Съдържание на главните компоненти, %				
	WC	TiC	Co	Ni	Mo
TH-20	-	79	-	16	5
T15K6	79	15	6	-	-

Таблица 2. Механични свойства на твърди сплави T15K6 и TH-20

	Плътност $\times 10^{-3}$ kg/m ³	Гранична якост на огъване GPa	HRA	Модул на елас- тичността, GPa	Коеф. на термично разширение $\varepsilon \times 10^5$; ° ⁻¹
TH-20	5,5	1,1	91	413	7,1
T15K6	11÷11,6	1,15	90	500	5,9

Когато се сравняват два материала по отношение на един и същи процес по точно определени технико–икономически показатели, методиката на изпитването изисква параметрите за изпитване да са едни и същи. На фиг.1е дефинирана общата постановка на изпитването при сравняване на два или повече материала.



Фиг. 1. Обща постановка на експериментите при сравняването на два и повече материала

Търсенето на оптимални условия за искрово шлайфане на абразивите от двата материала се извършва чрез многофакторно планиране на експерименти от 2-ри ред. Тази техника позволява най-ефективното намиране на оптимални режими за управление на процеса на шлифоване с искра. В табл.3 са определени интервалите на вариране на управляващите параметри.

Сред плановете от 2-ри ред за експериментите е приет план, който е близък по свойства до *D*-оптималния и е обозначен като *B4*. Предимство на плана е възможността за различни фактори на целочислени нива.

Таблица 3. Интервали на вариране на управляващите параметри

Фактори	Налягане P, МПа	Скорост V, m/s	Размер на зърното z, μm	Концентрация K, %
Условно означаване на факторите	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄
Долно ниво (-)	0.4	20	40 (50/40)	50
Нулево ниво (0)	0.7	30	120 (100/80)	100
Горно ниво (+)	1.0	40	200 (160/125)	150
Стъпка	0.3	10	80	50

В табл. 4 е посочена базата от данни, получена от реализацията на този план. В изследователския процес такова свойство на плана позволява използването на стандартни стойности на размерите на зърната и концентрациите на шлифовъчните инструменти, което значително опростява определянето на оптималните характеристики на шлифовъчните абразиви. Производителността на шлифовъчните инструменти беше изследвана според план B4 с четири променливи фактора: $P(X_1)$, $V(X_2)$, $z(X_3)$, $K(X_4)$.

Таблица 4. План на експеримента и база от данни за осъществяване на изследването

№	X ₁ P	X ₂ V	X ₃ Z	X ₄ K	Производителност [mm ³ /min]		Относителна консумация на абразив [mg/g]		Цена [€цент/см ³]	
	[MPa]	[m/s]	μm	[%]	TН-20	T15K6	TН-20	T15K6	TН-20	T15K6
1	-1	-1	-1	-1	277	195	15.80	1.67	40.12	13.74
2	-1	-1	-1	1	310	255	21.81	5.14	27.24	13.95
3	-1	-1	1	-1	375	474	9.86	2.04	25.73	9.89
4	-1	-1	1	1	412	544	14.66	5.25	18.74	10.74
5	-1	1	-1	-1	289	169	7.00	1.70	21.00	15.26
6	-1	1	-1	1	293	174	6.41	4.36	12.16	16.41
7	-1	1	1	-1	365	230	4.16	1.82	13.56	13.39
8	-1	1	1	1	532	205	9.46	3.59	12.60	14.53
9	1	-1	-1	-1	464	605	15.85	2.06	37.73	9.13
10	1	-1	-1	1	392	459	7.02	5.79	11.27	12.16
11	1	-1	1	-1	520	1285	3.88	3.08	11.60	10.79
12	1	-1	1	1	675	1265	11.19	3.94	13.68	6.79
13	1	1	-1	-1	526	880	14.86	2.03	35.10	8.17
14	1	1	-1	1	383	723	3.62	4.53	8.02	10.13
15	1	1	1	-1	864	702	6.43	1.02	15.86	5.55
16	1	1	1	1	979	974	9.44	2.73	11.16	5.67
17	1	0	0	0	958	779	6.14	1.80	10.14	5.60
18	-1	0	0	0	735	370	6.28	2.43	11.05	9.10
19	0	1	0	0	530	574	7.42	1.91	12.75	6.45
20	0	-1	0	0	515	718	10.80	2.72	17.23	7.37
21	0	0	1	0	585	762	8.06	2.65	12.80	7.13
22	0	0	-1	0	462	414	12.17	4.75	18.65	12.90
23	0	0	0	1	603	763	6.51	4.09	9.03	8.30
24	0	0	0	-1	456	343	4.81	1.54	13.56	9.67

В общия случай реакционната повърхнина се описва с уравнение от втори ред. Коэффициентите на регресионното уравнение са изчислени с помощта на стандартна програма – „Dstat-16“. Коэффициентите за трите изследвани критерия по отделно за

двата материала са посочени в табл.5. Хипотезата за адекватност на модела беше тествана с помощта на критерия на Фишер. Стойността на критерия на Фишер $F_{изч}$, получена от уравнение въз основа на броя на експериментите и броя на коефициентите в модела, беше сравнена с табличната стойност $F_{табл}$, определена въз основа на същите параметри. Хипотезата за адекватност на модела от 2-ри порядък се счита за валидна, ако $F_{изч} < F_{табл}$. В противния случай моделът не е подходящ.

След намиране на адекватен модел на процеса абразивно искрово шлифване, анализиранието за по-ефективен материал може да бъде осъществено с DEFMOT.

Липсата на надеждни технологични препоръки за избор на оптимални характеристики на шлифовъчните инструменти и съответните им режими на работа при шлифване на състава „абразив – стомана“ намалява ефективността на употребата на инструментите, изработени от синтетични диаманти или други твърди абразиви върху метална връзка. По тази причина по-долу е направен пълен анализ на изследваните показатели от режима на обработване. Установените особености на взаимодействието на единични абразивни зърна с твърда сплав и състава „твърда легирана стомана“, както и установените основни физични закони, дават възможност за оптимизиране на работата на абразивните дискове при абразивно-искрово шлифване. Именно поради тази причина единствено за нагледност при работата с DEFMOT е прието да се изпълни процес, като се използват данни [2], табл. 25, на анализ в който логиката на пресмятанията следва от само себе си. Проследяването на този процес има и методически смисъл в обучението на ЛВР в работата му с DEFMOT при избора на ефективен материал или технологичен режим.

Табл. 5. Коефициентите на регресионните модели на изследваните величини за двата абразива.

Коеф. на целевите модели	ТН-20 – С45			Т15К6 – С 45		
	Производителност [mm ³ /min]	Относит. консумация на абразив [mg/g]	Цена [€цент/см ³]	Производителност [mm ³ /min]	Относит. консумация на абразив [mg/g]	Цена [€цент/см ³]
b₀	647.834	7.005	10.961	596.771	2.591	7.414
b₁	120.722	-0.945	-1.536	280.889	-0.057	-2.390
b₂	45.611	-2.338	-3.396	-64.944	-0.444	0.0556
b₃	106.167	-1.522	-4.198	142.611	-0.328	-1.521
b₄	24.611	0.415	-5.020	26.611	1.248	0.172
b₁₁	198.667	-0.795	-0.366	-22.271	-0.476	-0.0637
b₁₂	37.250	1.969	3.023	22.188	-0.121	-1.289
b₁₃	47.375	0.154	-0.621	56.188	-0.217	0.00125
b₁₄	-11.625	-1.579	-1.656	-10.063	-0.144	-0.140
b₂₂	-125.333	2.115	4.029	49.229	-0.276	-0.504
b₂₃	44.375	1.156	1.469	-118.063	-0.194	-0.00375
b₂₄	-0.625	-0.801	0.167	8.187	-0.164	0.268
b₃₃	-124.333	3.110	4.764	-8.771	1.109	2.601
b₃₄	40.750	2.192	4.043	33.438	-0.301	-0.515
b₄₄	-118.333	-1.345	0.334	-43.771	0.224	1.571
R	0.978	0.940	0.963	0.959	0.970	0.960
F_{изч}	13.981	4.912	8.122	7.406	10.333	7.575
F_{табл} 0.05, 14, 9	3.028	3.028	3.028	3.028	3.028	3.028

2. РЕШЕНИЕ НА ДЕФИНИРАНИЯ ПРОБЛЕМ С ПОМОЩТА НА DEFMOT

В този подраздел ще се разгледа влиянието на промяната в режимите на шлифване позволяващи по-рационално използване на технологичните възможности на оборудването при отчитане особеността на изпитвания материал за дадена производителност при минимална единична цена на обработката. Изследването е графично онагледено. Сравняването на получените изображения за различните изследвани показатели и материали позволява да се осъществи оценка на ефекта от нормалното налягане, скоростта на рязане и зърнистостта върху производителността и единичната цена на обработката.

От предходното изследване [2] са осъществени следните основни изводи, които се потвърдиха и при анализа с DEFMOT:

- Увеличаването на нормалното налягане води до увеличаване на производителността, защото дълбочината на проникване на абразивните зърна в обработвания материал се увеличава;
- Увеличаването на производителността води до намаляване на единичната цена, защото скоростта на отстраняване на материала изпреварва увеличаването на износването на абразивните инструменти;
- Увеличаването на скоростта на рязане намалява производителността на обработката и леко увеличава единичната цена на обработката;
- Намаляването на производителността на искрово-абразивното шлифване при увеличаване на скоростта на рязане води до увеличаване на единичната цена на обработката.

Конкретните резултати от прилагането на оптимизационния подход, „Определяне чрез преместване“ DEFMOT са посочени в таблиците поместените по-долу.

Таблица 6. Екстремни значения за производителността.

Екстремни значения за производителност на процеса на шлифване Състав ТН-20 – С45					Екстремни значения за производителност на процеса на шлифване Състав Т15К6 – С45				
Q [mm ³ /min]	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	Q [mm ³ /min]	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄
Max 1042.59	1	0.5	0.75	0.25	Max 1265.42	1	-1	1	0.5
Min 541.03	-0.25	1	0	0	Min 93.23	-1	1	1	-1

Таблица 7. Екстремни стойности на относителния разход на абразив.

Екстремни стойности на относителния разход на абразив при процеса на шлифване: Състав ТН20– С 45					Екстремни стойности на относителния разход на абразив при процеса на шлифване: Състав Т15К6 – С 45				
q[mg/g]	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	q[mg/g]	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄
Max 19.58	-1	-1	-1	0.25	Max 5.96	0	-0.75	-1	1
Min- 1.65	-1	0.75	0.5	-1	Min 0.46	1	1	0.25	-1

Доказано е логичното обяснение, че максималната производителност е свързана с максималното притискане на диска към детайла и максималния размер на зърната на абразива. Особеността на този абразив е, че той изисква по-високи скорости на обработка.

Тук отново присъства логичното потвърждение, че максималната производителност е свързана с максималното притискане на диска към детайла и максималния размер на зърното.

И в двата абразива неговата концентрация по производителност има приблизително еднакви стойности.

Дефиницията на компромисния проблем има смисъл в този анализ, тъй като така дефинираният комплекс не е свързан с крайните гранични стойности на всички параметри. Само стойностите по отношение на налягането и концентрацията са ограничени.

Таблица 8. Режими с относително най-висока производителност, най-нисък разход на абразив и най-ниска цена за състав Т15К6 – С45

Т15Н6	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄
Q 77.93% 1006.74	1	-1	0.25	-0.5
q 24.15% 1.79				
C 21.18% 6.04				

Решението на компромисния проблем по отношение на Т15К6 е пълно съответствие между налягането на компресия и размера на зърното и разлика в другите два параметъра, концентрация и скорост.

3. РЕЗУЛТАТИ ОТ СРАВНЯВАНЕТО

За един и същ технологичен процес (шлифоване) при изследване на два абразивни материала, анализът установи чрез сравнение, че и двата абразива имат два еднакви технологични фактора (размер на зърното и компресия), но почти еднаква производителност се постига при различни разходи, като безволфрамовият материал ТН-20 е 35% по-евтин. Въпреки това, анализът на изследването показва, че ТН-20 при тези производствени режими поради свойствата на материалите се изразходва с приблизително 44% повече.

На основата на този анализ технологът установи, че по-малко известният материал ТН-20 може напълно да замени Т15К6 и препоръчва на Техническия експертен съвет два специфични конкурентни режима за двата материала.

Това са всички стъпки, които технологът или вземащият решения трябва да предприемат, преди да направят заключение.

ЛИТЕРАТУРА:

- [1]. Беззубенко Н. К., К вопросу выбора режима работы режущих зерен при алмазно-искровом шлифовании, Резание и инструмент., 1979, Вып. 22 с 3-6.
- [2]. Узунян М. Д., Краснощек Ю. С., Высокопроизводительное шлифование безвольфрамовых твёрдых сплавов, Москва, "Машиностроение", 1988 год, 80 стр.
- [3]. Семко М. Ф., Узунян М. Д., Краснощек Ю. С. Алмазно-искровое шлифование безвольфрамовых твердых сплавов. Сверхтвердые материалы, 1980, № I, с.12-14
- [4]. Синтетические алмазы в машиностроении / Под ред. В. Н. Бакуля. – Киев, Наукова думка, 1976

A COMPLEX ANALYSIS EVALUATING THE DIFFERENT CHARACTERISTICS OF TWO ABRASIVE MATERIALS UNDER THE SAME GRINDING CONDITIONS

Nikolay Hristov, Nikolay Tontchev
n_d_hristov@abv.bg, tontchev@vtu.bg

*Todor Kableshkov University of Transport,
1574 Sofia, 158 Geo Milev Str.
THE REPUBLIC OF BULGARIA*

Key words: *grinding, technological parameters, grinding regime, modeling, optimization*

Abstract: *The article examines the grinding process in the study of two abrasive materials, using modeling and optimization methods. The analysis has found by comparison that both abrasives with two identical technological factors (grain size and compression) achieve almost the same performance at different abrasive costs, and the specific cost is also determined. The article contains various production regimes, valuable for the practice of using the materials under study.*