



**ЕДНООПЕРАЦИОННА ДВУПРЕХОДНА ТЕХНОЛОГИЯ ЗА ДОВЪРШВАЩО
ОБРАБОТВАНЕ НА ОТВОРИ В МАТЕРИАЛ АЛУМИНИЕВА СПЛАВ 2024-T3
ЧАСТ 1: МОДЕЛИРАНЕ НА ПОЛУЧЕНАТА ГРАПАВОСТ**

**ONE-OPERATIONAL TWO - STAGE TECHNOLOGY FOR FINISHING OF HOLES IN
ALUMINUM ALLOY 2024-T3
PART 1: ROUGHNESS MODELLING**

Иван Амуджев*
ТУ-Габрово

Статията е постъпила на 10 май 2016 г.; приета за отпечатване на 09 юни 2016 г.

Abstract

The article presents the outcomes for the roughness and micro-hardness obtained the finishing of holes in aluminum alloy 2024-T3 using one-operational two-stage technology. During the first stage the hole is trilled and reamed by means of specially designed tool. During the second stage the is slide burnished through slid diamond burnishing tool with bilateral action. The study have been carried out on HAAS Mini Mill machining centre.

Keywords: slide diamond burnishing; roughness; micro-hardness.

1. ВЪВЕДЕНИЕ

Конструкционните елементи с отвори обикновено са подложени на динамични натоварвания, което определя умората на материала като лимитиращ фактор за тяхната надеждност и сигурност. В други случаи работоспособността им се определя от тяхната износоустойчивост. И при двата случая от решаващо значение е състоянието на повърхностния слой на отворите.

Качеството на повърхностния слой определя експлоатационните им свойства- износоустойчивост, якост на умора, корозионна устойчивост и неподатливост на контакта. Те от своя страна са от решаващо значение за работоспособността и сигурността на конструкционните елементи. За конкретен материал качеството на повърхностния слой зависи най-вече от технологичния процес на изработване – чрез рязане или повърхностно пластично деформиране (ППД). Предимствата на ППД са установени от много автори [1÷ 5]. При използването му се постига повишена твърдост, по- голяма дълбочина на уякчения слой и остатъчни напрежения на натиск.

Основната цел на обработката е да се променят физико- механичните характеристики на основния материал или на повърхностните слоеве. Механизмът за постигане на тази промяна се състои в изменение на микроструктурата на материала, като се цели тя да бъде издробенена. Количествения критерий за това са размерите на зърната след модифициране, които не трябва да превишават от 20÷ 50µm. Постигането на целта може да се опъществи чрез използване на някои от методите, реализиращи т.нар „микро-подход“ [6]. Такъв се явява методът „диамантно заглаждане“. Публикувани са доста изследвания на метода [7÷ 11]. Прилага се в САЩ, Русия, Япония и др. страни, но проучванията показват, че

е намерил по-голямо приложение за обработване на външни цилиндрични повърхнини. Това най-вероятно се дължи на факта, че за обработване на отвори е необходимо да се конструират специални устройства, в които деформиращия диамантен инструмент да е установен еластично. Предимствата на деформиращият елемент (диамант) е много малкия коефициент на триене с металната заготовка - 0,02÷ 0,08 [12]. Освен това трайността му е много голяма. Според [8] достига до 100000m при обработване на високояки стомани. Логично е да се предполага, че тя ще нарастне значително при обработване на алуминиеви сплави.

Като кинематика при обработване на отвори диамантното заглаждане е подобно на разстъргване с борщанга, но инструмента има деформиращ край, най- често от изкуствен диамант, който обикновено е сферичен. При контакт със заготовката диамантният деформиращ елемент причинява пластично деформиране на повърхностния слой, като заглажда неравностите от предходната обработка и реализира всички познати ефекти на ППД.

2. ТЕХНОЛОГИЯ ЗА ОБРАБОТВАНЕ

Технологичният процес за обработване се състои от една операция и два прехода. При първият преход се оформя предварителния отвор чрез специален инструмент (фиг. 1). Последователно се пробива и разстъргва отвора и се изработва фаска, необходима за плавно навлизане на инструмента за довършващо обработване. При вторият преход се осъществява диамантно заглаждане на отвора посредством специално конструиран инструмент с два деформиращи елемента установени еластично (фиг. 2). Параметрите на процеса при първия

* Тел.:066 827 398; e-mail: ivan1703@abv.bg

преход (честота на въртене и подаване) осигуряват минимална грапавост на предварителния отвор. При вторият преход управляващите фактори (радиус на закръгление, сила на притискане и подаване) осигуряват минимална грапавост на окончателно обработения отвор.



Фиг. 1



Фиг. 2

Обработваните образци са тип „диск“ с диаметър 52mm и дебелина 16mm (фиг. 3). Експериментът е проведен в Лаборатория „CNC оборудване и технологии“ на ТУ- Габрово върху обработващ център Haas Mini Mill (фиг. 4).



Фиг. 3



Фиг. 4

Получената грапавост е измерена с уред Mitutoyo surftest- 4, като за всеки образец е взета осреднената стойност на измерената грапавост по три образувачи на отвора, разположени под 120°С. Диаметрите на отворите и отклонението от кръглост са измерени на трикоординатна измервателна машина “Haberlink” в централна измервателна лаборатория на „Импулс“ АД гр. Габрово.

2.1 Оптимизиране на обработването чрез рязане

2.1.1 Цел на изследването

Основната цел се състои в определяне на технологичните параметри, при които ще се получи минимална грапавост. Освен това се прави оценка на точността на получения отвор, като се контролират диаметъра на отвора d и отклонението от кръглост Δ , съответно на входа и изхода.

2.1.2 Експериментален план

Управляващите фактори и нивата на вариране са показани в табл.1.

Управляващи фактори и нива Таблица 1

Управляващи фактори	Кодирани	Нива на вариране		
		-1	0	1
Подаване $f, \text{mm/rev}$	x_1	0,05	0,1	0,15
Честота на въртене n, rpm	x_2	2000	2500	3000

Избран е оптимален композиционен план от втори ред (табл. 2), като целевата функция е получаваната грапавост R_a .

Оптимален композиционен план Таблица 2

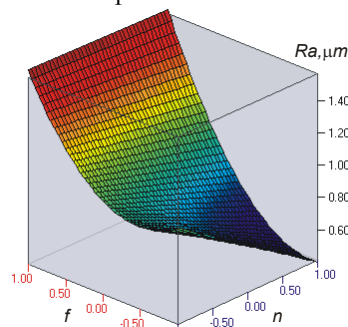
№	x_1	x_2	d, mm вход	d, mm изход	Δ, mm вход	Δ, mm изход	$R_a, \mu\text{m}$
1	-1	-1	33,202	33,208	0,004	0,002	1,16
2	-1	0	33,195	33,210	0,004	0,007	0,79
3	-1	+1	33,199	33,206	0,003	0,006	1,50
4	0	-1	33,195	33,207	0,006	0,005	0,53
5	0	0	33,200	33,210	0,006	0,001	0,95
6	0	+1	33,193	33,205	0,002	0,000	1,81
7	+1	-1	33,202	33,215	0,006	0,001	0,44
8	+1	0	33,199	33,206	0,005	0,001	0,73
9	+1	+1	33,195	33,203	0,003	0,005	1,34

2.1.3 Обработване на получените резултати

Резултатите са обработени посредством QStatLab и са получени регресионни модели за грапавостта в кодираните координати:

$$Ra = 0,823 + 0,420x_1 - 0,157x_2 + 0,307x_1^2 + 0,140x_1x_2$$

Графичната интерпретация на зависимостта $Ra = Ra(f, n)$ е показана на фиг.5.



Фиг. 5

Посредством сканиране на факторното пространство с QStatLab са намерени технологичните параметри, осигуряващи минимална грапавост $Ra=0,4\mu\text{m}$; $f=0,05\text{mm/tr}$ и $n=3000\text{rpm}$. Стойностите на измерените диаметри и отклонението са показани в табл. 2, като може да се направи извода, че е осигурено постоянство на размерите и отклонения, които нямат никакво практическо влияние върху последващата обработка.

2.2 Моделиране на грапавостта след диамантно заглаждане

2.2.1 Цел на изследването

Целта е да се определят параметрите на процеса, осигуряващи минимална грапавост на обработваните чрез диамантно заглаждане отвори.

2.2.2 Експериментален план

Управляващите фактори са: радиуса на деформиращия инструмент r, mm , силата на притискане F_b, N и подаването $f, \text{mm/rev}$, като нивата им на вариране са показани в табл. 3. По априорна информация честотата на въртене е приета за $n=1000\text{rpm}$. Целевата функция е получаваната грапавост по критерий R_a .

Управляващи фактори и нива Таблица 3

Управляващи фактори	Нива на факторите		
	-1	0	+1
Радиус <i>r, mm</i>	3	4	5
Сила на притискане <i>Fb, N</i>	100	200	300
Подаване <i>f, mm</i>	0,05	0,10	0,15

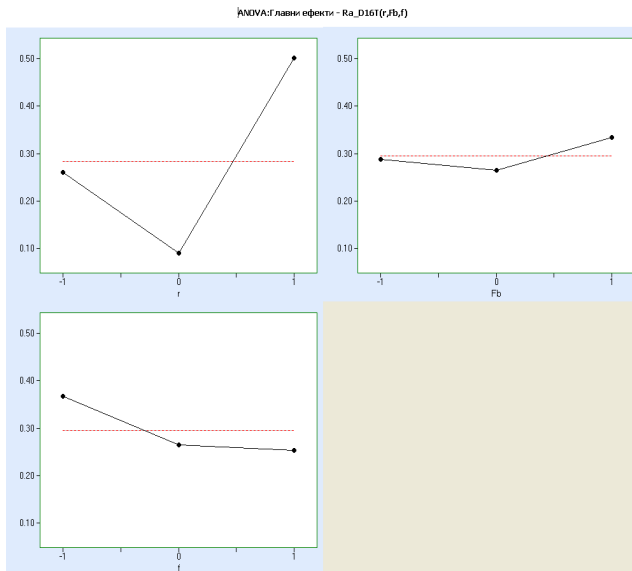
Оптимален композиционен план Таблица 4

№	Радиус		Сила		Подаване		Грапавост <i>Ra, μm</i>
	Кодиран	Натурален	Кодиран	Натурален	Кодиран	Натурален	
	x_1	<i>r, mm</i>	x_2	<i>Fb, N</i>	x_3	<i>f, mm/tr</i>	
1	-1	3	-1	100	-1	0,05	0,22
2	+1	5	-1	100	-1	0,05	0,48
3	-1	3	+1	300	-1	0,05	0,41
4	+1	5	+1	300	-1	0,05	1,05
5	-1	3	-1	100	+1	0,15	0,20
6	+1	5	-1	100	+1	0,15	0,43
7	-1	3	+1	300	+1	0,15	0,16
8	+1	5	+1	300	+1	0,15	0,38
9	-1	3	0	200	0	0,10	0,31
10	+1	5	0	200	0	0,10	0,67
11	0	4	-1	100	0	0,10	0,21
12	0	4	+1	300	0	0,10	0,07
13	0	4	0	200	-1	0,05	0,08
14	0	4	0	200	+1	0,15	0,10

Избран е оптимален композиционен план, показан в табл. 4.

2.2.3 Дисперсионен анализ

За оценяване значимостта на факторите е проведен дисперсионен анализ ANOVA. Диаграмите на получените резултати са показани на фиг. 6.



Фиг. 6

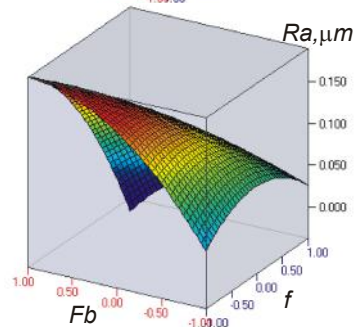
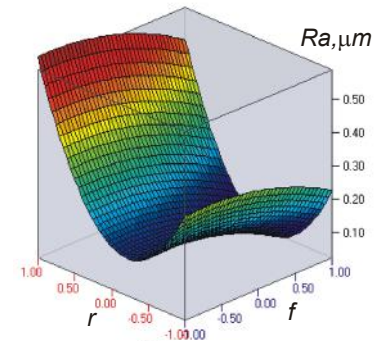
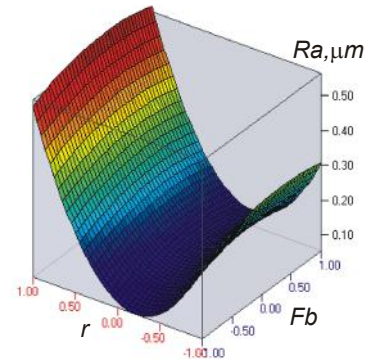
Очевидно е, че най-значим фактор е радиуса на закръгление на диаманта *r*. Останалите два фактора оказват по-малко влияние върху получената грапавост, но би било целесъобразно да се подберат подходящите стойности.

2.2.4 Регресионен модел и оптимални параметри

Получените резултати от измерената грапавост са обработени посредством QStatLab и е получен регресионен модел за грапавостта в кодирани координати:

$$Ra = 0,127 + 0,121x_1 + 0,023x_2 - 0,057x_3 + 0,313x_1^2 - 0,037x_2^2 - 0,037x_3^2 - 0,006x_1x_2 - 0,056x_2x_3 - 0,004x_1x_3$$

Графичните интерпретации на зависимостта $Ra = Ra(r, Fb, f)$ са показани на фиг. 7.



Фиг. 7

От направените анализи може да се направи извода, че за получаване на минимална грапавост радиуса на закръгление трябва да бъде $r = 4\text{mm}$, силата на притискане $F_b = 200\text{N}$, а подаването $f = 0,15\text{mm/rev}$.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] P. Sartkulvanich, T. Altan, F. Jasso, C. Rodriguez, Finite element modeling of hard roller burnishing: an analysis of the effects of process parameters upon surface finish and residual stresses. *Journal of Manufacturing Science and Engineering* 129 (4) (2007) 705-716.
- [2] M. H. El – Axir. An investigation into roller burnishing. *International Journal of Machine Tools and Manufacture* 40 (11) (2000) 1603-1617.
- [3] P. Jujerm, I. Altenberger. Fatigue performance enhancement. *Journal of Metals, Materials and Minerals* 17 (1) (2007) 59-65.
- [4] F. Klocke, J. Liermann. Roller burnishing of hard turned surfaces, *International Journal of Machine Tools and Manufacture* 38 (5-6) (1998) 419-423.
- [5] J. T. Maximov, T. Kuzmanov, G. V. Duncheva, N. Ganev. Spherical motion burnishing implemented on lathes. *International Journal of Machine Tools and Manufacture* 49 (11) (2009) 824-831.
- [6] Дунчева Г. В. Систематизиране на подходите за повишаване на уморната дълготрайност на метални конструкционни елементи с отвори. Част 2: Микро-подход. *Известия на ТУ-Габрово* (51) (2015) 32-37.
- [7] Aliev K. T., Aslanov T. I. The influence of diamond burnishing on the fatigue strength and wear resistance of the shafts of petroleum chains. *Chemical and Petroleum Engineering* 15 (6) (1979) 459 - 461.
- [8] Яценко В. К., Г. Зайцев, В. Ф. Притченко, Л. И. Ивченко. Повышение несущей способности деталей машин алмазным выглаживанием. М., Машиностроение (1985).
- [9] Luo H., Liu J., Wang L., Zhong Q. Study of the burnishing process with cylindrical polycrystalline diamond tool. *Journal of Materials Processing Technology* 180 (2006) 9-16.
- [10] Korzynski M., Pacana A., Cwanek J. Fatigue strength of chromium coated elements and possibility of its improvement with slide diamond burnishing, *Surface and Coatings Technology* 203 (2009) 1670-1676.
- [11] Korzynski M., Lubas J., Swirad S., Dudek K. Surface layer characteristics due to slide diamond burnishing with a cylindrical-ended tool. *Journal of Materials Processing Technology* 211 (2011) 84-94.
- [12] Korzynski M. Slide diamond burnishing. In: *Nonconventional Finishing Technologies*. Edited by Korzynski M. Polish Scientific publishers PWN, Warsaw, 2013.