



**МОДЕЛИРАНЕ НА ПОЛУЧАВАНАТА ГРАПАВОСТ ПРИ ОБРАБОТВАНЕ НА
НАСТАВОВИ ОТВОРИ ВЪРХУ ВЕРТИКАЛЕН МАШИНЕН ЦЕНТЪР**

**MODELING THE ROUGHNESS OBTAINED OF RAIL-END-BOLT HOLES PROCESSED ON
VERTICAL MACHINING CENTRE**

А. П. Анчев*

Технически Университет - Габрово

В. Т. Кузманов

Технически Университет - Габрово

И. М. Амуджев

Технически Университет - Габрово

Статията е постъпила на 30 юни 2015 г.; приета за отпечатване на 08 юли 2015 г.

Abstract

This article presents the outcomes from experimental investigation of the roughness obtained of rail-end-bolt holes, processed on vertical machining center from the type RV. Firstly, the opening is formed through cutting by means of a special combined tool. Then the hole is subjected to slide diamond burnishing through a special device with bilateral action. The study has been conducted through planned experiments. Firstly, a mathematical model of the roughness obtained from the first operation (cutting) is obtained. On this basis, the optimal manufacturing parameters – feed rate and speed - are obtained. These parameters ensure minimum initial roughness before diamond burnishing. After that a mathematical model of the roughness is obtained after diamond burnishing. The governing factors are: diamond spherical tip radius, burnishing force, feed rate and burnishing speed. It is established that the first two factors are crucial for the roughness obtained, while the latter two factors have a negligible effect.

Keywords: rail-end-bolt holes, slide diamond burnishing, roughness.

ВЪВЕДЕНИЕ

Железопътният транспорт придобива все по-голямо значение в развитието на съвременния транспорт, като пряко следствие от енергийната и екологична кризи. В този аспект изследванията, насочени към по-висока сигурност, дълготрайност и икономичност на елементите, изграждащи железните пътища стават все по-актуални. Изграждането на високоскоростни железопътни линии е свързано с така наречените непрекъснато заварени релси. Въпреки това, наставовите пътища не могат да бъдат премахнати на 100% - в условията на пресечени местности и криволинейни трасета те нямат алтернатива. В България, например, наставовите пътища са 64,4% от железопътната мрежа и цялостната им разгъната дължина е 4760 km [1]. При равни други условия, надеждността, срока на експлоатация, както и дейностите по поддръжка и ремонт се определят от състоянието на елементите, от които се състои наставовия възел. Елементите в наставовия възел са подложени на циклични и ударни натоварвания вследствие от преминаване на подвижния железопътен състав [2]. Динамичният характер на натоварване причинява умора на материала в елементите на наставовия възел, респ. провокира възникване и развитие на уморни пукнатини – най-вече около наставовите отвори, които са естествени концентратори на напрежения. Уморното разрушение около наставовите отвори в краищата на релсите е особено опасно, тъй като довежда до дерайлиране на влакови

композиции, и следователно до неизбежни катастрофи. И докато експлоатацията на железните пътища може да продължи при наличие на дефекти в главите на релсите, счупването на релсовите краища директно застрашава сигурността на този вид транспорт. Следователно, уморното разрушение около наставовите отвори има лимитиращо значение за сигурността на железопътния транспорт, срока на експлоатацията и дейностите за поддръжка и ремонт на наставовите железни пътища. В класификатора на дефекти, разработен от Националната компания железопътна инфраструктура (НКЖИ), този дефект фигурира под номер 513, съгласно означението на РЖД (Руски железници).

По данни на НКЖИ през периода 2006-2010 г. в България са регистрирани неизправности в наставови възли както следва:

- неизправности в областта на наставите – 440 бр. през 2010 г.; 700 бр. през 2009 г.; 476 бр. през 2008 г.; 1085 бр. през 2007 г.; 968 през 2006 г.;
- от тях, най-често срещаната неизправност (пукнатини и счупвания в зоната на връзките - №53 по РЖД и №135 по УИС) – 278 бр. през 2010 г.; 364 бр. през 2009 г.; 288 бр. през 2008 г.; 255 бр. през 2007 г.; 410 през 2006 г.

По данни на Транспортното министерство на САЩ през периода 1982-1988 г 30% от общия дял на катастрофите поради неизправност на железните пътища се заема от счупени краища на релси през болтовите отво-

ри. По данни на Управлението на Британските железници, този дял е 25% за периода 1980-1990 г. Тези данни са изнесени от Лен Рейд, вицепрезидент на Fatigue Technology Inc. [3].

За преодоляване на проблема с уморното разрушение на краищата на железопътни релси, стартиращо от болтовите (наставови) отвори, в [4] беше предложено решение за случаите, когато наставовите отвори се обработват върху вертикален машинен център от типа РВ, както е случая с ФАЕ София. Разработената еднооперационна двупреходна технология включва диамантното заглаждане като втори преход, реализиран чрез специално устройство с двустранно действие.

В настоящата работа са показани резултатите от изследване на получаваната грапавост на наставовите отвори, обработвани върху вертикален машинен център. Получени са оптимални технологични параметри, които минимизират грапавостта по критерий Ra и същевременно осигуряват максимална производителност.

2. ТЕХНОЛОГИЯ ЗА ОБРАБОТВАНЕ НА НАСТАВОВИ ОТВОРИ ВЪРХУ ОБРАБОТВАЩ ЦЕНТЪР



Фиг. 1. Комбиниран инструмент за рязане



Фиг. 2. Устройство за диамантно заглаждане с двустранно действие

Технологичния процес за обработване на наставовия отвор включва една операция от два последователни прехода: първият е формиране на отвора чрез свредловане, райбероване и изработване на фаска посредством новия комбиниран инструмент (фиг. 1); вторият преход е диамантно заглаждане с устройството от фиг. 2. Технологичните параметри (подаване и честота на въртене) на първия преход осигуряват получаване на минимална грапавост на повърхнината на отвора преди диамантно заглаждане. Управляващите фактори при втория преход (радиус на закръгление на диамантния връх; сила на притискане; подаване; честота на въртене) осигуряват получаване на минимална грапавост на повърхнината на отвора.

Образците са тип „диск“ с диаметър 100mm и дебелина 17mm и са от стомана 76. Експериментът е проведен в Импулс АД Габрово върху вертикален машинен център MAZAK 500-II.

Получената грапавост на отворите беше измерена чрез Mitutoyo surftest-4 уред, като за всеки образец беше получена като средно аритметично от измерената

грапавост по три образуващи на отвора, разположени под 120°.

2.1. ОПТИМИЗИРАНЕ НА ОБРАБОТВАНЕТО ЧРЕЗ РЯЗАНЕ

2.1.1. Цел на изследването

Целите са две: 1). определяне на комбинацията от технологични параметри, при която се получава минимална грапавост на отвора след рязане; 2). Оценка на точността на получавания чрез рязане отвор – среден диаметър d и отклонение Δ , съответно на входа и на изхода на отвора.

2.1.2. Експериментален план

Управляващите фактори и техните нива са показани в табл. 1. Оптимален композиционен план от втори ред е избран (табл. 2). Целевата функция е получаваната грапавост по критерий Ra.

Управляващи фактори		Управляващи фактори и нива		
		Таблица 1		
		Нива на факторите		
		-1	0	+1
Подаване, $f, mm/rev$	x_1	0.	0.	0.
		08	15	22
Честота на въртене, n, rpm	x_2	80	11	14
		0	00	00

Оптимален композиционен план						Таблица 2	
№	x_1	x_2	d, mm		Δ, mm		$Ra, \mu m$
			вход	изход	вход	изход	
1	-1	-1	33,366	33,365	0,011	0,013	4,64
2	-1	0	33,366	33,372	0,007	0,02	1,15
3	-1	+1	33,361	33,367	0,006	0,022	1,11
4	0	-1	33,362	33,354	0,009	0,013	3,47
5	0	0	33,354	33,361	0,006	0,015	1,29
6	0	+1	33,361	33,355	0,008	0,004	1,38
7	+1	-1	33,409	33,361	0,004	0,021	2,72
8	+1	0	33,353	33,362	0,005	0,011	2,09
9	+1	+1	33,355	33,366	0,007	0,021	1,96

2.1.3. Регресионен модел и оптимални параметри

Резултатите са обработени посредством QstatLab и са получени следните регресионни модели за грапавостта:

- в кодирани координати:

$$Ra = 1.356 + 0.47x_1 - 1.063x_2 + 0.232x_1^2 + 1.037x_2^2 + 0.693x_1x_2 - 0.738x_1x_2^2$$

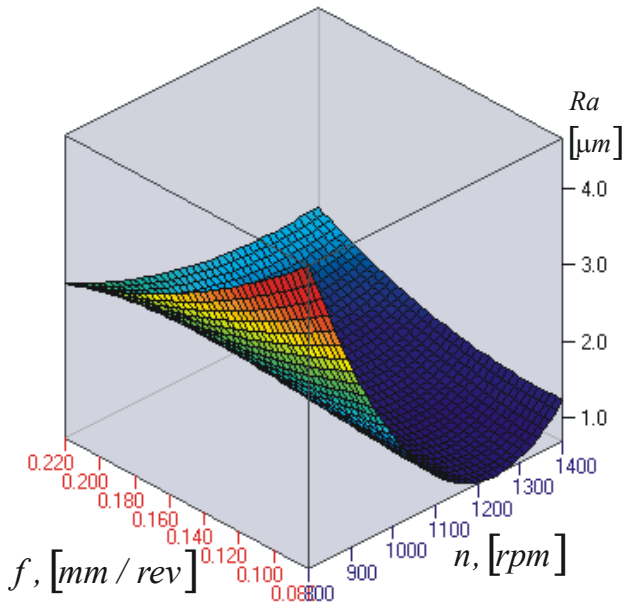
- в натурални координати:

$$Ra = 45.937 - 185.39f - 0.072n + 47.279f^2 + 0.000n^2 + 0.291fn - 0.000fn^2$$

Графичният вид на зависимостта $Ra = Ra(f, n)$ е показан на фиг. 3.

Посредством сканиране на факторното пространство посредством QstatLab са намерени оптималните технологични параметри на първия преход (рязане) - $f = 0.08mm/rev$, $n = 1250rpm$, осигуряващи грапавост $Ra = 0.8\mu$.

Диаметрите на обработените чрез рязане отвори са измерени на трикоординатна измерителна машина Aberlink (виж табл. 2). Осигурено е стабилно постоянство на диаметралния среден размер и отклонения, които нямат никакво практическо значение за следващия преход диамантно заглаждане.



Фиг. 3. Графичен вид на зависимостта $Ra = Ra(f, n)$

2.2.1. Цел на изследването

Целта е да се намерят оптималните параметри на процеса диамантно заглаждане, които осигуряват получаване на минимална грапавост на повърхността на обработените наставови отвори.

2.2.2. Експериментален план

Управляващите фактори и техните нива са показани в табл. 3. Оптимален композиционен план от втори ред е избран (табл. 4). Целевата функция е получаваната грапавост по критерий Ra .

Управляващи фактори и нива		Таблица 3		
		Нива на факторите		
Управляващи фактори		-1	0	+1
Радиус, r , mm	x_1	1	3	5
Сила на притискане, F_b , N	x_2	100	300	500
Подаване, f , mm/rev	x_3	0.04	0.12	0.2
Честота на въртене, n , rpm	x_4	800	1100	1400

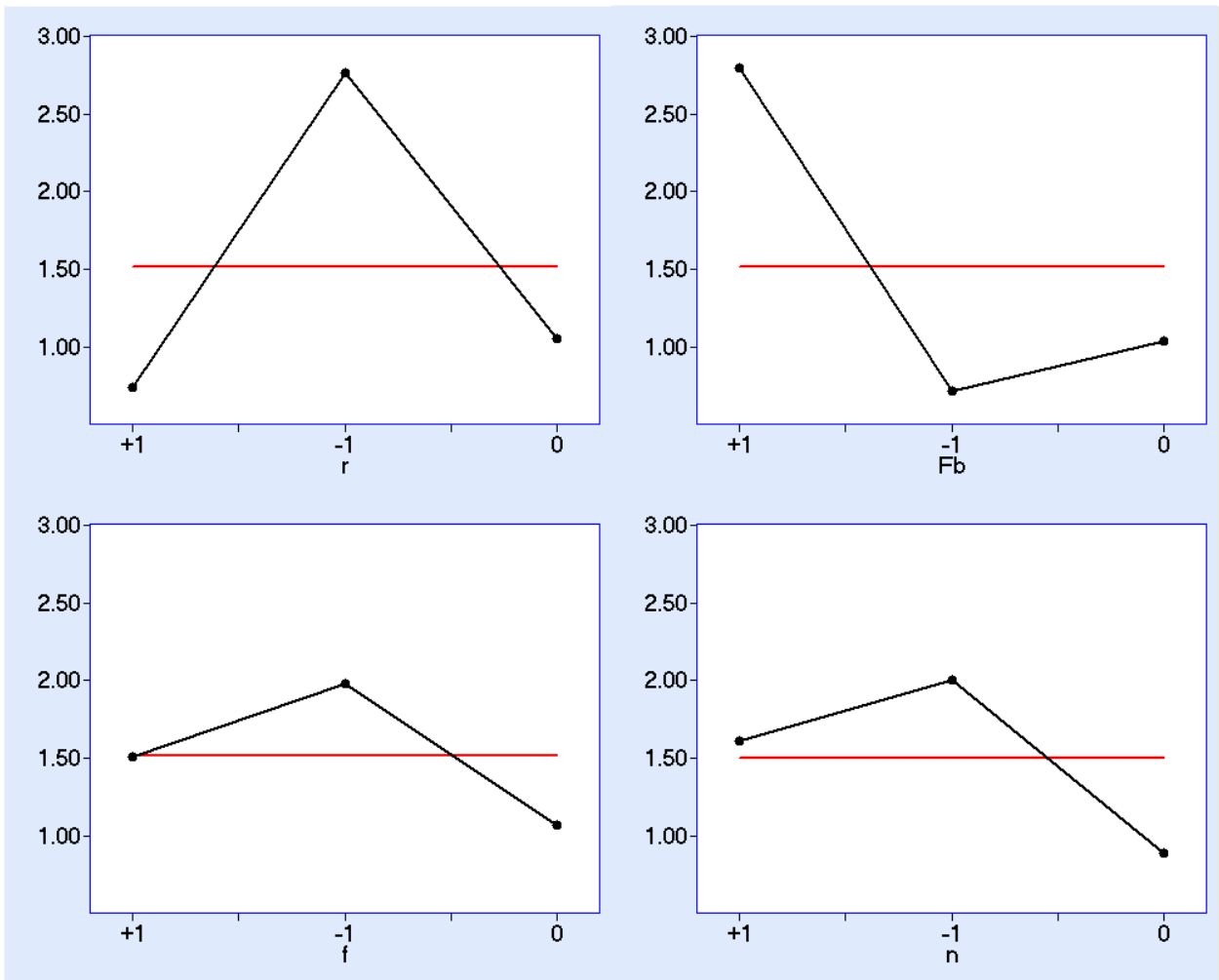
2.2. МОДЕЛИРАНЕ НА ГРАПАВОСТТА СЛЕД ДИАМАНТНО ЗАГЛАЖДАНЕ

Оптимален композиционен план

Таблица 4

№	радиус		сила		подаване		честота		грапавост Ra	
	код.	нат.	код.	нат.	код.	нат.	код.	нат.	начална \approx	получена
	x_1	r Mm	x_2	F_b N	x_3	f mm/об	x_4	n об/min	μm	μm
1	-1	1	-1	100	-1	0.04	-1	800		1.54
2	+1	5	-1	100	-1	0.04	-1	800		0.33
3	-1	1	+1	500	-1	0.04	-1	800		5.29
4	+1	5	+1	500	-1	0.04	-1	800		1.31
5	-1	1	-1	100	+1	0.2	-1	800		1.08
6	+1	5	-1	100	+1	0.2	-1	800		0.34
7	-1	1	+1	500	+1	0.2	-1	800		5.77
8	+1	5	+1	500	+1	0.2	-1	800		0.97
9	-1	1	-1	100	-1	0.04	+1	1400		0.67
10	+1	5	-1	100	-1	0.04	+1	1400		0.31
11	-1	1	+1	500	-1	0.04	+1	1400		8.09
12	+1	5	+1	500	-1	0.04	+1	1400		1.10
13	-1	1	-1	100	+1	0.2	+1	1400	1.8	0.72
14	+1	5	-1	100	+1	0.2	+1	1400		0.72
15	-1	1	+1	500	+1	0.2	+1	1400		2.10
16	+1	5	+1	500	+1	0.2	+1	1400		1.23
17	-1	1	0	300	0	0.12	0	1100		1.42
18	+1	5	0	300	0	0.12	0	1100		0.36
19	0	3	-1	100	0	0.12	0	1100		0.70
20	0	3	+1	500	0	0.12	0	1100		1.16
21	0	3	0	300	-1	0.04	0	1100		1.03
22	0	3	0	300	+1	0.2	0	1100		0.68
23	0	3	0	300	0	0.12	-1	800		1.38
24	0	3	0	300	0	0.12	+1	1400		1.37

ANOVA: Главни ефекти - Ra(r,Fb,f,n)



Фиг. 4. Резултати от ANOVA

2.2.3. Дисперсионен анализ

За оценяване на значимостта на факторите е проведен дисперсионен анализ ANOVA. На фиг. 4 са показани диаграми на получените резултати.

Очевидно най-значими фактори са радиусът на закръгление на диаманта r и силата на притискане F_b . Практически, в избрания интервал на вариране, третият и четвъртият фактор – подаването f и честотата на въртене n – нямат съществено значение. Взаимодействието между радиусът и силата на притискане (не е показано на фиг. 4) е физически обосновано: малкият радиус и голяма сила на притискане водят до по-голяма дълбочина на проникване на диаманта в обработваната повърхнина.

2.2.4. Регресионен модел и оптимални параметри

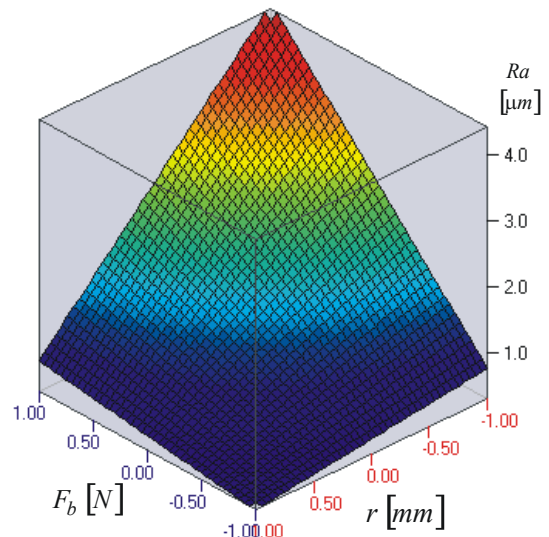
Експерименталните резултати от измерената грапавост в отделните експериментални точки са обработени посредством QstatLab и е получен следният регресионен модел за грапавостта в кодирани координати:

$$Ra = 1.577 - 1.011x_1 + 1.044x_2 - 0.782x_1x_2$$

Предвид получените резултати от ANOVA, третият и четвъртият фактори са пренебрегнати.

Графичният вид на зависимостта $Ra = Ra(F_b, r)$ е показан на фиг. 5.

Очевидно, комбинацията от максимален радиус r и минимална сила на притискане F_b осигурява минимална грапавост. Намалването на радиуса и увеличаването на силата на притискане довежда до рязко повишаване на грапавостта, като комбинацията от минимален радиус и максимална сила причинява задиране – като резултат получената грапавост е много по-висока от началната, получена чрез комбинирания режещ инструмент.



Фиг. 5. Графичен вид на зависимостта $Ra = Ra(F_b, r)$

Производителността Π на втората операция - диамантното заглаждане, зависи от подавателната скорост $V_{под}$, която е произведение от подаването f и честотата на въртене n . Тъй като технологичните параметри – подаване и честота на въртене, са с практически пренебрежимо влияние върху грапавостта Ra , но са от решаващо значение за производителността на процеса, с оглед получаване на максимална производителност е целесъобразно да се изберат техните максимални стойности. По този начин оптималните параметри на втората операция са: $r = 5mm$; $F_b = 100N$; $f = 0.2 mm/rev$; $n = 1400 rpm$.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Вълков Р., Грозданов Т. Състояние и проблеми в конструктивните елементи на железния път. Механика, транспорт, комуникации 3 (2009) 56-61.
- [2] Cai W., Wen Z., Jin X., Zhai W. Dynamic stress analysis of rail joint with height difference defect using finite element method. Engineering Failure Analysis 14 (2007) 1488-1499.
- [3] Reid L. Overcoming Rail-End Bolt Hole Cracking by Cold Expansion Pre-Stressing. Report; Fatigue Technology Inc., Seattle, Washington, USA, (1993).
- [4] Maximov J. T., Duncheva G. V., Anchev A. P., Amudjev I. M., Kuzmanov V. T. Enhancement of fatigue life of rail-end-bolt holes by slide diamond burnishing. Engineering Solid Mechanics 2(4) (2014) 247-264.