



МЕТОДИКА ЗА ПРОЕКТИРАНЕ ПАРАМЕТРИТЕ НА ТЕХНОЛОГИЧЕН РЕЖИМ НА АЗОТИРАНЕ ПО ОТНОШЕНИЕ НА ОТНОСИТЕЛНАТА ИЗНОСОУСТОЙЧИВОСТ НА ТОПЛОУСТОЙЧИВИ СТОМАНИ

Николай Тончев, Галя М. Илиева, Величко Мачев, Михайл Загорски
tontchev@vtu.bg

Висше транспортно училище „Тодор Каблешков”
гр. София, ул. „Гео Милев“ № 158
РЕПУБЛИКА БЪЛГАРИЯ

Ключови думи: обработваемост на материали, моделиране, оптимизация, йонно азотиране, технологични режими.

Резюме: В изследването е разгледана методика за определянето на технологичните режими чрез йонно азотиране на топлоустойчиви стомани. Целевият параметър на изследването е относителната износоустойчивост. Чрез математично формализиране за различните стомани са определени минималните и максимални стойности на относителната износоустойчивост и съответстващите им технологични режими. Изведени са модели свързващи вида на химико-термично въздействие с износоустойчивостта на всяка от стоманите. Изведен е общ режим валиден за целият клас топлоустойчиви стомани, съответстващ на максимална износоустойчивост.

1. ВЪВЕДЕНИЕ

Трибологичните характеристики на системите, независимо от това дали са нано, микро или макромасштабни, зависят от голям брой външни параметри. Най-важните сред тях, са температурата и условията на работа, контактното налягане и относителната скорост на контактуващите части. Тези основни параметри влияят на експлоатационните повърхностни свойства на конструкционните и инструментални стомани. В [1] са посочени съвременните тенденции в изследванията на трибологичните характеристики на системите, като акцента е поставен в индустриалните приложения на трибологията. Повърхностната цялост при обработване е обобщена в [2], където се описват основите постижения в изследването на контактна якост след химико термично обработване. Трибологичните въпроси и най-вече тези свързани с износоустойчивостта е необходимо да се установяват преди процеса на проектиране на режимите на обработване, когато става въпрос за термично или химико термично обработване.

В този случай концепцията за трибология на практика ще е най-полезна. Тази идея е споделена в [3], където са събрани оригинални и иновативни изследвания на

приложения в трибологията, допринесени от групата на избрани изследователи, описващи най-доброто от тяхната работа. Подобни изследвания са описани и в монографията [4], където са дефинирани връзките между изследваните параметри и технологичните фактори.

Краткият преглед на посочените изследвания може да определи характеристиката на избраната тематика, която се свързва със сложността и нелинейността, по състав както на движещите се най-често абсорбиращи граници, така и на различните свойства на материалите в дълбочина на разгледаните повърхности. От разгледаната съществена промяна по отделно или като комплекс се засягат устойчивостта към износване, устойчивостта към корозия, устойчивост към високи стойности на уморния цикъл, които са съставляващите към нови повърхностни условия [5]. Тези нови повърхностни условия се формират от желан комплекс от свойства, който се определя чрез решаването на многокритериални задачи [6] [7]. Последните гарантират определените ползи към изследването, изразени най-често в повишена дълготрайност (удължен живот) на контактните изделия [8] [9]. Всичко това се свързва с ресурса за производство, характеризиране, и приложения в областта на твърдите покрития и износоустойчиви повърхности.

2. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ НА ИЗСЛЕДВАНЕТО

Целта на изследването е да се приложи методология за анализ на износоустойчивостта на стомана ВН10 ВН11 и ВН21, с цел пълно изясняване ролята на технологичните режими върху нейното влияние. Но тъй като изследването е базирано изцяло на експериментално-статистическа основа, получените резултати ще бъдат съпоставени и обяснени с натрупания опит на авторите и с фазовия състав. Методологията трябва да може да определи подходящ режим, задоволителен за целия клас изпитвани стомани. Дефинираните общи технологични режими и направената по тях обосновка ще помогнат за пълното изясняване на по-нататъшните изследвания. Това ще преодолее многофакторен, нелинеен проблем, описан от зависимости, отразени в [10], което е трудно за интерпретиране и сравняване.

3. МЕТОДИКА ЗА ИЗСЛЕДВАНЕТО

Етапи, последователност на работа и резултати от прилагането на методиката

Избира се обектът на проектиране.. Той задължително се свързва с даден технологичен процес, параметрите на който се изменят в диапазон. За обекта на изследването се дефинират входните и изходните параметри на изследването.

Обектът на изследване с който се апробира методиката в случая се определя чрез три вида инструментални стомани. Стоманите ВН10 и ВН11 са с повишена топлоустойчивост и жилавост, а стомана ВН21 с висока топлоустойчивост. Химичният състав на тези стомани са посочени в Табл. 1.

Таблица 1. Химичен състав на изследваните стомани, [%]

Стомани	C	Si	Mn	Cr	Mo	W	V	Ni	Cu	S
ВН11	0.38	0.91	0.22	4.5	1.20	–	0.47	0.14	0.11	0.006
ВН10	0.28	0.45	0.20	3.24	2.74	–	0.55	0.13	0.12	0.01
ВН21	0.3	0.18	0.26	2.7	–	8.01	0.29	–	–	0.015

1. Определят се параметрите и диапазона на тяхното изменение

В Табл.2. са посочени основните нива на вариране на входните параметри с които е планиран експеримента.

Таблица 2. Изменение на управляващите фактори.

Фактори	T_{nit} [°C]	P [Pa]	τ [h]	T_{tem} [°C]
Нива X	X_1	X_2	X_3	X_4
Нулево ниво (0)	530	300	7	650
Интервал на вариране	20	150	3	50
Горно ниво (+I)	550	450	10	700
Долно Ниво (-I)	510	150	4	600

2. Със зададените нива на изменение се планира експеримент, при който за всяка изменяща се комбинация на входните данни, съответства осреднена стойност на контролираната величина – относителната износоустойчивост K_v .

За определяне на режимите на азотиране са използвани математически и статистически методи на планирания експеримент. Характерно за този подход е, че се извършва принудителна промяна на входните фактори в определени граници, определени от таблица 2. Използва се минимален брой опити и едновременно коригиране на всички фактори.

Избрани по този начин, факторите и интервалите се използват и за проектиране на експерименти въз основа на план от различните комбинации от параметри на режима на обработка, с които са проведени експериментите. За да се намалят грешките, се препоръчва всеки опит да се повтаря и комбинациите от фактори с нулево ниво пет пъти. Всички проби бяха йонно азотирани в инсталация от тип ION-20. Насищаният газ по време на азотиране в тлеещ разряд е газообразен амоняк. След азотиране пробите се охлаждат на въздух. Експерименталните условия и схемата на изпитването относителната износоустойчивост са посочени в [4].

3. След провеждането на експеримента, при използването на стандартна статистическа процедура, описана в [12] се извеждат адекватни модели. След проверката за адекватност на моделите се определят конкретните резултати за проектирането.

Изведени са адекватни регресионни модели за относителната износоустойчивост – K_v на база 30 различни комбинации от тези параметри с помощта на експериментален дизайн и статистически метод, описан чрез следните уравнения:

$$K_v = 0,4020 - 0,0828 X_1 + 0,0033 X_2 - 0,0523 X_3 - 0,0008 X_4 + 0,0037 X_1^2 + 0,0106 X_1 X_2 + 0,0244 X_1 X_3 - 0,0006 X_1 X_4 + 0,0087 X_2^2 - 0,0469 X_2 X_3 + 0,0031 X_2 X_4 + 0,0237 X_3^2 + 0,0093 X_3 X_4 + 0,0512 X_4^2 \quad \dots(1)$$

$$K_v = 0,3898 - 0,0786 X_1 - 0,0099 X_2 - 0,0494 X_3 + 0,0151 X_4 + 0,0307 X_1^2 + 0,0131 X_1 X_2 + 0,0044 X_1 X_3 + 0,0157 X_1 X_4 + 0,0257 X_2^2 - 0,0494 X_2 X_3 + 0,0243 X_2 X_4 + 0,0107 X_3^2 - 0,0218 X_3 X_4 + 0,0457 X_4^2 \quad \dots (2)$$

$$K_v = 0,3804 - 0,0804 X_1 - 0,0076 X_2 - 0,0504 X_3 + 0,0300 X_4 + 0,0156 X_1^2 + 0,0050 X_1 X_2 - 0,0025 X_1 X_3 + 0,0037 X_1 X_4 + 0,385 X_2^2 - 0,054 X_2 X_4 - 0,029 X_3^2 - 0,037 X_3 X_4 + 0,059 X_4^2 \quad \dots(3)$$

Уравнение (1) се отнася за стомана ВН11, (2) - за стомана ВН10 и (3) – за стомана ВН21.

4. РЕЗУЛТАТИ ОТ ИЗСЛЕДВАНЕТО

След процеса на моделиране се изпълнява еднокритериална и многокритериална оптимизация с което се обобщават технологичните проектни решения.

Пълно описание на идеята в тази точка, включително и с подходящи примери е разгледано в [10]. Повечето оптимизационни проблеми се характеризират с променлив брой оптимизационни променливи. Предложеният в [10] алгоритъм е класически, защото се оказва че контролираните фактори имат постоянна стъпка на изменение. Прилагането на други сега развиващи се алгоритми са в състояния със сигурност да осигурят много по точни решения, но всъщност в етапа на внедряване те не могат да бъдат реализирани от техниката, която осигурява съответният режим. След дефинирането на уравненията 1÷3 в Раздел 3 и определянето на техните идентификатори с помощта на авторския подход задачата намира своето решение. Тъй като максималната износоустойчивост се среща при минимална стойност на коефициента на износване K_v , то тогава задачата на изследването се трансформира в търсене на режим на обработване, който едновременно осигурява минимална стойност на K_v и трите регресионни модели 1÷3. Този етап преминава през два подетапа. В началото за всеки един от моделите 1÷3 се провежда оптимизация за относителния коефициент на износване K_v в което се определят минималната и максималната стойности на тази целева стойност. Независимо от това, че параметърът е един и същ, поради различния състав на стоманата се установи определена противоречивост на критериите. Това е характерно за повечето инженерни приложения.

Резултатът от еднокритериалните оптимизации е представен в Табл.3.

Таблица 3. Резултати от проведената еднокритериална оптимизация за изследваните стомани.

Параметър	Стомана	Стойност	Режим на обработване			
			t_{nit} [°C]	P_{NH3} [Pa]	τ_{nit} [h]	t_{tem} [°C]
Режими на Min стойности на K_v	VH11	0.2944	550	450	10	600-650
	VH10	0.2549	550	450	10	600
	VH21	0.237	550	300	10	600-650
Режими на Max стойности of K_v	VH11	0.6984	510	450	4	600
	VH10	0.7515	510	450	4	600
	VH21	1.07	510	150	4	650

В този случай проектантът среща обективни трудности при формулирането общ режим за разглеждания технологичен процес. В случая ограниченията са наложени върху променливите за проектирането и критериите за производителност, използвайки моделите 1÷3 по методиката, описана в [10]. Тези ограничения обаче са точно идентификаторите за минимум, максимум или интервал от стойности в даден диапазон, наложени на регресионните модели 1÷3. Чрез тях се определят в значителна степен набора/комплекса от осъществими решения, които отговарят на всички необходими изисквания към задачата на проектирането. Без да се построява този набор/комплекс от допълнителни изисквания към оптимизиране на решението, решението на дефинирания проблем често се оказва безполезно.

Изборът на конкретен метод се определя от изискванията и естеството на обекта и от правилното дефиниране на оптимизационния проблем. Критерият за оптималност на технологичните обекти се изразява с три целеви функции.

Основно оптимизацията се извършва при директно експериментиране с обекта на схемата: управляващо действие – резултат – ново управляващо действие. По принцип оптимизацията се извършва чрез директно експериментиране с обекта на схемата: управляващо действие – резултат – ново управляващо действие. На практика обаче оптимизационното изследване се извършва с обекта или системата, представени от математически модел.

Резултатите, изброени в Табл. 4, се отнасят до факторите, определени от регресионните модели по този начин. Стойностите на целевите параметри в Таблица 4 могат да се нормализират съответно към най-малката и най-голямата стойност на разглежданата характеристика на класа, нормализирани към най-малката и най-голямата стойност на разглежданата характеристика на класа, съответно.

Таблица 4. Общ проектен режим за минимално износване на класа стомани, подложени на йонно азотиране.

Параметър	Стомана	Стойност на K_v [/]	Нормиран процент	Режим на обработване			
				t_{nit} [°C]	P_{NH_3} [Pa]	τ_{nit} [h]	t_{tem} [°C]
Общ режим на минимална стойност K_v	ВН11	0.3187	6.07 %	550	300	10	600
	ВН10	0.263	5.07 %				
	ВН21	0.237	0.00 %				

5. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Определен е режим при осъществен реален практически експеримент, и грешката от предсказаните и моделираните стойности е в рамките на допустимата статистическа грешка от 0.05%. Това изследването има претенцията, за предлагане на адаптиран подход на оптимизация, който може да бъде прилаган за множество материали от подобен клас, с помощта на който да се определят обобщени режими общовалидни за целия клас материали. Подходът е приложим в етапа на проектиране на технологични режими и той може да бъде приложен за всеки изследван индикатор на качеството, представляващ интерес за потребител.

ЛИТЕРАТУРА:

- [1] Katiyar J.K., Ramkumar P., Rao T.V.V.L.N., Davim J.P. (Eds.) Tribology in Materials and Applications Springer, 2020. — 306 p. — (Materials Forming, Machining and Tribology). — ISBN 978-3-030-47450-8.
- [2] Paulo D.J. Surface Integrity in Machining Springer, 2010. – 222 p.
- [3] Darji P.H. (Ed.) Advances in Tribology, ExLi4EvA, 2016. — 271 p. — ISBN: 9535127438; 953512742X.
- [4] Zumbilev A.P., Zumbilev I.A. Ionic nitriding and carbonitriding of steels, 2020, 325p, ISBN: 978-619-236-187-7 (in Bulgarian)
- [5] Ziumbilev I. Carbonitring austenite steel in glow discharge plasma. Journal “Annals of the Faculty of Engineering Hunedoara”, Tome XIV , Fascicule 1 (ISSN1584-2665), Romania, 2016 pp.203-206
- [6] Abdelkhalik O., Engineering Systems Optimization, Boca Raton: CRC Press, 2021. — 230 p.
- [7] Statnikov R.B., Matusov J.B., Multicriteria Optimization and Engineering, Springer, 1995. — 250.

[8] Zumbilev I., About the influence of ion carbonitriding on the chemical composition of the carbonitride zone. Journal of Food and Packaging Science, Technique and Technologies, №8, National Academy of Packaging – Bulgaria, 2016, pp.10-13.

[9] Zumbilev I. About wear resistance of nitrided and carbonitrided layers. Journal “Annals of the Faculty of Engineering Hunedoara”, Tome XIII, Fascicle 1, Romania, 2015, pp. 53-56

[10] N. Tontchev, Materials science, Effective solutions, and technological variants, – Lambert, Academic Publishing, 2014.

METHODOLOGY FOR DESIGNING THE PARAMETERS OF TECHNOLOGICAL NITRIDING REGIME WITH RESPECT TO THE RELATIVE WEAR RESISTANCE OF TOOL STEELS FOR HOT WORKING

Nikolay Tonchev, Galya M. Ilieva, Velichko Machev, Mihail Zagorski
tontchev@vtu.bg

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

Keywords: *machinability of materials, modeling, optimization, ion nitriding, technological modes.*

Abstract: *The present study aims to create a methodology for decision making in the process of designing the regime of the technological process of ion nitriding. The methodology is applied about the relative degree of wear K_v for grade tool steels for hot working BH10, BH11 and BH21 and thus the stages of its application are demonstrated. Main procedures such as Design of Experiment, single and multi-criteria optimization are used. With the help of the numerical methodology the tendency in the change is determined for establishing technological regimes and modeling properties of wear, which are finally clarified by nitride zone forming the layer. Since similar steels are analyzed in the study, the general treatment regime is established, which leads to the desired relative wear resistance. The result of the study is obtaining accurate values for the relative degree of wear K_v and their corresponding regimes for the three tested steels. A general range is determined for the whole grade, through the stages of the applied methodology, in which the steels have high wear resistance.*