

ОТНОСНО УПРАВЛЕНИЕТО НА ПРОЦЕСА НАВАРЯВАНЕ ЗА ПОСТИГАНЕ НА СЛОЕВЕ С ОПРЕДЕЛЕНА ГЕОМЕТРИЯ И СВОЙСТВА

Николай Тончев, Николай Христов
tontchev@vtu.bg n_d_hristov@abv.bg

Висше транспортно училище „Тодор Каблешков” Ул. “Гео Милев” 158, София 1574
"Национален изследователски институт по транспорта" ЕООД гара Илиянци, София 1271
БЪЛГАРИЯ

Резюме: Изследвана е абсолютната износоустойчивост на четири наварени покритията в зависимост от структурата, твърдостта, химичният им състав и технологичния режим на нанасяне. Електродните материали са класирани по изследваните показатели с цел рационалното им експлоатационно приложение.

Ключови думи: наваряване, електродни материали, износоустойчиви покрития.

ВЪВЕДЕНИЕ

За различни приложения при възстановяването на износени части (елементи) от екипировка на съоръжения фирмите производители препоръчват разнообразни електродни материали. Те се използват предимно за ръчноелектродъгово или механизано наваряване с плътни, или тръбни електродни телове.

Съвременните материали, като тръбните телове повишават значително производителността до стойности 4.5 [kg/h] и 36 [cm²/min] и са средство за получаване на слоеве със специфични свойства. Това е

възможно тъй като в сърцевината на електродните материали се поставят различни елементи, чрез които в процеса на наваряване се легира наварения слой. Съставът на наварения слой е в пряка зависимост от неговите свойства, които са свързани с експлоатационното поведение на възстановените части. При обсъждане на въпросите за управлението на свойствата на шева и параметрите при наваряване, чрез избора на електроден материал от съществено значение е изясняването на връзката от системата:



Въз основа на тази връзка се прави избор на електроден материал. Избраният електроден материал чрез своя състав и технология оказва влияние върху геометрията на слоя. За установяването на определена технология е необходимо да се реализират експериментални изследвания, уточняващи влиянието на технологичния режим върху

геометрията на слоя. В този случай управлението на геометрията на слоя за конкретен електроден материал е функция от параметрите на режима на наваряване. В [1] е определена зависимостта за влиянието на параметрите на режима върху дебелината на слоя на електродните материали Fluxofil 58, LNM 420 – Например при ротационни

детайли, управляващите дебелината на наварения слой параметри са големината на заваръчния ток X_1 (променящ се в интервала 150-210 [A]); напрежение X_2 (променящ се в интервала 19-23 [V]) и стъпката на припокриване X_3 (променящ се в интервала 2-4[mm]). Абсолютната разлика в дебелината на наварения слой за посочените материали за производителните режими варира от 1,4 до 4,8 mm. В цитираният интервал на изменение, дебелината на наварения слой за посочените материали се управлява чрез моделите:

$$\text{Fluxofil 58} - \delta(I,U,s)=1,514+0,11X_1+0,055X_2-0,419X_3+0,136X_1 \cdot X_2-0,137X_2 \cdot X_3+0,282X_3^2$$

$$\text{LNM 420} - \delta(I,U,s)=3,008+0,522X_1-0,136X_2-0,9X_3-0,024X_1^2-0,334X_1 \cdot X_2-0,107X_1 \cdot X_3-0,165X_2^2-0,034X_2 \cdot X_3+0,049X_3^2$$

Управляващи параметри на тези модели оказват влияние не само на дебелината на слоя на покритието, но и на обема от механична обработка. Така че при управлението на големината на покритието в [2] е препоръчан подход, който може да определи нетната дебелина на слоя. В някои случаи последваща механична обработка след наваряване не се налага и за тях е важно препоръчваният режим да е високопроизводителен. Високопроизводителните режими се изпълняват при относително високи стойности на заваръчния ток, за което е необходимо или основа с добра заваряемост, или определена степен на предварително подгръване.

Управлението на параметрите на процеса на наваряване и избора на рационална технология от експлоатационна гледна точка се отнася до конкретния обект. За предмет на настоящото изследване са избрани елементи от пътно-строителна техника. Общият им вид е показан на фиг. 1.

Изискванията към елементите от това пътно – строително съоръжение са: устойчивост към износване; устойчивост към удар и устойчивост към корозия. Тези три изисквания оформят критериите в многокритериалната оптимизация.

Задачата, която може да бъде поставена за управлението на този конкретен случай е – изборът на кой електроден материал от наличните би предложил такъв състав на наварения метал, че трите устойчивости от дефинираните критерия имат относително високи стойности. Така дефинираната задача е задача, свързана с многокритериалната оптимизация.



Фиг. 1. Износени елементи от пътно-строителна техника.

Настоящото изследване има за цел да класифицира срещаните в практиката електродни материали за изследвания обект и разкрие особеностите на дефинираната многокритериална задача, както и да направи подготовка за решаването на тази задача.

КЛАСИФИЦИРАНЕ НА НАЛИЧНИТЕ ЕЛЕКТРОДНИ МАТЕРИАЛИ

Точното управление на свойствата на наварения слой по отношение на химическия състав и обработка е възможно да се установи чрез решаване на оптимизационна задача. Една оптимизация по количество и състав на легиращите елементи от навареното покритие изисква значителен брой данни поради, присъстващите легиращи елементи в слоя на наварения метал. Например, ако се приеме, че химическият състав на наварения слой е определен от осемте елементи за създаването на модел от втора степен ще са необходими данни за 52 електродни материала с близко предназначение. Това може да се реализира предимно на базата на фирмена документация, събрана от техническите паспорти на електродните материали. В този случай точността на изследването ще зависи от коректността на цитираните данни. В цитираната документация най-често се съдържат данни единствено за химическия състав и твърдостта и отсъстват данни за другите механични показатели, износостойчивост или корозионна устойчивост. Това обстоятелство наложи да се разработи методика [3] и да се проведе пилотно изследване за материалите от табл. 1 чрез, които да се осъществи подготовка за решаването на оптимизационната задача.

Таблица 1

No	Електроден материал	Химически състав на наварения слой						
		C %	Si %	Mn %	Cr %	Mo %	Nb %	W %
1.	EH 550	0.50	2.40	0.40	9.00			
2.	LNM 420	0.5	3	0.4	9			
3.	Fluxofil 58	0.45	0.60	1.60	5.50	0.60		
4.	Wearshield 70	4.2	2.7		18	8.5	9	7

Твърдостта на изброените четири таблици 2 и 3, са представени обобщени електродни материала се изменя в много тесни граници от 58 HRC до 63 HRC.

Реално управление на геометрията шева и механичните свойства е възможно да се осъществи чрез използването на значително по-широка база от данни. По тази причина в и

данни за най-често срещаните електродни материали за възстановяване на работните свойства на разглежданите елементи от пътно-строителната техника. Групирането е извършено по технологичен признак.

Табл.2. Електродни материали за ръчно-електродъгово наваряване.

№	Марка (Фирма производител, Источник)	Химически състав на наварения материал в [%]						Твърдост HRC
		C	Mn	Si	Cr	Mo	Други	
1	ШЭЗ-НЗ ⁽¹⁾	0.4- 0.6	1.8- 2.4	0.8- 1.2	2-2.8			47-52
		Съответства на стомана 50X2Г1С						
2	ШЭЗ-Н5 ⁽¹⁾	0.7- 1.0	1.8- 2.4	0.8- 1.2	2-2.8			50-56
		Съответства на стомана 80X2Г2						
3	ШЭЗ-Н6 ⁽¹⁾	0.9- 1.2	1.8- 2.4	3.8- 4.5	2-2.8			52-58
		Съответства на стомана 100С4Х2Г2						
4	НР-70 ⁽¹⁾	Съответства на стомана 15Г4С1						
5	ОЗН-300М ⁽¹⁾	Съответства на стомана 11Г3С1						
6	ОЗН-400М ⁽¹⁾	Съответства на стомана 30Г2ХМ						
7	ОЗН-6 ⁽¹⁾	Съответства на стомана 100Х5С4Г3Р1						
8	Т-590 ⁽¹⁾	Съответства на стомана 320Х25С2ГР						
9	Т-620 ⁽¹⁾	Съответства на стомана 320Х23С2ГТР						
10	ШЭЗ-Н81 ⁽¹⁾	Съответства на стомана 120Х5С3Г3МФР						
11	CITODUR 600В ⁽²⁾	0.5	0.3	0.4	7	0.5	V 0.5	57-62

⁽¹⁾ Шардинский Электродный Завод (www.shez.zaoral.ru)

⁽²⁾ Oerlikon; Oerlikon handbook Consumables (www.oerlikon.de)

Табл.3. Електродни материали за механизирано електродъгово наваряване.

№	Марка Фирма производител Источник [*]	Химически състав на наварения материал в [%]						Твърдост HRC
		C	Mn	Si	Cr	Mo	Други	
1	2	3	4	5	6	7	8	10
1	ПП-ЗСМ-022 ⁽¹⁾	Съответства на стомана 70X4М3Г2ФТР						55-62
2	ПП-ЗСМ-104 ⁽¹⁾	Съответства на стомана 60X12Д5Р2Т						58-62
3	ПП-ЗСМ-125 ⁽¹⁾	Съответства на стомана 200X15С1ГРТ						47.5-59
4	ПП-ЗСМ-170 ⁽¹⁾	Съответства на стомана 80X20Р3Т						59-68
5	ПП-ЗСМ-150 ⁽¹⁾	Съответства на стомана 150X15Р2Т2						58-68
6	ПП-ЗСМ-151 ⁽¹⁾	Съответства на стомана 250X10Б8Т2						51.5-59
1	2	3	4	5	6	7	8	10
7	FLUXOFIL 52 ⁽²⁾	0.25	1.5	0.6	1.6			325-375 НВ

8	FLUXOFIL 54 ⁽²⁾	0.1	1.5	0.6	5.5	0.9		37-42
9	FLUXOFIL 56 ⁽²⁾	0.35	1.5	0.5	5.2	0.6		52-57
10	FLUXOFIL 58 ⁽²⁾	0.45	1.6	0.6	5.5	0.6		57-62
11	FLUXOFIL 66 ⁽²⁾	1.2	1.0	1.0	6.0		Nb 7.0	57-62
12	ПП-Нп-30Х5Г2СМ-Т-Ф ⁽³⁾	0.30-0.50	1.4-2.2	0.5-1.0	4.4-6.5	0.6-1.0	Ti 0.1-0.6	49.5-57.0
13	ПП-Нп25Х5ФМС-Т-Ф ⁽³⁾	0.20-0.31	0.4-0.9	0.8-1.3	4.7-6.0	1.0-1.5	V 0.3-0.6	41.5 -51.5
14	ПП-Нп-200Х15С1ГРТ-Н-С ⁽³⁾	1.5-2.2	0.8-1.5	1.0-2.0	14-20		Ti 0.2-0.8 В 0.5-0.8	47.5-59.0
15	ПП-Нп-80Х20Р3Т-Н-С ⁽³⁾	0.50-1.20	≤1.0	≤1.0	18.0-23.0		Ti 0.1-0.8 В 2.7-4.0	59-63
16	ПП-Нп-35В9Х3СФ-Т-Г ⁽³⁾	0.7-0.40	0.6-1.1	0.2-1.0	2.2-3.5		V 0.2-0.5 W 8.0-11.0	42.5-54.5
17	ПП-ЗСМ-104 ⁽⁴⁾	Съответства на стомана 60Х12Д5Р2Т						55-60
18	ПП-ЗСМ-111 ⁽⁴⁾	Съответства на стомана 200Х8Т2Р						45-62
19	ПП-ЗСМ-150 ⁽⁴⁾	Съответства на стомана 150Х15Р2Т2						58-65
20	ПП-ЗСМ-151 ⁽⁴⁾	Съответства на стомана 250Х10Б8Т2						50-63
21	ПП-Нп90Г13Н4 (ПП-АН105) ⁽⁴⁾	Съответства на стомана 90Г13Н4						50-56
22	ПП-Нп30Х5Г2СМ (ПП-АН122) ⁽⁴⁾	Съответства на стомана 30Х5Г2СМ						50-56
23	ПП-Нп200Х15С1ГРТ (ПП-АН125) ⁽⁴⁾	Съответства на стомана 200Х15С1ГРТ						50-56
24	ПП-Нп80Х20Р3Т (ПП-АН170) ⁽⁴⁾	Съответства на стомана 80Х20Р3Т						58-67
25	ПП-Нп-350Х8Г4СЧР ⁽⁴⁾	Съответства на стомана 350Х8Г4СЧР						50-56
26	ПП-Нп-150Х15Р3Т2 (ПП-АН-170М) ⁽⁴⁾	Съответства на стомана 150Х15Р3Т2						50-58
27	ПП-Нп-100Х10Н3Р3 (ПП-АН-170М2) ⁽⁴⁾	Съответства на стомана 100Х10Н3Р3						50-58
28	SK 258 TIC-O ⁽⁷⁾	1.80	0.9	0.2	6.10	1.4	Ti 5.5	58
29	SK 866-O ⁽⁷⁾	4.50	0.7	0.8	24.50		В 0.6	60
30	SK A 43-O ⁽⁷⁾	5.60	0.2	1.3	20.20		Nb 6.70	64
31	SK A 45-O ⁽⁷⁾	5.30	0.2	0.7	21.00	6.3	Nb 6.00 W 1.9 V 1	63
32	ПП-ЗСМ-104 ⁽⁸⁾	Съответства на стомана 60Х12Д5Р2Т						55-60
33	ПП-ЗСМ-111 ⁽⁸⁾	Съответства на стомана 200Х8Т2Р						45-62
34	ПП-ЗСМ-150 ⁽⁸⁾	Съответства на стомана 150Х12Р2Т2С						56-59
35	ПП-ЗСМ-151 ⁽⁸⁾	Съответства на стомана 250Х10Б8Т2						52-59
36	OK Tubrodur 14.70 ⁽⁹⁾	3.5	0.9	0.4	22.0	3.5	V 0.4	50-69
37	OK Tubrodur 15.52 ⁽⁹⁾	0.4	1.2	0.3	5.0	1.2		55-60
38	OK Tubrodur 15.80 ⁽⁹⁾	1.8	<2.0	<1.0	6.2	1.4	Ti 5.2	55-60

(1) ЗАО "Завод сварочных материалов" (www.bzsm.ru)

(2) Oerlikon (www.oerlikon-welding.com; www.oerlikon.de; www.oerlikon.ru)

(3) Северсталь-метиз (www.severstalmetiz.com)

(4) ООО "Энергомашэкспорт" (www.remcib.ru)

(5) ООО "НВП ВЕЛДТЕК" (svarog.in.ua/reklama/nvp/nvp.htm)

(6) МАСКОМ (www.ummk.ru)

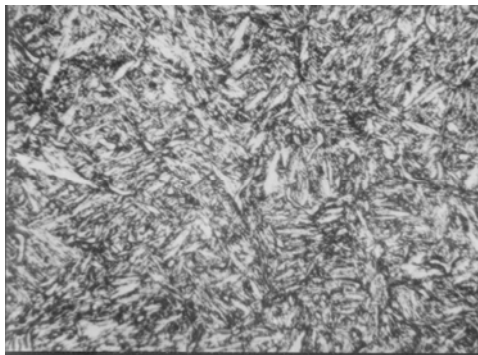
(7) Soudokay (www.soudokay.com)

(8) Концерн ПромСнабКомплект (www.kpsk.ru)

(9) ESAB (www.esab.com)

ДЕФИНИРАНЕ НА МЕТОДИКИТЕ, ОПРЕДЕЛЯЩИ КРИТЕРИИТЕ ОТ МНОГОКРИТЕРИАЛНАТА ЗАДАЧА ЗА ИЗСЛЕДВАНИЯ ОБЕКТ

Резултатите публикувани в [3] потвърждават извода, че поради малките различия в изменението на твърдостта, тази механична характеристика не може да се използва като точен показател на наварения метал по отношение на експлоатационна надеждност. Като по-точен показател на експлоатационното поведение всъщност трябва да се приеме структурата, химическия



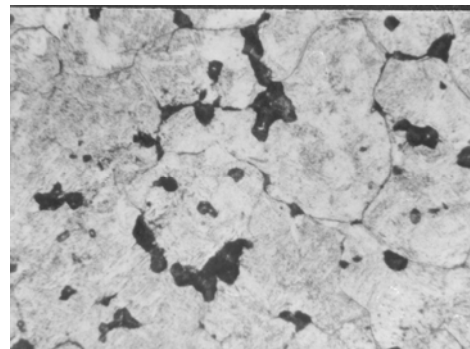
Фиг.2. Структура /мартензит/ на наварен слой с тръбен електрод Fluxofil 58 X 500

Поради несъществената разлика в измерената твърдост /само около 2 единици по HRC/ и различното експлоатационно поведение на тръбния Fluxofil 58, и плътния LNM 420 електродни материали е осъществено стандартно металографско изследване с използвано увеличение 500 пъти, резултатите от които са посочени на фиг. 2 и фиг.3.

Анализът на изобразените микроструктури потвърждава факта, че съвременните електродни материали, постигат уякчаващ ефект на наварения метал без последващо термично обработване за разлика от електрода EN 550. Това обстоятелство без съмнение съкращава технологичния цикъл и технологията, използваща тези материали, спадат към групата на перспективните технологии.

Износоустойчивостта, определена като интензивност е комплексен параметър, който характеризира съпротивителните възможности на повърхностния слой на материалите срещу разрушаване при контактното им

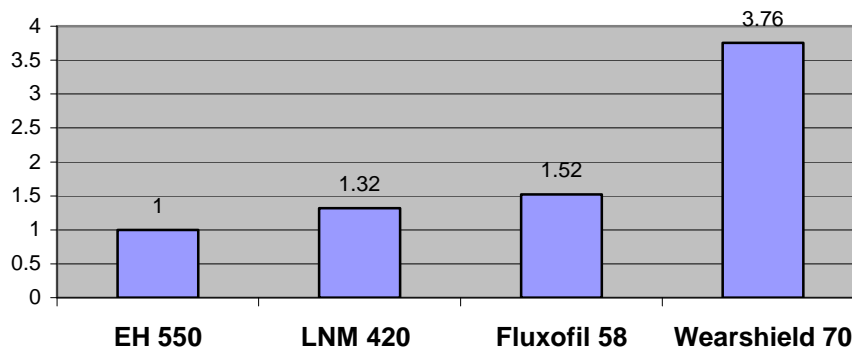
състав наварения метал съвместно с резултатите от различни механични и трибологични изследвания. Избраните различни електродни материали от табл. 1 са предназначени за ръчно и автоматизирано наваряване. Покритието е формирано върху образците от три слоя чрез електродъгово наваряване. Режимите за наваряване са изцяло съобразени с препоръките от техническия паспорт на съответния електроден материал при използваната дебелина на електрода. Анализът се концентрира единствено върху методиката на изпитване и дефиниране на многокритериалната задача.



Фиг.3. Структура /перлит + хромови карбиди/ на наварен слой с плътна електроден тел LNM 420 X 500

взаимодействие с други повърхнини при относителното им преместване една спрямо друга. Променя се в много широки граници и зависи от много фактори: структурата и състава, механичните показатели – твърдост, грапавост, пластичност, пористост на повърхнините на тялото и противотялото, и от параметрите на контакта – температура, присъствие на смазки, повърхностно-активни вещества, състав на околната среда, динамичните условия на взаимодействието – натоварване, скорост и други. Използвайки данни от [3] на фиг. 4 е представена относителната износоустойчивост, нормирана спрямо резултатите, получени за електрода EN 550.

Независимо от високия резултат за Wearshield 70 е невъзможно той да бъде класиран, като най-подходящ без допълнителен технико-икономичен анализ, който също може да бъде критерий от задачата за многокритериална оптимизация.



Фиг.4. Нормирано сравнение на относителната износоустойчивост на изследваните материали спрямо EN 550.

Предимствата на тръбния електроден материал /Fluxofil 58/ се състоят в значително по-високата производителност, якост на сцепление на връзката между слоя и основния метал, както и по-широкия диапазон на дебелина на наварения слой.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Дефинираните методики за определянето на някои от критериите на многокритериална оптимизационна задача, дават възможност за управлението на процеса на наваряване с цел постигане на слоеве с определени свойства и обем.

Класифицирани са най-често използваните електродни материали по химичен състав и свойства на наварения метал за елементи от пътно-строителна техника. Осъщественият анализ на експериментално получените резултати доказва, че само изпитването на твърдост не може да се използва като точен показател на наварения метал по отношение на експлоатационна надежност.

ЛИТЕРАТУРА:

[1] Н. Тончев, Христов Н., Изследване на геометричните параметри на ротационно наварени шевове с тръбна електродна тел в условията на електродъгово наваряване. XVI международна научна конференция Транспорт 2006 Сборник доклади стр. VI-45- VI-48

[2] Н. Христов, Тончев Н., Интервален подход и прилагането му за решаване на задачи от областта на наваряването. Journal of the technical university - Sofia Plovdiv Branch, Bulgaria "Fundamental sciences and applications" vol. 14(2) 2009 page209-214.

[3] М. Кандева, Христов Н. Тончев Н., Изследване на абразивната износоустойчивост на наварени биметални покрития, конференция „Дни на механиката”, Варна, 2009 г. под печат;

ABOUT MANAGEMENT OF THE PROCESS TO DEVELOP BUILDUP LAYERS WITH DEFINED GEOMETRY AND PROPERTIES

N. Tontchev, N. Hristov

*Todor Kableshkov Higher School of Transport, Sofia 1574
National Institute Of Transport Research Limited (NITR Ltd), Sofia 1271
BULGARIA*

Key words: buildup layers, welding electrode material, microstructure investigation.

Abstract: The absolute wear resistance of layers fettled with different welding die materials on steel is investigated in dependence of chemical composition, deposition process parameters, microstructure and hardness. The welding die materials are classified according to the investigated characteristics in order to attend a rational service application..