

Koszty wytwarzania powłok metodami natryskiwania cieplnego

Coating manufacturing costs with the use of thermal spraying methods

Streszczenie

Opisano przeznaczenie i zakres zastosowania powłok natryskiwanych cieplnie. Przedstawiono przybliżoną kalkulację kosztów wytwarzania powłok metodami płomieniowej i elektrycznej metalizacji natryskowej oraz natryskiwania plazmowego. Określono zużycie materiałów powłokowych (w kg/m² na 0,1 mm grubości powłoki) przez wprowadzenie współczynnika korygującego stanowiącego stosunek gęstości najczęściej stosowanych materiałów powłokowych względem gęstości stali (przećiętne zużycie stali na wytworzenie powłoki o grubości 0,1 mm wynosi 1 kg/m) oraz przytoczono ceny (w euro) ważniejszych materiałów powłokowych, zużywanych mediów, energii elektrycznej oraz ludzkiej pracy. Zestawiono wydajność krajowych palników metalizacyjnych (gazowych i elektrycznych) oraz plazmotronu i podajnika proszków oraz uzyskane wyniki pomiarów dotyczące sprawności osadzania się na metalowym podłożu ważniejszych materiałów natryskiwanych plazmowo.

Abstract

The paper presents the purpose and scope of thermal sprayed coating applications. It shows the approximate cost calculation of producing a coating by flame, electric and plasma spraying. It is specified the consumption of coating materials (in kg/m² to 0.1 mm thickness) by a correction factor which is the ratio of the density of the most commonly used coating materials relative to the density of steel (the average consumption of steel to produce the film with a thickness of 0.1 mm is 1 kg/m) and quoted prices (in euro) of the most important coating materials consumed media, electricity and labour. It is also summarizes the performance of the domestic torches and guns (gas and electric, the plasmatron and the powder feeders). The results of measurements of the efficiency of deposition on a metal substrate the major plasma sprayed materials are also presented.

Wstęp

Pierwsze prace z zakresu natryskiwania cieplnego powłok dotyczyły wytwarzania warstw z cynku, w celu ochrony przed korozją wyrobów stalowych. Dalszy rozwój metod natryskiwania cieplnego to regeneracja i nadawanie częściowo zużytem, jak i nowo produkowanym elementom maszyn i urządzeń dużej twardości i odporności na zużycie (również w podwyższonej temperaturze) oraz pożądanymi właściwościami cieplno-optycznymi, katalitycznymi, elektrycznymi itd. Wytwarzanie powłok o tych właściwościach stało się możliwe dzięki użyciu specjalnych materiałów powłokowych i zastosowaniu techniki plazmowej do procesów natryskiwania powłok.

Przede wszystkim wykorzystuje się trudnotopliwe, supertwarde: węgliki, azotki, borki, tlenki oraz niektóre metale i stopy z tego powodu, że plazma nie nakłada żadnych ograniczeń na temperaturę topliwości stosowanych materiałów, a możliwość jej wytwarzania z dowolnych płynów – na właściwości chemiczne tych materiałów.

Ze względu na wszechstronność zastosowań metody natryskiwania cieplnego (płomieniowego, elektrycznego, plazmowego, laserowego, detonacyjnego itd.) podstawową rolę w kształtowaniu właściwości powierzchniowych wyrobów oraz wytwarzaniu przedmiotów (np. wolframowych dysz silników odrzutowych i rakiet).

Procesy natryskiwania cieplnego mogą być realizowane zarówno w warsztatach, jak i w miejscach eksploatacji urządzeń, bez potrzeby ich demontażu z miejsc a stałej pracy.

Powłoki można nakładać ze wszystkich materiałów, które pod wpływem doprowadzonej energii ulegają stopieniu bądź nadtopieniu. Powłoki natryskiwane się

Dr inż. Sławomir Morel – Politechnika Częstochowska.

w zasadzie na wszystkie materiały, jak: metale i stopy, ceramikę, szkło, drewno, a nawet wyroby tekstylne.

Wiele zastosowań powłok natrykiwanych cieplnie stwarzają zużywające się elementy maszyn i urządzeń. Ostatnio obserwuje się też intensywny rozwój zastosowań powłok do intensyfikacji procesów wymiany ciepła, dopalania i usuwania trucizn (NO_x).

Kalkulacja kosztów wytwarzania powłok

Obecnie trudne jest zaproponowanie jednoznacznych zaleceń – jakie zastosować materiały, jakiego użyć urządzenia, przy jakich wartościach parametrów realizować procesy natrykiwania, by uzyskać funkcjonalne powłoki. W zakresie kosztów wytwarzania powłok można posługiwać się średnimi cenami zakupu materiałów powłokowych, gazów i energii oraz wynagrodzenia pracowników, które umożliwiają obliczenie kosztów materiałowych i robocizny.

W niniejszym opracowaniu, ze względu na wszechstronność zastosowań metalizacji natrykowej oraz natrykiwania plazmowego (plazma łukowa) w procesach wytwarzania powłok, obliczenia wykonano tylko w odniesieniu do tych metod. W kalkulacji kosztów nie będą uwzględnione: narzuty, koszty administracyjne i zakładowe itd.

Zużycie materiałów na powłoki

Określenie zapotrzebowania na materiały jest pierwszą czynnością przed wykonaniem kalkulacji, gdyż zużycie materiałów rzutuje na koszty, określa wydajność poszczególnych operacji oraz wyznacza czas

niezbędny do przeprowadzenia poszczególnych faz procesu wytwarzania powłok.

Podstawą obliczeń ilości zużytych materiałów są kształt i wymiary natrykiwanej powierzchni. Mnożąc grubość poszczególnych warstw powłoki przez powierzchnię i wartość współczynnika korekcyjnego, określa się potrzebne ilości materiałów na powłoki.

Wartość współczynnika korekcyjnego zależy bezpośrednio od stosunku gęstości właściwej materiałów powłokowych względem gęstości stali, dla której wartość tego współczynnika wynosi 1,0.

Dla najczęściej stosowanych materiałów powłokowych wartości współczynnika korekcyjnego wynoszą odpowiednio, dla: aluminium – 0,5; cynku – 1,0; ołowiu – 2,0; molibdenu – 1,0; stali chromowej- 1,0; tlenku aluminium – 0,5; tlenku chromu – 0,7; węgliku wolframu – 1,5; węgliku chromu – 1,2.

Przez powierzchnię natrykiwanych wyrobów należy rozumieć jej rzeczywistą wartość, na której osadza się powłokę – przykładowo: rzeczywista powierzchnia ściany szczelnej kotła zbudowana w układzie rura-płetwa-rura jest ok. 1,7 raza większa od jej rzutu na powierzchnię.

W przypadkach natrykiwania powłok na elementach małogabarytowych należy uwzględnić straty materiałów, ponieważ szerokość śladu natrykowego wynosi ok. 20 mm (przy odległości plazmotronu od podłoża ok. 100 mm).

Powszechnie przyjmuje się, że do natrykiwania 1 m^2 stalowej powłoki zużywa się 1 kg stali bądź odpowiednio: 0,5 kg Al lub Al_2O_3 , ewentualnie 0,7 kg Cr_2O_3 (co wynika z wartości współczynnika korekcyjnego).

Kształt i wymiary natrykiwanej powierzchni oraz parametry procesów natrykiwania decydują o sprawności osadzania natrykiwanych materiałów powłokowych (tabl. I) [1]

Tablica I. Optymalne parametry plazmowego natrykiwania powłok wytwarzanych z użytych w badaniach materiałów powłokowych [1, 4]
Table I. Plasma sparyng optimal paramters for tested coating materials [1, 4]

Materiał powłokowy	Parametry natrykiwania				Efektywność osadzania proszków %
	Napięcie/natężenie prądu	Zużycie gazów plazmotwórczych		Odległość plazmotronu od powierzchni mm	
		V / A	Ar dm ³ /min		
Al_2O_3	55 / 450-500	50	10	130	80÷85
$\text{Al}_2\text{O}_3 + 10\% \text{ NiAl}$	57 / 450-500	50	8	120	80
$\text{Al}_2\text{O}_3 + 25\% \text{ NiAl}$	60 / 450-500	50	7	110÷120	82
$\text{Al}_2\text{O}_3 + 40\% \text{ NiAl}$	60 / 450-500	50	7	110	87
Cr_2O_3	60 / 500-550	45÷50	10	90÷110	62÷65
$\text{Cr}_2\text{O}_3 + 10\% \text{ NiAl}$	60 / 450-500	50	12	110	67
$\text{Cr}_2\text{O}_3 + 25\% \text{ NiAl}$	60 / 450-500	50	12	100	67
$\text{Cr}_2\text{O}_3 + 40\% \text{ NiAl}$	60 / 450-500	50	10	120	70
ZrO_2	65 / 550-600	45	15	120	47÷52
$\text{ZrO}_2 + 10\% \text{ NiAl}$	65 / 550-600	42	15	120	51
$\text{ZrO}_2 + 25\% \text{ NiAl}$	65 / 550-600	42	12	120	54
$\text{ZrO}_2 + 40\% \text{ NiAl}$	65 / 550-600	43	14	120	55
$\text{Cr}_3\text{C}_2 + 10\% \text{ NiAl}$	60 / 450-500	45	17	80	89
$\text{Cr}_3\text{C}_2 + 25\% \text{ NiAl}$	60 / 450-500	45	17	80	90
$\text{Cr}_3\text{C}_2 + 40\% \text{ NiAl}$	60 / 450-500	45	18	80	92

Ceny najczęściej stosowanych materiałów powłokowych [2]

Do dalszych rozważań przyjęto średnie ceny materiałów powłokowych w euro (wg cen z 2005 r.). Wynoszą one:

- stal chromowa: proszek – 54 EUR, drut – 38 EUR,
- stal chromowo-niklowa: proszek – 78 EUR, drut – 65 EUR,
- aluminek niklu: NiAl (95-5) proszek – 120 EUR, NiAl (70-30) proszek – 130 EUR, NiAl (80-20) drut – 150 EUR,
- aluminium: drut – 15 EUR
- cynk: drut – 20 EUR
- brąz: drut – 60 EUR,
- węgiel wolframu: W_2C proszek – 150 EUR, WC proszek – 170 EUR, WC-Co (88-12) proszek – 190 EUR, WC + (NiCrBSi) proszek – 108 EUR,
- węgiel chromu: Cr_3C_2 proszek – 150 EUR, Cr_3C_2 + Ni(83-17) proszek – 170 EUR, Cr_3C_2 + (NiCrBSi) proszek – 140 EUR,
- tlenek glinu: Al_2O_3 + TiO_2 (87-13) proszek – 80 EUR,
- tlenek chromu: Cr_2O_3 proszek – 90 EUR,
- tlenek cyrkonu: ZrO_2 + MgO (75-25) proszek – 80 EUR.

Obecne ceny oraz ceny krajowych materiałów powłokowych mogą istotnie różnić się od wymienionych wartości, są to ceny średnie obliczone na podstawie dostępnych autorowi cenników producentów materiałów przeznaczonych na powłoki.

Koszty wytwarzania

O wartości kosztów wytwarzania oprócz kosztów materiałów dla przyjętej metody natryskiwania i zastosowanych w związku z tym urządzeń decydują:

- ceny gazów i energii i ich jednostkowe zużycie,
- koszty robocizny,
- koszty ogólne, których wartość może przekroczyć koszty bezpośrednie.

Dla wyszczególnionych urządzeń przytoczono wartości kosztów wynikających ze zużycia gazów, energii elektrycznej i powietrza (tabl. II) [2].

Wydajność natryskiwania

Wydajność natryskiwania zależy od metody wytwarzania powłok, rodzaju użytych materiałów i wydajności stosowanych urządzeń. Dla krajowych palników i pistoletów metalizacyjnych orientacyjną wydajność podano w tablicy III [3].

Celem wyznaczenia wydajności natryskiwania plazmowego w kg/h, należy pomnożyć ilość materiału podawanego przez podajnik proszków (dla

pistoletów metalizacyjnych przyjmuje się sprawność 100%). Powstała wartość iloczynu wyznacza ilość osadzającego się materiału tworzącego powłokę, w kg/h (tabl. IV kol. I).

Tablica II. Koszty gazów, energii elektrycznej, robocizny oraz koszty ogólne dla procesów nakładania powłok różnymi metodami [2]

Table II. Costs of gases, electric energy, labour and general in different methods of spraying [2]

Wyszczególnienie urządzeń, gazów i ich zużycia	Koszty, EUR		Robocizna EUR/h	Koszty ogólne EUR/h
	Cena jednostkowa	Koszt za godzinę, eksploatacji		
Obróbka strumieniowo-ścierna – kabina – ϕ dyszy 9 mm – powietrze 360 m ³ /h	0,07	20	25	75
Metalizacja natryskowa Palnik płomieniowy – na proszek: tlen 1 m ³ /h – acetylen 1 m ³ /h	2,2 8,5	2,2 8,5	28	75
Palnik płomieniowy na drut – powietrze 60 m ³ /h – tlen 1 m ³ /h – acetylen 1 m ³ /h	0,07 2,2 8,5	4,2 2,2 8,5	30	75
Pistolet elektryczny na drut – energia elektryczna 25 V, 400 A = 10 kWh – powietrze 90 m ³ /h	1 0,07	10 6,3	32	70
Plazmotron – energia elektryczna 35 V, 400 A = 14 kWh – azot 2,5 m ³ /h – wodór 0,7 m ³ /h	1 2,0 2,0	14 5,0 1,4	35	85

Tablica III. Wydajność krajowych palników i pistoletów metalizacyjnych [3]

Table III. Efficiency of domestic torches and guns for metalization [3]

Typ i rodzaj urządzenia	Wydajność natryskiwania, kg/h			Zużycie gazów
	Natryskiwany metal			
	Stal	Aluminium	Cynk	
Palnik płomieniowy Metal – 84 (drut)	2,0	1,8	12,0	powietrze 0,9 m ³ /h tlen 1,5 m ³ /h acetylen 0,8 m ³ /h
Palnik płomieniowy PDW – 84 (drut)	-	5,0	19,5	powietrze 1,0 m ³ /h tlen 2,3 m ³ /h acetylen 1,1 m ³ /h
Pistolet elektryczny BM – G 84	5÷15	2,5÷8,5	4÷20	powietrze 1 m ³ /h energia elektryczna 15 kWh
Pistolet elektryczny BM – G 88	5÷15	2,5÷8,5	4÷20	powietrze 1 m ³ /h energia elektryczna 15 kWh

Tablica IV. Optymalne parametry eksploatacji podajnika materiałów powłokowych i ich wydajności [1]

Table IV. Optimal parameters and efficiency of powder feeder [1]

Materiał powłokowy	Napięcie prądu V	Wydatek gazu transportującego proszek dm ³ /min	Ilość podawanego materiału kg/h
NiAl	180÷200	20	2,64
Al ₂ O ₃	150÷170	16÷17	1,32
Al ₂ O ₃ + 10% NiAl	160	15÷16	1,34
Al ₂ O ₃ + 25% NiAl	160	14	1,50
Al ₂ O ₃ + 40% NiAl	160	15	1,53
Cr ₂ O ₃	160÷180	16÷17	1,44
Cr ₂ O ₃ + 10% NiAl	150	15	1,34
Cr ₂ O ₃ + 25% NiAl	150	15	1,28
Cr ₂ O ₃ + 40% NiAl	150	15	1,36
ZrO ₂	160÷170	18	1,50
ZrO ₂ + 10% NiAl	150	18	1,65
ZrO ₂ + 25% NiAl	150	18	1,60
ZrO ₂ + 40% NiAl	150	18	1,45
Cr ₃ C ₂ + 10% NiAl	160	20	2,61
Cr ₃ C ₂ + 25% NiAl	160	21	2,80
Cr ₃ C ₂ + 40% NiAl	160	20	2,59

By wyznaczyć wartość wydajności natryskiwania powłoki danym rodzajem materiału powłokowego (w m²/h) należy pomnożyć ilość osadzającego się materiału w kg/h przez wartość współczynnika korekcyjnego dla tego materiału.

Otrzymana wartość dotyczy wydajności natryskiwania powłoki (w m²/h) o grubości 0,1 mm. W celu wyznaczenia wydajności natryskiwania powłoki o pożądanej grubości (np. 0,3 mm) należy otrzymany wynik (wyrażony w m²/(h • 0,1 mm)) podzielić przez grubość powłoki, a ściślej przez hipotetyczną liczbę warstw o grubości 0,1 mm (tj. 3).

Otrzymuje się więc wydajność na godzinę natryskiwania danej powłoki o pożądanej grubości. Umożliwia to wyznaczenie niezbędnego czasu do wykonania powłoki na przedmiocie (elemencie) o znanej powierzchni.

Literatura

- [1] Morel S.: Opracowanie i wdrożenie technologii plazmowego natryskiwania powłok. Sprawozdanie z pracy BZ – 12 – 8/86 - CPBR 2.4. Politechnika Częstochowska 1990, niepublikowane.
- [2] Smolka K.: Natryskiwanie cieplne. Poradnik dla praktyków Seria Techniki spawalnicze, t. 15, Dusseldorf 1985.
- [3] Brennek J.: Nowe pistolety do natryskiwania cieplnego. Materiały Konferencyjne SITPH, Komitet Eksploatacji Maszyn i Urządzeń EKSPLOHUT' 88, Beskid Śląski 1988.
- [4] Morel S.: Powłoki natrykiwane cieplnie, Wyd. Politechniki Częstochowskiej, Częstochowa 1997.
- [5] Morel S.: Application of plasma-sprayed coatings in heat absorption by radiated walls. Archiwum Energetyki tom XLI nr 3-4/2011 s. 111-126.
- [6] Morel S.: Zastosowanie powłok w hutniczych urządzeniach grzewczych. Hutnik, Wiadomości Hutnicze nr 5/2011 s. 449-452.

Spotkania Spawalników w 2012

5 Warmińsko-Mazurska Biesiada Spawalnicza

Piaski k. Ruciane-Nida, 13-14.06.2012, Ośrodek Exploris.
Zgłoszenia i informacje: Mirosława Reschke, tel.: 58 511 28 01

I Dolnośląskie Sympozjum Spawalnicze

Wrocław, 20.06.2012, Wydział Mechaniczny Politechniki Wrocławskiej.
Zgłoszenia i informacje: Artur Lange, e-mail: Artur.Lange@pwr.wroc.pl

XI Szczecińskie Seminarium Spawalnicze

Szczecin, 6.09.2012, Wydział Inżynierii Mechanicznej i Mechatroniki Zachodniopomorskiego Uniwersytetu Technologicznego w Szczecinie. Zgłoszenia i informacje: Katarzyna Rudzka, tel.: 91 46 24 451

XVI Pomorskie Spotkanie Spawalników

Gdańsk, 13.09.2012, Wydział Mechaniczny Politechniki Gdańskiej.
Zgłoszenia i informacje: Iwona Janson, tel.: 58 511 28 00

I Kieleckie Spotkanie Spawalników

Kielce, 20.09.2012, Zakład Doskonalenia Zawodowego w Kielcach.
Zgłoszenia i informacje: Ewelina Janus, tel.: 41 368 74 80 w. 102

Organizatorzy

Linde Gaz Polska, Esab, Abicor-Binzel, Lincoln Electric, Technika Spawalnicza w Poznaniu, Urząd Dozoru Technicznego, Supra-Elco, Rywal-RHC, Belse, 3M, GCE, Eckert AS, Figel, Witt, Spaw-Ekspert, Trumf, Messner Eutectic Castolin

Materiały konferencyjne zawierające m.in. wybrane artykuły ze spotkań zostaną opublikowane w numerze 10/2012 miesięcznika naukowo-technicznego Przegląd Spawalnictwa