

Natryskiwanie plazmowe

Mikołaj Małecki 237339 K00-24b

1 kwietnia 2020

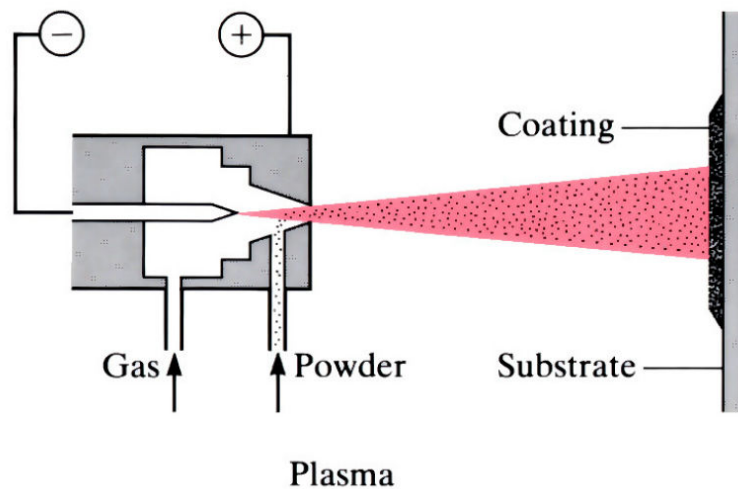
1 Wprowadzenie

Natryskiwanie plazmowe to technologia głównie odpowiedzialna za nanoszenie warstw, szeroko stosowana branżach:

- aeronautyki
- automotive
- przemysłowych turbin gazowych
- bioinżynierii, elektronice etc...

Technika ta stosowana jest ze względu na możliwość stosowania szerokiej gamy materiałów nanoszonych oraz szybkiego procesu nanoszenia powłoki (do kilku kilogramów na godzinę [1]). W przeciwieństwie do omawianej na wcześniejszych zajęciach techniki cold spray, w metodzie natryskiwania plazmowego czynnik roboczy doznaje przetopu w procesie nanoszenia warstwy - co ujednolica strukturę powłoki (polepszając same właściwości powłoki).

Żeby zrozumieć znaczenie tej technologii najpierw trzeba wyjaśnić nazwę. Słowo *natryskiwanie* oznacza wyrzut czynnika roboczego z określonymi parametrami za pomocą specjalnych głowic:



Rysunek 1: Koncepcja procesu natryskiwania plazmowego z elektrodowego palnika plazmowego [2]

Pomimo wielu zalet tego typu palnika i szerokiego zastosowania przemysłowego, posiada parę wad:

- niestabilny łuk
- erozja elektrod
- promieniowy wtrysk materiału roboczego

Drugim słowem, które trzeba wyjaśnić to sama *plazma*. Definicja wg. [3]:

Definition 1: Plazma

Zjonizowana materia o stanie skupienia przypominającym gaz, w którym znaczna część cząstek jest naładowana elektrycznie.

Z uwagi na naturę plazmy świetnie się ona nadaje do technik natryskowych odpowiednich elementów ze względu na jej wysoką energetyczność i możliwość kontrolowanego transportu czynnika w strumieniu.



Rysunek 2: Plazma widoczna w procesie natryskiwania plazmowego

2 Palniki plazmowe

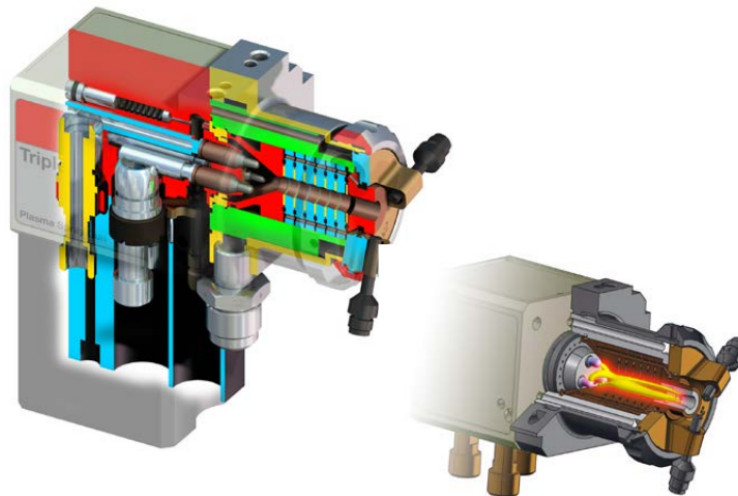
2.1 O konwencjonalnym palniku plazmowym

Strumień plazmy jest produkowany głównie przez stałoprądowe palniki plazmowe o prostej konstrukcji - składających się z katody w kształcie pręta domieszkowaną wolframem, ze stożkową końcówką i chłodzoną wodą miedzianą anoda. Zasadniczo wykorzystuje gaz o wysokiej masie atomowej (Ar, N₂) zmieszany z gazem o wyższej przewodności cieplnej (H₂, He) lub lepkości (He).

Konwencjonalny palnik działa przy niskim napięciu łuku (70 V), ale przy stosunkowo wysokich prądach (400–1 000 A). Wytwarza strumień plazmy o określonej entalpii w zakresie od 5 do 35 $\frac{MJ}{kg}$. Na wyjściu z dyszy temperatura gazu wynosi około 10 000–12 000 K a prędkość od 400 do 2600 m / s. Zazwyczaj materiał powłokowy wstrzykuje się do strumienia plazmy promieniowo do osi palnika kilka milimetrów przed lub za wylotem dyszy. [1]

2.2 Współczesne palniki plazmowe

Wysoka entalpia właściwa jest zasadniczo warunkiem natryskiwania materiałów ogniotrwałych, zapewnia to ich równomierną i homogeniczną strukturę. Zwiększanie natężenia prądu palnika oraz zawartości gazu dwuatomowego zwiększają entalpię lecz niestety zarazem przyspieszają zużycie narzędzia doprowadzając do erozji. Rozwiązaniem tego problemu jest zwiększenie napięcia zamiast prądu łuku, można to zrobić za pomocą kaskadowania anod składających się ze stosu miedzianych pierścieni izolowanych od siebie (z ang. *neutrodes*) który zakańcza pierścień anodowy, do którego przyczepia się łuk.



Cascading arc design (Triple cathode design)

Cascading arc technology is revolutionizing the plasma spray industry as customers realize the gains and profits from higher throughputs, improved process stability and reduced application costs.

Rysunek 3: Pistolet natryskowy z potrójną katodą firmy Oerlikon [6]

3 Technologie natrysku plazmowego

Rynek technologii natrysku plazmowego jest zdominowany przez rynek przemysłowych turbin - wykonywania powłok termicznych w celu ochrony powierzchni metalowych elementów w najgorętszych miejscach turbin używanych generacji elektryczności lub na przykład napędu samolotów.

Techniki plazmowe mogą być podzielone ze względu na kategorie: [4]

1. Sposób uzyskania strumienia plazmy

- prądem stałym (*DC plasma*)
- plazma wyindukowana (*RF plasma*)

2. Medium formujące plazmę

- plazma stabilizowana gazem (*gas-stabilized plasma: GSP*), gdzie plazma tworzy się z gazu - zazwyczaj argon, wodór, hel lub ich mieszaniny
- plazma stabilizowana wodą (*water-stabilized plasma: WSP*), w której plazma tworzy się z wody (poprzez odparowanie, dysocjację i jonizację) lub innej odpowiedniej cieczy
- plazma hybrydowa (*hybrid plasma*) z połączoną stabilizacją gazem i cieczą, zwykle argon i woda

3. Środowisko natryskowe

- atmosferyczne natryskiwanie plazmy (*atmospheric plasma spraying - APS*), wykonywane w powietrzu atmosferycznym
- rozpylanie plazmowe w kontrolowanej atmosferze (*controlled atmosphere plasma spraying - CAPS*), zwykle wykonywane w zamkniętej komorze, wypełnionej gazem obojętnym lub opróżnionej.
- odmiany CAPS: wysokociśnieniowe natryskiwanie plazmowe (*high-pressure plasma spraying: HPPS*), niskociśnieniowe natryskiwanie plazmowe (*low-pressure plasma spraying: LPPS*), których skrajnym przypadkiem jest próżniowe natryskiwanie plazmowe (*vacuum plasma spraying: VPS*)
- podwodne natryskiwanie plazmą

Literatura

- [1] Armelle Vardelle, Christian Moreau, Nickolas J. Themelis, Christophe Chazelas *A Perspective on Plasma Spray Technology*.
https://www.researchgate.net/profile/Armelle.Vardelle/publication/269419991_A_Perspective_on_Plasma_Spray_Technology/links/547000000cf900000000000000.pdf
- [2] The Open University *Thermal spraying (Hardfacing)*.
<https://www.open.edu/openlearn/science-maths-technology/engineering-technology/manupedia/thermal-spraying/>
- [3] Wikipedia *Plazma*.
<https://pl.wikipedia.org/wiki/Plazma>
- [4] Wikipedia *Thermal spraying*.
https://en.wikipedia.org/wiki/Thermal_spraying
- [5] MTUAeroEngines *Plasma Spraying in Engine Construction - Thermal Processes at MTU*.
<https://www.youtube.com/watch?v=sfbf0bSU1V0>
- [6] Oerlikon *Atmospheric Plasma Spray Solutions - Brochure*.
<https://www.oerlikon.com/metco/en/products-services/coating-equipment/thermal-spray/spray-guns/coating-equipment>