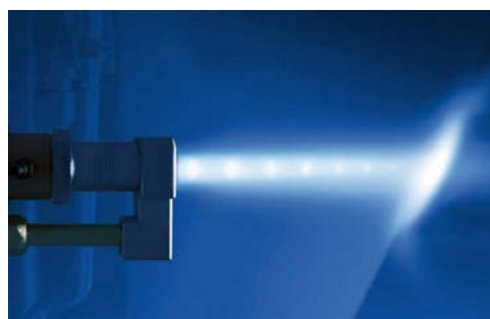




URZĄDZENIE DO NATRYSKIWANIA METODĄ HVOF TYPU JET KOTE II



STRUMIEN GAZÓW W METODZIE HVOF - WIDOCZNE TYPOWE „DIAMENTY” NA JEGO DŁUGOŚCI



URZĄDZENIE DO NATRYSKIWANIA METODĄ COLD SPRAYING



WYKRUSZONE KOŁO ZĘBATE W TRAKCIE REGENERACJI METODĄ CS

go jest rozpędzany do prędkości dźwięku. Nowe urządzenia, np. Hybrid Diamond Jet, zapewniają prędkość ziaren ponad 600 m/s. Rozwiązanie to przypomina silnik raketowy z dyszą zwiększającą prędkość wypływu gazu. Paliwem jest często nafta, rzadziej propylen, wodór

oraz propan. Metoda HVOF jest znacznie cichsza od natryskiwania detonacyjnego, ale z drugiej strony zapewnia mniejsze prędkości natrysku. Zaletą jest niemal ciągły charakter procesu, korzystny dla równomierności powłoki, która ma gładką powierzchnię i większą gęstość niż w przypadku natryskiwania plazmowego. Możliwe jest nanoszenie warstw węglkowych o grubości nawet ponad 6 mm. Niedogodności metody to ograniczona żywotność dysz i wysokie wymagania wobec materiału dodatkowego (a więc jego wyższa cena). Przyczepność warstw do podłoża jest większa niż w przypadku natryskiwania płomieniowego, ale mniejsza niż w przypadku natryskiwania detonacyjnego.

### Zimne natryskiwanie

Zimne natryskiwanie, czyli metoda CS (*cold spraying*), jest technologią najnowszą, gdyż jej pierwsze zastosowania przemysłowe pojawiły się dopiero kilkanaście lat temu. Stanowi ona w pewnym sensie rozwinięcie metody HVOF. Polega na rozpędzeniu ziaren materiału dodatkowego do takiej prędkości, aby nawet bez ich znacznego podgrzania energia zderzenia z podłożem zapewniała dobrą przyczepność. Ziarenka proszku o starannie dobranej granulacji są transportowane przez strumień gazu pod wysokim ciśnieniem (0,7-4,0 MPa), który ulega przyspieszeniu, przechodząc przez konwergentno-dywerгентną dyszę o specjalnej konstrukcji. Temperatura gazu wynosi zwykle do 700°C i jest zawsze niższa od temperatury topnienia materiału. Możliwe jest zastosowanie gazu obojętnego, gdyż nie zachodzi proces spalania, a więc nie jest potrzebny tlen. Skutkuje to całkowitym zabezpieczeniem materiału dodatkowego przed utlenianiem.

Stwierdzono także, że nawet użycie sprężonego powietrza powoduje jedynie znikome utlenienie powierzchni ziaren, ponieważ te mają niską temperaturę i przebywają w strumieniu bardzo krótko. Oznacza to, że metodą CS można nanosić warstwy nawet z metali o dużym powinowactwie do tlenu, bez ich istotnego utleniania. Np. przewodność elektryczna warstw wykonanych z miedzi wynosi 90% miedzi litej, podczas gdy inne metody natryskiwania, wskutek utleniania

ziaren, umożliwiają nanoszenie warstw o przewodności mniejszej niż 50%. Obecnie zimne natryskiwanie służy do nanoszenia stosunkowo plastycznych materiałów, poczynając od srebra, cyny, cynku, aluminium i miedzi, kończąc na tytanie, stopach niklu i NiCr. Nanosi się także warstwy dwuskładnikowe, w których ziarna o wysokiej twardości znajdują się w osnowie materiału plastycznego.

Dalsze zwiększenie przyczepności warstw jest możliwe dzięki nieznacznemu podgrzaniu ziaren materiału dodatkowego i dalszemu wzrostowi ich prędkości (od 1200 do 1500 m/s). Problemem pozostaje mała żywotność dysz, poddawanych silnemu działaniu abrazyjnemu przez ziarna materiału dodatkowego. Zaletą jest znikome podgrzewanie podłoża, co pozwala na pokrywanie stosunkowo grubymi powłokami metalicznymi nawet kruchej ceramiki i szkła. Porowatość warstw można ograniczyć do ok. 0,5%, a wydajność nanoszenia sięga nawet 15 kg/h.

### Nowe odmiany natryskiwania plazmowego

Spośród metod „klasycznych” największy potencjał rozwojowy ma natryskiwanie plazmowe. Dzięki zastosowaniu nowych głowic plazmowych uzyskuje się wydajność dochodzącą do 12 kg/h, podczas gdy w tradycyjnych urządzeniach wynosi ona nie więcej niż 3 kg/h. Zastosowanie metody SPS (*suspension plasma spraying*), czyli natryskiwania plazmowego zawieszin, umożliwia nanoszenie powłok o nadzwyczajnej drobnoziarnistości i grubości od 10 µm wzwyż. Materiałem dodatkowym jest bowiem bardzo drobnoziarnisty proszek (średnica nawet 100 nanometrów), podawany do głowicy jako zawieszina w cieczy transportującej.

Metoda VLPPS (*very low pressure plasma spraying*), czyli natryskiwanie plazmowe pod bardzo niskim ciśnieniem, umożliwia tworzenie warstw o bardzo małej grubości i wysokiej jednorodności, np. gazoszczelne powłoki o grubości mniejszej niż 50 µm. Ciśnienie natryskiwania nie przekracza zwykle 100 Pa.

### Zastosowanie laserów

Trwają eksperymenty w zakresie natryskiwania laserowego, które należy zaliczyć

do metod klasycznych, gdyż przyczepność warstw zależy w nim głównie od temperatury ziaren materiału dodatkowego w chwili ich zderzenia z podłożem. Zastosowanie lasera jako źródła ciepła ma zapewnić wyższą temperaturę oraz dłuższy czas nagrzewania materiału dodatkowego. Możliwość bardzo precyzyjnego regulowania mocy wiązki i jej ogniskowania zapewnia pełną kontrolę nagrzewania podłoża i optymalne wydatkowanie energii cieplnej. Mimo tego korzyści płynące z zastąpienia innych źródeł ciepła wiązką lasera nie uzasadniają obecnie ponoszonych kosztów, więc głównym obszarem natryskiwania laserowego będą procesy w skali mikro, gdzie nanosi się powłoki na bardzo małe powierzchnie, a zawsze rozbieżny strumień wytwarzany przez „klasyczne” głowice skutkuje bardzo dużymi stratami materiału dodatkowego. Szybko rośnie natomiast udział technologii laserowych w hybrydowych procesach natryskiwania.

### Natryskiwanie hybrydowe

Jest to połączenie co najmniej dwóch metod, a dokładniej: sposobów nagrzewania materiału dodatkowego. Pierwsze wdrożone rozwiązania to połączenie natryskiwania plazmowego z łukowym topieniem materiału dodatkowego. Bardzo ciekawa wydaje się koncepcja precyzyjnego przetapiania laserowego warstw natryskiwanych inną metodą, np. z topieniem łukowym lub plazmowym. Wiązka laserowa ma zapewnić ogrzanie tylko warstwy naniesionej do temperatury jej stopienia, bez przetopienia podłoża. Nadal jest to więc natryskiwanie, a nie napawanie, ale właściwości warstwy naniesionej mogą być zdecydowanie inne, niż w przypadku klasycznego natryskiwania. Np. porowatość można zredukować w ten sposób niemal do zera, a przyczepność do podłoża może istotnie wzrosnąć wskutek przyspieszonej dyfuzji. Stosowane są w tym celu zwykle lasery neodym-YAG o dużej mocy. Do technologii hybrydowych zalicza się także natryskiwanie plazmowe, gdzie

plazma jest generowana dwoma sposobami, np. bezpośrednim działaniem łuku elektrycznego i indukcją prądami wysokiej częstotliwości (*radio frequency plasma*).

Omówione powyżej metody znacząco rozszerzają wachlarz zastosowań natryskiwania, przede wszystkim dzięki zwiększeniu przyczepności warstw do podłoża oraz zmniejszeniu ich porowatości, a także dzięki zredukowanemu utlenianiu składników. Na jeszcze większą niż dotychczas skalę możliwe jest tworzenie części maszyn i elementów konstrukcji o właściwościach, których nie zapewniają żadne materiały monolityczne. Natryskiwanie wiąże się jednak ciągle z relatywnie wysokimi kosztami, a problemy związane z jednorodnością i przyczepnością warstw zwiększają się wraz ze wzrostem ich grubości.

\* dr inż. Tomasz Szulc jest adiunktem w Zakładzie Spawalnictwa Instytutu Technologii Maszyn i Automatyki Wydziału Mechanicznego Politechniki Wrocławskiej

WWW.TEDGUM.PL TEL: (32) 240 15 43

**NAJWIĘKSZY ASORTYMENT  
PRODUKCJI ELEMENTÓW  
ZAWIESZENIA**

DOSTĘPNY W NAJWIĘKSZYCH HURTOWNIACH MOTORYZACYJNYCH





FOT. CENTERLINE, CNRC MCGILL, DEIORO STELLITE, SULZER METCO