

# Natryskiwanie termiczne



**TOMASZ SZULC**

POLITECHNIKA WROCŁAWSKA\*

**NATRYSKIWANIE TERMICZNE MOŻE BYĆ STOSOWANE DO REGENERACJI CZĘŚCI MASZYN, CZYLI ODTWORZENIA GEOMETRII I WŁAŚCIWOŚCI ZUŻYTYCH POWIERZCHNI, ALBO ICH USZLACHTNIANIA POPRZECZ NADANIE IM NOWYCH CECH**

Warstwy natryskiwane stosowane do regeneracji zużytych części mogą mieć skład taki sam, jak materiał rodzimy, ale ma to sens tylko wtedy, gdy podczas regeneracji nie można dopuścić np. do utraty właściwości przedmiotu obrobionego cieplnie, a właściwości warstwy wierzchniej nie odgrywają istotnej roli. W przytaczającej większości aplikacji korzysta się z faktu, że powłoki natryskiwane mogą mieć skład istotnie inny od składu podłoża. Dlatego np. podczas regeneracji powierzchni zużytych ściernie nanosi się warstwy albo odporniejsze na ścieranie niż materiał rodzimy, albo o znacznie wyższych właściwościach ślizgowych. W przypadku powierzchni zużytych wskutek erozji nakłada się powłokę o wysokiej odporności erozyjnej itd. Dzięki temu części regenerowane wykazują często trwałość kilkakrotnie wyższą niż fabrycznie nowe.

Znacznie większe są możliwości zastosowania natryskiwania do uszlachtniania powierzchni już na etapie ich produkcji. Można uzyskać części o właściwościach

nieosiągalnych dla klasycznych, jednorodnych materiałów. W takim przypadku właściwości rdzenia mogą być istotnie różne od warstwy wierzchniej. Dzięki temu konstrukcja może być np. znacznie lżejsza lub choćby znacznie tańsza od monolitycznej, a przy tym wykazywać wyższe walory eksploatacyjne.

## Zastosowania

Typowe zastosowania warstw natryskiwanych to tworzenie powłok odpornych na ścieranie, erozję gazową i korozję albo odznaczających się podwyższonymi właściwościami ślizgowymi, izolacyjnością cieplną lub podwyższoną przewodnością cieplną i elektryczną.

Dodatkowe efekty można uzyskać, stosując specjalne procedury technologiczne. Porowate warstwy można uszczelniać, przesycając je tworzywami sztucznymi. Przesylenie cieczami o dobrych właściwościach smarnych umożliwia tworzenie powierzchni samosmarujących. Możliwa jest obróbka cieplna, a nawet przetapie-

nie naniesionych warstw (bez nadtopienia podłoża). Obróbkę mechaniczną uznaje się zwykle za niewskazaną.

W przemyśle samochodowym natryskiwanie znajduje zastosowanie głównie przy wytwarzaniu takich części, jak: liczne elementy turbosprężarek, elementy układu wydechowego, pierścienie tłokowe (Mo + NiCrSiB), dysze wtrysku paliwa (Mo), korony tłoków (tlenki metali), powierzchnie ślizgowe wałów korbowych i rozrządu, wewnętrzne powierzchnie bloków cylindrowych (bariery cieplne), tarcze hamulcowe ( $Cr_3C_2$ ), pierścienie synchronizatorów (Mo), gniazda i grzybki zaworów ( $ZrO_2 + Y_2O_3$ ), osłony czujników temperatury.

Regeneracyjne zastosowania natryskiwania wobec części samochodowych są jeszcze bardziej zróżnicowane.

## Zalety i wady

Ogromną zaletą tej technologii jest możliwość nanoszenia niemal dowolnych powłok metalicznych i wielu niemetalicznych na metaliczne i niemetaliczne podłoża. Pozwala to tworzyć struktury warstwowe o zróżnicowanych właściwościach rdzenia i warstwy wierzchniej. Kolejną zaletą jest znikome nagrzewanie podłoża podczas natryskiwania, co pozwala uniknąć ryzyka powstania naprężeń i odkształceń cieplnych konstrukcji. Można także dzięki temu nanosić warstwy na przedmioty o bardzo małej grubości. Wśród innych zalet wymienić należy: możliwość nanoszenia warstw o zróżnicowanej grubości, od setnych części mm do kilkudziesięciu mm, oraz wielość dostępnych technik natryskiwania, co umożliwia ich optymalny dobór do konkretnych potrzeb.

Stabiści natryskiwania to przede wszystkim ograniczona przyczepność warstw do podłoża, niejednorodność struktury warstwy oraz jej porowatość. Wpływ tych niekorzystnych właściwości można w pewnym zakresie ograniczyć przez właściwy dobór technologii oraz składu nanoszonej warstwy.

## Mechanizm tworzenia warstw

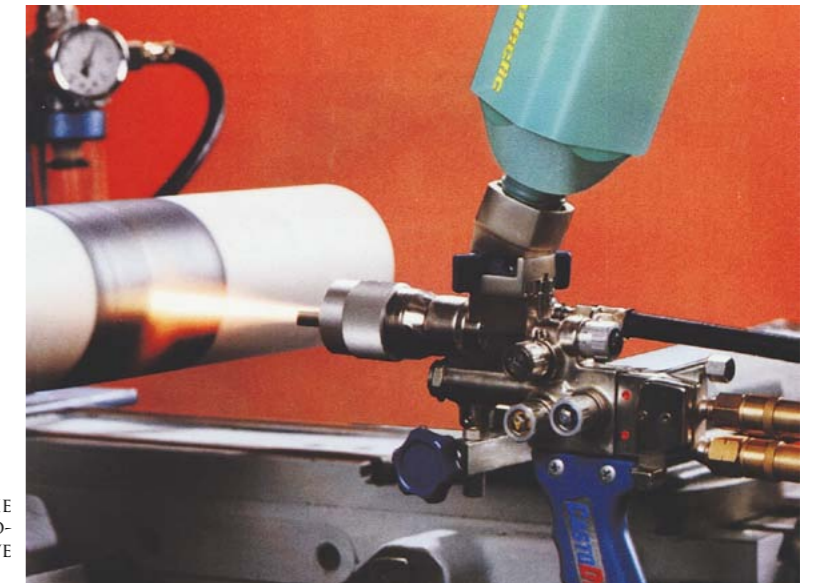
Warstwa jest złożona z pojedynczych cząstek, które powstają wskutek topienia i rozpylania materiału dodatkowego. W strumieniu gazu transportującego cząsteczki ulegają utlenianiu, czyli pojawiają się na ich powierzchni powłoka tlenkowa. Jeśli metale mają wysokie powinowactwo do tlenu, a temperatura procesu jest wysoka i odległość natryskiwania znaczna, istnieje możliwość całkowitego utlenienia cząsteczek. Na trajektorii lotu cząsteczki również stygną i jedynie w przypadku niektórych technologii i materiałów docierają do podłoża w stanie ciekłym. W innych przypadkach jest to stan stały o wysokiej plastyczności, a dla cząsteczek o dużym rozdrobnieniu możliwe jest ich niemal zupełne schłodzenie w locie.

W chwili zderzenia z podłożem cząsteczki mają zwykle zbyt niską temperaturę, aby zespać się z nim, czyli stworzyć połączenie kohezyjne. Obecność powłok tlenkowych ogranicza możliwość powstania połączeń dyfuzyjnych, dlatego głównymi mechanizmami powiązania warstw z podłożem są: adhezja i mechaniczne zakleszczanie się ziaren powłoki w nierównościach podłoża. Ogromnie więc ważne podczas natryskiwania jest staranne oczyszczenie powierzchni podłoża oraz jej rozwinięcie przez obróbkę mechaniczną (toczenie, obróbka strumieniowo-ścierna), chemiczną (trawienie) lub elektrochemiczną. Niezależnie od tego przyczepność warstw do podłoża jest niewielka.

## Sposoby zwiększania przyczepności

Oprócz starannego przygotowania podłoża możliwe są dodatkowe zabiegi, zwiększające przyczepność. Najbardziej popularne jest zastosowanie powłok podkładowych, nazywanych też warstwami pośrednimi. Początkowo były one wykonywane głównie z molibdenu, który wykazuje zwiększoną skłonność do tworzenia połączeń dyfuzyjnych z podłożem.

Następną grupę materiałów na takie powłoki stanowią kompozyty metaliczne (przeważnie aluminium-nikiel w różnych proporcjach), których składniki reagują ze sobą w wyniku nagrzania, wydzielając duże ilości ciepła. Dzięki temu proces stygnięcia cząsteczek w locie jest znacznie wolniejszy, a egzotermiczna reakcja trwa



NATRYSKIWANIE PŁOMIENIOWO-PROSZKOWE



NATRYSKIWANIE PŁOMIENIOWE Z UŻYCIEM DRUTU

czasem jeszcze po zderzeniu cząsteczki z podłożem, które lokalnie może nagrzać się w stopniu umożliwiającym powstanie mikrosposoin.

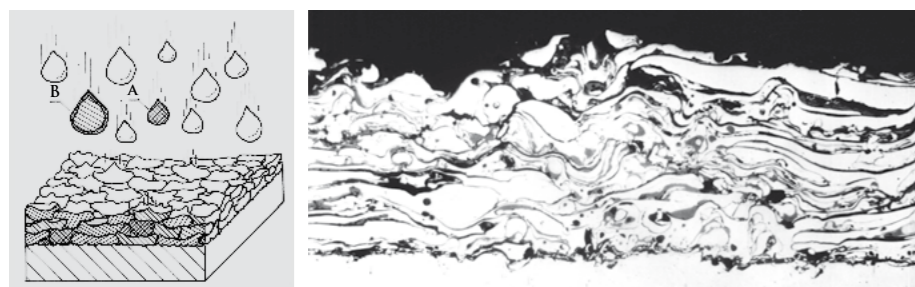
## Materiały dodatkowe

Materiał dodatkowy jest zwykle dostarczany w postaci proszków o różnej ziarnistości lub drutów. Proszki mogą być jednorodne, kompozytowe (wieloskładnikowe) lub mieszane, a druty: jednorodne lub kompozytowe. Oznacza to niemal nieograniczone możliwości dobierania składu, a w pewnym stopniu – i struktury nanoszonej warstwy. Unikalną możliwością, jaką stwarza natryskiwanie, jest tworzenie wieloskładnikowych powłok z komponentów, które normalnie nie tworzą stopów. Materiały niemetalowe to: ceramika, ceramika

wymieszana z metalami oraz tworzywa sztuczne. Ponieważ interakcje warstwy z podłożem są minimalne, skład warstwy można dobierać niemal niezależnie od składu podłoża. Należy natomiast uwzględnić, że w przypadku niektórych technologii znaczący może być ubytek składników materiału dodatkowego wskutek jego wypalenia. Np. przy natryskiwaniu łukowym stali ubytek węgla może dochodzić do 45%, a krzemu i manganu – do 50%.

## Technologie natryskiwania

Technologia natryskiwania jest starsza niż klasyczne technologie spawania, gdyż została opisana przez Schoopa już w 1882 r. jako proces nanoszenia warstw otwieranych na podłożu żelazne. Na przełomie wieku XIX i XX pojawiły się →



Z LEWEJ: SCHEMAT PROCESU NATRYSKIWANIA WARSTWY, A - KROPLA METALU CAŁKOWICIE UTLENIONA, B - KROPLA Z POWŁOKĄ TLENKOWĄ NA POWIERZCHNI. Z PRAWY: PRZEKRÓJ POWIERZCHNI WARSTWY. WIDOCZNA POROWATOŚĆ I NIEJEDNORODNOŚĆ WARSTWY

FOT. T. SZULC

FOT. CASTOLIN-EUTECTIC, OSU