

mgr inż. Joachim MAIER, mgr inż. Thuy-Vu TRAN, dr Rolf H. BECKERT
WEFA Inotec GmbH, Singen, Niemcy
E-mail: joachim.maier@wefa.com

Badanie zużycia powłok CVD nakładanych w wysokiej (HT) i średniej temperaturze (MT) stosowanych w matrycach do wyciskania

Wear investigation on high temperature (HT) and medium temperature (MT) CVD coating for extrusion die application

Streszczenie

Technologia powlekania wysokotemperaturowego HT-CVD jest powszechnie stosowana w matrycach do wyciskania aluminium, do wielkoskalowych zastosowań w motoryzacji, budownictwie oraz produkcji paneli solarnych. Matryce z powłoką CVD zapewniają dłuższą trwałość, lepszą stabilność wymiarową, małe zapotrzebowanie na konserwację oraz wyższą wydajność. Niniejszy artykuł przedstawia aktualne osiągnięcia w dziedzinie powłok średniotemperaturowych MT-CVD, wykazujące dobre rezultaty w zakresie drobniejszej i kolumnowej struktury ziaren, jak też możliwość dodawania pierwiastków w celu zmniejszenia przywierania określonych stopów aluminium i ścierania. Mikrostruktura różnych stopów aluminium przywierających do powierzchni kalibrujących została porównana z innymi rodzajami powłok HT-CVD oraz z azotowaniem. Żywotność próbek z powłokami MT-CVD i HT-CVD została zbadana w długotrwałym badaniu tribologicznym oraz porównana z rzeczywistymi wadami powłok matryc.

Abstract

High temperature HT-CVD coating technology is well established for aluminum extrusion dies for high-volume applications like automotive, construction and solar profiles. CVD coated dies are suitable for higher die life, better dimensional stability, low maintenance and higher productivity. The paper will discuss current developments with medium temperature MT-CVD coatings showing good results in terms of finer and columnar grain structure as well as the possibility of doping of elements to reduce adhesion of specific Aluminum alloys and abrasion. The microstructure of the different Al-alloys sticking to the bearing will be compared with other HT-CVD coating types and nitriding. In a long-term tribological test stand the lifetime of the MT-CVD and HT-CVD probes were tested and compared with real die coating failures.

Słowa kluczowe: wysokotemperaturowe powlekanie metodą CVD, średniotemperaturowe powlekanie metodą CVD, matryce do wyciskania aluminium, tester tribologiczny

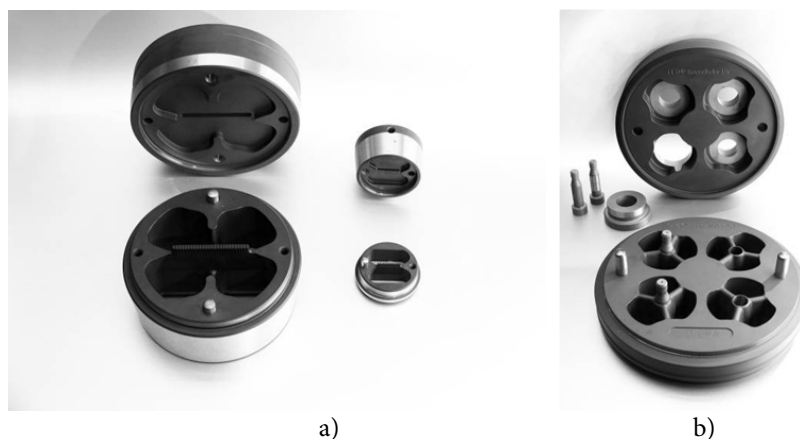
Keywords: HT- and MT-CVD coating, aluminium extrusion dies, tribo wear tester

1. WSTĘP

Powłoki CVD często stosowane są w matrycach wielootworowych do wytwarzania rurek wymienników ciepła (rys. 1), rurek okrągłych oraz innych płaskich i otworowych profili.

1. INTRODUCTION

CVD coatings today are regularly applied to high volume applications like multi-micro-port for heat exchanger (Fig. 1), round tubes and other appropriately shaped flat and hollow profiles.



Rys. 1. Matryce z powłoką CVD do (a) profili wymienników ciepła i (b) matrycy z 4 wgłębieniami z technologią wprowadzania

Fig. 1. CVD coated extrusion dies for (a) heat exchanger profiles and (b) 4-cavity porthole die with insert technology

Na coraz bardziej globalnym rynku zakłady zajmujące się wyciskaniem profili poddawane są ogromnym naciskom finansowym, gdy równocześnie rosną wymagania dotyczące matryc. Matryce do wyciskania muszą być dostosowane do wysokich prędkości wyciskania, muszą mieć niskie koszty konserwacji, zachowywać doskonałą dokładność wymiarową podczas użytkowania i mieć długą żywotność. Wszystkie te wymagania są powiązane z odpornością na zużycie, którą można uzyskać poprzez zastosowanie matryc z powłoką CVD. Istnieją dwie metody zwiększania jakości powierzchni utwardzanych matryc: azotowanie i nakładanie powłok.

Azotowanie jest najbardziej powszechną metodą zwiększania jakości powierzchni matryc. Główną wadą azotowania jest zanikanie warstwy azotku wraz ze wzrostem temperatury. Przykładowo w temperaturze 500°C warstwy azotku zużywają się w ciągu 15 godzin. Ponowne azotowanie jest możliwe, lecz prowadzi do dodatkowych etapów procesu, a więc rosnących kosztów i problemów logistycznych; mogą też wystąpić problemy z jakością. Liczba procedur ponownego azotowania jest ograniczona, gdyż wymiary matryc ulegają zmianie i w pewnym momencie przestają spełniać normy jakości i dokładności [1].

W celu uniknięcia wymienionych wad azotowania opracowana została nowa technologia nakładania powłok na matryce. Wysiłki przemysłu narzędzi skrawających, mające na celu stworzenie odpornych na zużycie narzędzi z powłokami TiN, TiC lub TiCN na bazie tytanu, były podstawą tej pracy [2]. Obecnie istnieją dwie główne

In an increasingly global market, extrusion plants are under enormous cost pressure and the requirements on the dies continue to escalate. Extrusion dies must be capable of high extrusion speeds, have low maintenance costs, maintain excellent dimensional performance throughout their use and have long lifetimes. All of these demands are connected to the capacity of wear resistance which can be established by the use of CVD coated dies. There are two different main methods to increase the surface conditions for hardened ex-trusion dies, nitriding and coating technology.

Nitriding is the most common method to increase the surface conditions of dies. The major disadvantage of nitriding is the disappearance of the nitride layer with increasing temperature. In temperature conditions of 500°C for instance, nitriding layers disappear within 15 hours. Re-nitriding is possible but leads to additional process steps and thus increased costs and logistical supply problems; quality problems may also occur. The number of re-nitriding procedures is limited as the dimensions of the dies will change and at a certain point will not fulfill quality and precision standards any more [1].

In order to avoid the mentioned disadvantages of nitriding, a new coating technology for extrusion dies was developed. The efforts made in the cutting tool industry in creating wear-resistant tools with titanium TiN, TiC or TiCN based coatings were the basis for this work [2]. Two main coating technologies currently exist:

technologie powlekania: fizyczne (PVD) i chemiczne (CVD) osadzanie par. Mówiąc ogólnie, twarde warstwy, utworzone przy użyciu technologii CVD lub PVD, zmniejszają tarcie między aluminium i powierzchnią matrycy, obniżając temperaturę procesu i zużycie matrycy.

Ponieważ nie ma możliwości pokrycia wewnętrznych części matrycy w sytuacjach, gdy przykładowo powierzchnia kalibrująca miała stosunek szerokości paska do grubości szczeliny mniejszy niż jeden, technologia PVD nie był do niedawna stosowana. Zamiast tego udało się wytworzyć wiele profili przy użyciu powlekanych matryc do wyciskania (CED) z zastosowaniem technologii CVD. Przy powlekanii matrycy powłoką CVD można osiągnąć żywotność ponad 100 000 m profilu, zależnie od jego kształtu. Ze względu na niższe tarcie temperatura wyciskania profili może również ulec obniżeniu, umożliwiając wyższe prędkości wyciskania niż w przypadku matryc niepowlekanych. Działanie matryc z powłokami CVD w prasach jest podobne do standardowych pod względem czasu rozgrzewania oraz temperatury matrycy i obudowy.

W większości procesy wysokotemperaturowe HT-CVD są stosowane tam, gdzie komora procesowa musi mieć temperaturę powyżej 1000°C. Ponieważ tak wysokie temperatury są stosowane w dłuższym procesie powlekania, może to powodować ponowne zmiękczenie stalowego materiału bazowego narzędzia i jego odkształcenia, co może niekorzystnie wpływać na proces wyciskania, firma WEFA opracowała i wdrożyła nowy proces średnotemperaturowy MT-CVD, w którym można stosować o wiele niższe temperatury [3].

2. TECHNOLOGIA POWLEKANIA CVD

Pierwsza masowa produkcja matryc powlekanych metodą CVD, w oparciu o stale narzędziowe do pracy na gorąco, miała miejsce w odniesieniu do matryc wielootworowych (MMP) do profili wymienników ciepła. Wcześniej powszechnie stosowane były matryce z węglików spiekanych. Jednak użycie twardego metalu jako materiału podłoża matrycy czyni ją bardziej podatną na pęknięcia niż przy zastosowaniu stali narzędziowej do pracy na gorąco. Jest to powodem sukcesu tej stali z powłoką CVD w zastosowaniach

physical (PVD) and chemical (CVD) vapour deposition. Generally spoken, hard layers produced either by CVD or PVD technology reduce friction between aluminium and the die surface and thus reduce the process temperature and wear on the extrusion die.

As there is the inability to coat inner parts of the die in situations, for example, where bearings have a diameter to depth ratio lower than one PVD technology has not been used recently. Instead in the meantime there have been multiple successfully produced profiles using CVD coated extrusion dies (CED). With a CVD coated die a lifetime of over 100.000 m profile can be reached, depending on the profile geometry. Due to reduced friction the temperature of the extruded profiles can also be decreased, allowing for much higher extrusion speeds than with uncoated dies. The operation of CVD dies in the extrusion presses is similar to standard shape dies in terms of heating-up time and temperature of the die, bolster and container.

Mostly high temperature HT-CVD processes are used where the process chamber needs to be at higher temperatures than 1000 °C. As these high temperatures are applied over a longer coating process time this may cause a re-softening of the tool steel base material and warping of tooling which would be counter productive for the extrusion process WEFA has developed and implemented a new medium temperature MT-CVD process where much lower process temperatures can be used [3].

2. CVD COATING TECHNOLOGY

The first mass production application for CVD coated dies based on hot tool steels was in the area of micro- and multi-micro port dies (MMP) for heat exchanger profiles. Before that carbide dies were most commonly used. However, using hard metal as the substrate material of the extrusion die makes it more susceptible to breakage than when using hot tool steel. This is the reason for the success of CVD coated hot tool steel in aluminium extrusion applications, especially for micro-port dies. WEFA has developed this

do wyciskania aluminium, zwłaszcza w matrycach wielootworowych. Firma WEFA opracowała tę technologię i jest właścicielem patentów na „Proces produkcji narzędzia do wyciskania przy użyciu procesu CVD” [4].

Nowoczesne powłoki CVD do matryc są w większości systemami wielowarstwowymi. Istotą jest połączenie różnych systemów warstwowych w celu uzyskania jak najlepszych rezultatów w zakresie szybkości zużycia, wiązania i twardości.

Wysokotemperaturowy proces nakładania powłok HT-CVD jest opisywany przez temperaturę, ciśnienie, skład gazu i przepływ. Temperatura jest odpowiedzialna za mikrostrukturę, twardość, morfologię i jakość powierzchni powłoki, a ciśnienie jest związane z jednorodnością i dyspersją. Skład gazu i przepływ wpływają na wiązanie i strukturę powłoki.

Potencjalne wady procesu HT-CVD obejmują wyższą tendencję do kruchości, wzrostu ziaren i granic ziaren w podłożu, powodowanych przez działanie wysokiej temperatury rzędu 1000°C i wyżej. W rezultacie może to prowadzić do znacząco obniżonej ciągliwości. Dlatego nowy proces osadzania powłoki w niższej temperaturze został opracowany dla jeszcze wyższej trwałości matryc dzięki powłoce MT-CVD.

Proces MT-CVD w zakresie temperatur między 700 i 950°C nie powodował pogorszenia struktury podłoża, co z kolei prowadziło do znacznie wyższej ciągliwości i sprężystości. Zastosowanie określonych prekursorów w MT-CVD ukształtowało jednorodną powierzchnię i korzystną kolumnową strukturę, charakteryzującą się sąsiadującymi ze sobą, zwykle równoległymi do siebie i prostopadłymi do podłoża kierunkami wzrostu (rys. 2 i 5). W porównaniu z warstwami utworzonymi w procesie HT-CVD mikroskopią elektronową skaningową wykazuje, że chropowatość powierzchni struktury MT jest o wiele mniejsza niż HT, co obiecuje lepszą jakość powierzchni profili i mniejsze przyczepianie się wyciskanego materiału, a więc mniejsze nagrzewanie podczas procesu wyciskania. To ponownie może prowadzić do wyższej wydajności na skutek możliwej większej prędkości wyciskania. Można także oczekiwać lepszej jakości powierzchni profilu lub mniejszej liczby przerw w celu czyszczenia matrycy, zwłaszcza dla stopów Al o tendencjach do przyczepiania.

technology and holds the patents for the “process for manufacturing an extrusion tool using a CVD process” [4].

Modern CVD coatings for extrusion dies are mostly multi-layer systems. The target is to combine different layer systems in order to get the best results in wear ratio, bond and hardness.

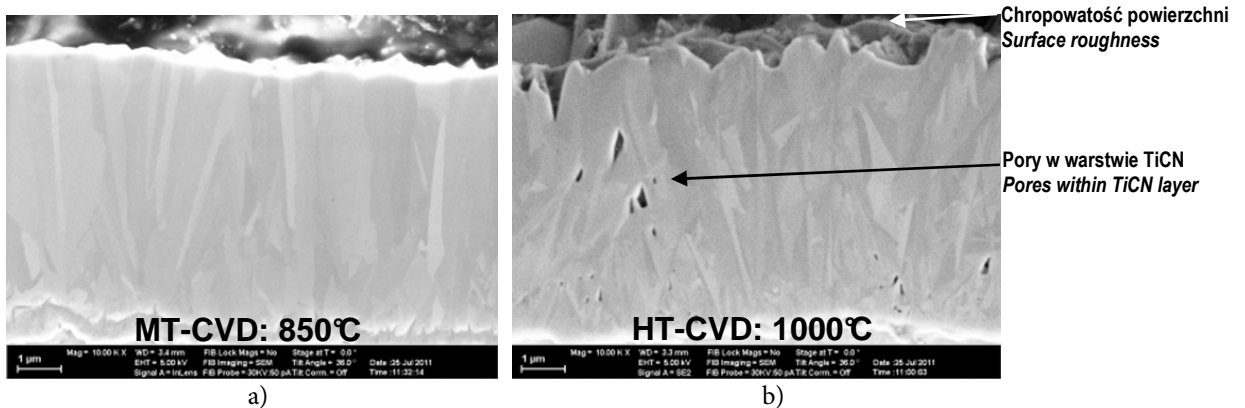
The High Temperature HT-CVD coating process is determined by the parameter temperature, pressure, gas composition and flow rate. The temperature is responsible for microstructure, hardness, morphology and surface quality of the coating while the pressure is connected to the uniformity and the dispersion. Gas composition and flow rate influence coating bond and structure.

The potential disadvantages of HT-CVD are higher tendency for embrittlement, grain growth and grain boundaries in the substrate caused by high coating temperatures at about 1000 °C or more. The result might lead to a significantly reduced toughness. Therefore a new coating process using lower temperatures has been developed for even higher extrusion die lifetime by means of MT-CVD coating.

MT-CVD on the basis of temperatures between 700°C up to 950°C caused no deterioration of the substrate structure, which in turn leads to the fact that it promotes a much higher toughness and elasticity. Using certain precursors MT-CVD formed a homogenous surface and an advantageous columnar structure, which is characterized in that it comprises an adjacent, typically parallel to each other and perpendicular to the substrate surface oriented growth direction (Fig. 2 and 5). Compared to layers grown by HT-CVD the SEM results show that the surface roughness of the MT-structure is much finer than for the HT-structure which promises better surface quality of profiles and less sticking of the extrusion material and thus less heating up during the extrusion process. This again might lead to a higher productivity due to a higher extrusion speed possible. One can expect also a better profile surface quality or less interruptive actions due to die cleaning especially for sticky Al-alloys.

Poza tym prekursor jest odpowiedzialny za zapewnienie przesunięcia stosunku węgiel/azot w kierunku węgla, co zapewnia większą twardość warstwy MT-CVD niż HT-CVD. Do analizy składu chemicznego warstwy powłoki oraz podłoża użyta została metoda spektroskopii masowej [5]. Kolejnym istotnym wynikiem nowego procesu MT, który jest zauważalny na obrazach SEM, jest niższa porowatość systemu warstw MT (rys. 2a). Generalnie zaobserwować można drobniejszą kolumnową strukturę oraz mniejszą chropowatość powierzchni w porównaniu z HT-CVD (rys. 2b).

Furthermore, the precursor is responsible for ensuring that the carbonate/nitrogen ratio in the direction of carbonate moves what ensures that the layer of the MT-CVD is harder than the layer of HT-CVD. A mass spectroscopy method was used to analyse to chemical compositions in the coating layer also to the substrate [5]. Another important result of the new MT process which can be seen in the SEM pictures is that fewer pores could be found in the MT-layer system (Fig. 2a). Generally a finer columnar structure and a finer surface roughness can be observed compared to HT-CVD (Fig. 2b).



Rys. 2. Obraz SEM przekroju poprzecznego (a) MT-CVD i (b) HT-CVD

Fig. 2. SEM of cross-sections (a) MT- and (b) HT-CVD

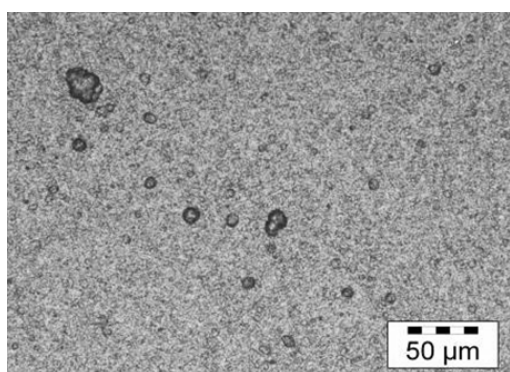
Kolumnowa struktura poprawia charakterystykę zużycia, zmniejszając chropowatość powierzchni i poprawiając rozproszenie domieszek. Dzięki tej strukturze domieszki mogą łatwo reagować lub rozpraszać się w niskiej temperaturze. Ta zaleta procesu MT-CVD umożliwia bezproblemowe dodawanie pewnych pierwiastków przy silnym rozproszeniu do innych warstw lub do podłoża [6], co nie byłoby możliwe w procesie HT-CVD przy temperaturze powyżej 950°C. Dzięki temu obecnie opracowywane są nowe rodzaje powłok z nowymi domieszkami w celu wyciskania trudno odkształcalnych stopów z dużą zawartością Si lub silnie przywierających, z dużą zawartością Cu lub Mg.

Inną spodziewaną korzyścią struktury MT jest poprawione rozpraszanie ciepła, wynikające z lepszego przepływu termicznego w kolumnowej strukturze. Szczególnie ciepło wytwarzane podczas wyciskania przez sam proces będzie lepiej rozpraszane z materiału profilu do matrycy, utrzymując bardziej stabilną temperaturę procesu.

The columnar structure increases the wear characteristics, reducing the surface roughness and improves the diffusivity of dopants. Based on the columnar structure the dopants can easily react or diffuse at low temperature. This advantage of the MT-CVD process enables doping of some elements without any problem with strong diffusion to other layers or into the substrate [6], which would not be possible with HT-CVD at coating temperatures over 950°C. Thus some new coating types with implantation of new dopants are now under development for extrusion of hard push alloys with high Si or sticking alloys with high Cu or Mg content.

Another expected advantage of the MT-structure is the improved heat dissipation which is due to the better thermal flow in the columnar structure. Especially the heat generated during extrusion by the process itself will dissipate better from the profile material into the extrusion die keeping the process temperature more stable.

W procesie wyciskania bardzo ważne jest, aby narzędzie było wolne od cząsteczek oraz głębokich rowków. Jest to nawet bardziej istotne dla procesu MT-CVD. Na skutek wzrastającej kolumnowej struktury podczas MT-CVD cząsteczka na powierzchni może bezpośrednio zmieniać kierunek wzrostu, powodując porowatość w warstwie powłoki lub wygląd powierzchni podobny do cząstek (rys. 3 i 4). Będzie to skutkowało zwiększonym tarciem lub nawet łatwym uszkodzeniem powłoki podczas procesu wyciskania. Z tego względu kluczowa jest jak najwyższa czystość procesu przygotowawczego.



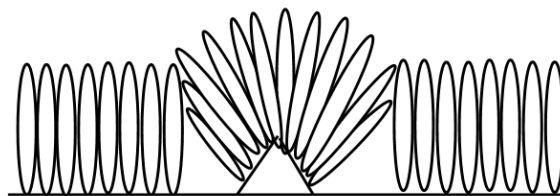
Rys. 3. Cząsteczki po powlekanii

Fig. 3. Particles after coating

Na skutek niższej temperatury procesu możliwe jest teraz dodawanie pierwiastków. Przykładowo domieszka boru prowadzi do uzyskania jeszcze drobniejszej struktury, wyższej twardości i znacznego obniżenia przywierania. Właściwości te oferują lepsze wyniki procesu wyciskania, szczególnie w przypadku aluminium z domieszką krzemu, przy zawartości Si powyżej 0,7%, jak np. EN-AW6082.

W odróżnieniu od konwencjonalnie powlekanych lub niepowlekanych matryc wyższa jakość powierzchni profilu na skutek mniejszej chropowatości powierzchni w MT-CVD (rys. 5b) wykazuje w szczególności gładzsze i dokładniejsze wykończenie powierzchni niż HT-CVD (rys. 5a). Zastosowanie warstwy MT ma być wdrożone w elegancki i efektywny sposób jako uzupełnienie znanej wysokotemperaturowej technologii powlekania takich elementów ze stali narzędziowej do pracy na gorąco jak matryca do wyciskania. Ta wspomniana powłoka jest jedno- lub wielowarstwowa z nakładaną naprzemiennie warstwą funkcjonalną, formowaną przykładowo w wysokiej temperaturze, tworząc efektywną kombinację.

For the coating process it is very important that the tool will be free of particles as well as free from deep grooves. This is even more relevant for the MT-CVD process. Due to the columnar growing structure during MT-CVD a particle on the surface can directly change the growth direction and can cause porosity within the coating layer or uniform surface looking like particles (Fig. 3 and 4). This will result in an increasing friction or even damage of the coating easily during the extrusion process. Therefore best possible cleanliness in the preparation process is crucial.

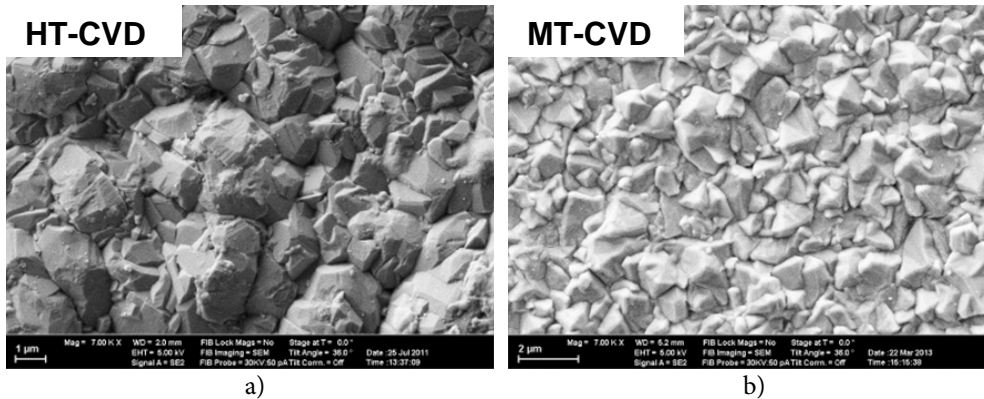


Rys. 4. Wzrost kolumnowej struktury na cząsteczce

Fig. 4. Drawing growth columnar structure on particle

Due to the lower temperatures in the coating process doping of elements is now possible. E.g. the doping with boron leads to an even finer structure, higher hardness and significantly reduces the stickiness. These properties are offering improved extrusion results especially for Silicon doped aluminium with a Si-content of higher than 0.7% like EN-AW6082.

In contrast to conventionally coated or uncoated extrusion dies an increased surface quality of the profile due to fine surface roughness on MT-CVD (Fig. 5b) shows in particular a smoother, finer surface finish than HT-CVD (Fig. 5a). Using the MT-layer is to be implemented in an elegant and effective way of supplementing the known high-temperature coating technology on a hot work steel as extrusion die. This said coating either a single layer or multi-layer with an applied alternatively, formed for example as a high-temperature functional layer undergoes an effective combination.

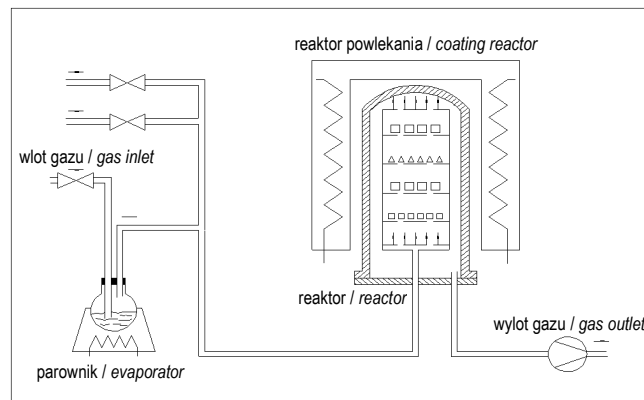


Rys. 5. Obraz SEM morfologii powierzchni (a) HT-CVD i (b) MT-CVD

Fig. 6. Organisation of a CVD coating unit

Parametry są zapisywane w recepturze z ciągłymi przepływami gazu i zdefiniowanym gradientem temperatury w reaktorze. Nagrzewanie reaktora odbywa się przez jego ściany przy użyciu pieca dzwonowego (rys. 6). Profil temperaturowy musi być mierzony przez termopary w celu utrzymania równomiernej temperatury w reaktorze. Przepływ gazu dla każdego prekursora jest kontrolowany przez przepływomierze masowe (MFC).

The parameters are written in a recipe with continuous gas flow rates and a defined temperature gradient over the reactor. The heating of the reactor is executed through the reactor walls by means of a hood-type furnace (Fig. 6). The temperature profile has to be measured by thermoelectric couples in order to maintain a uniform temperature in the reactor. The gas flow rate is controlled by mass-flow-controllers (MFC) for each precursor.



Rys. 6. Organizacja urządzenia do powlekania CVD

Fig. 6. Organisation of a CVD coating unit

3. ANALIZA POWŁOKI

Warstwy powłoki muszą zostać przeanalizowane i ocenione po każdej partii, pod kątem jakości i zgodności produktu. Obecnie stosowane metody analizy obejmują przykładowo badanie Calotte, badanie Rockwella (HRC) [7], badanie piaskowania oraz analizę metalurgiczną przekroju poprzecznego. Badanie twardości Rockwella umożliwia szybką i obiektywną analizę tego, czy warstwa

3. COATING ANALYSIS

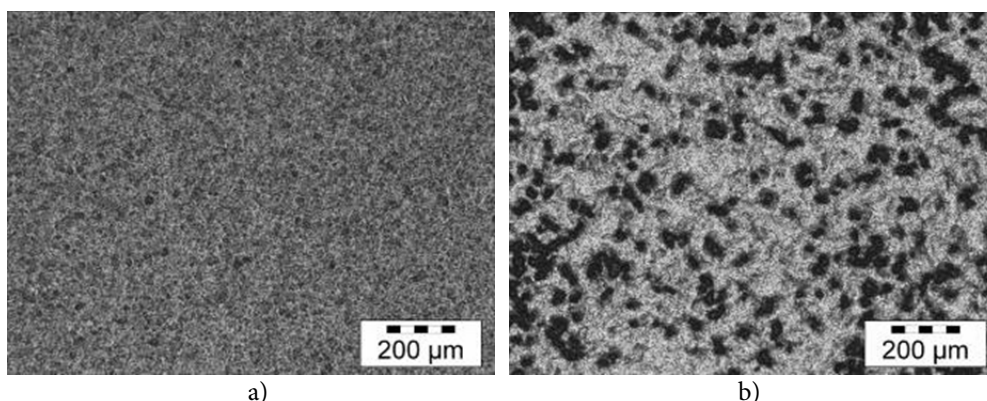
The coating layers have to be analysed and evaluated after each batch for quality and product conformity. Analysis methods currently used are e.g. the calotte test, Rockwell (HRC) test [7], sandblasting test and metallurgical analysis of the cross-section. The Rockwell test allows a quick and objective analysis to see whether a coating layer shows a good adhesion to the base material or not.

powłoki wykazuje dobre przyleganie do materiału bazowego. Jest ono mocno uzależnione od twardości tego materiału i szczególnie dobrze dostosowane do matryc powlekanych w procesie CVD.

Do analizy powłok firma WEFA opracowała metodę piaskowania, mającą na celu weryfikację jakości warstw powłoki. Czas trwania piaskowania i kontrola wizualna powierzchni zostały zbadane w celu zapewnienia lub porównania jakości powłoki. Rys. 7 przedstawia wyniki piaskowania po określonym okresie czasu. Rys. 7a pokazuje brak pęknięć na powierzchni MT-CVD (BE32) po 4 minutach; rys. 7b przedstawia całkowicie usuniętą górną warstwę HT-CVD (BE22) już po 60 sekundach. Można wyciągnąć wniosek, iż powierzchnia matrycy z powłoką MT-CVD jest znacznie bardziej wytrzymała niż w przypadku HT-CVD. Jest to szczególnie istotne dla wyciskania materiału o wysokim współczynniku tarcia, takiego jak aluminium z domieszką krzemu.

The test is highly dependent on the hardness of the base material and is especially adapted to CVD coated extrusion dies.

For analysis of coatings WEFA has developed a sandblasting method to verify the quality of coating layers. The duration of sandblasting and optical control of the surface will be investigated to ensure or compare coating quality. Fig. 7 shows sandblasting results after a certain period of time. Fig. 7a shows no cracks on the surface of a MT-CVD (BE32) after 4 Min., Fig. 7b the completely removed top layer of HT-CVD (BE22) after 60 sec. already. One can draw the conclusion that the surface of a MT-CVD coated extrusion die is much stronger than the HT-CVD coated version. This is important especially for extrusion material which has a higher abrasion such as Si doped Al.



Rys. 7. Powierzchnia (a) MT-CVD (BE32) i (b) HT-CVD (BE22) po piaskowaniu

Fig. 7. Surface after sandblasting of (a) MT-CVD (BE32), (b) HT-CVD (BE22)

4. BADANIE TRIBOLOGICZNE DLA DŁUGO-TRWAŁEGO ŚCIERANIA

W oparciu o zasadę działania stanowiska do badania tribologicznego ETH Zürich/WEFA [8], firma WEFA opracowała nowe stanowisko do badań tribologicznych (rys. 8 i 9) do badania długotrwałego zachowania się powlekanych części. Wyniki dają pojęcie o długotrwałej stabilności pod względem ścierania, a także przylegania powłok CVD [9].

Rys. 8 przedstawia układ stosowany w laboratoriach WEFA. Specjalnie ukształtowany sworzeń, wykonany ze stali narzędziowej i powlekany różnymi rodzajami powłok CVD, jest montowany

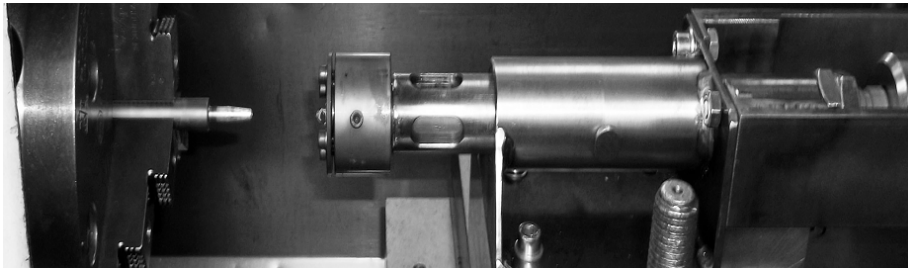
4. TRIBOLOGICAL TEST FOR LONG-TERM ABRASION

Based on the principal of the tribological test stand by ETH Zürich/WEFA [8], WEFA has developed a new tribological test stand (Fig. 8 and 9) for investigation of long-term surface behaviour of coated parts. The results shall give an idea of the long term stability in terms of abrasion as well as the adhesion of CVD coatings [9].

Fig. 8 shows a picture of the set-up in the WEFA laboratories. A special formed pin which is made from tool steel and will be coated with different CVD coating types is mounted on a mechanical lathe which during the test turns the pin

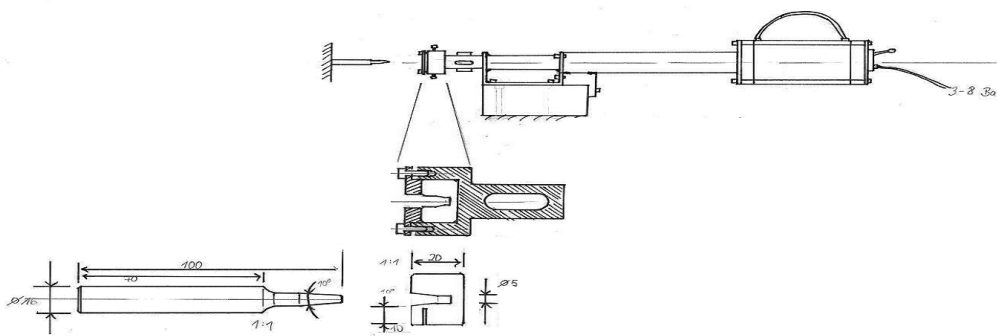
na mechanicznej tokarce, która podczas badania obraca sworzeń w określonych warunkach. Sworzeń jest wwiercony w aluminiowy cylinder, wykonany ze specjalnych stopów i utrzymywany przez stalowy pierścień. Po określonym czasie w określonych warunkach, pozostała powierzchnia na końcu sworznia zostaje zbadana i poddana analizie. Rys. 9 przedstawia schemat ideowy układu.

under certain conditions. The pin is drilled into an Aluminum cylinder made from special alloys which is held by a steel ring. After a certain time under certain conditions the residual surface of the tip of the pin will be inspected and analysed. Fig. 9 shows a principle drawing of the set-up.



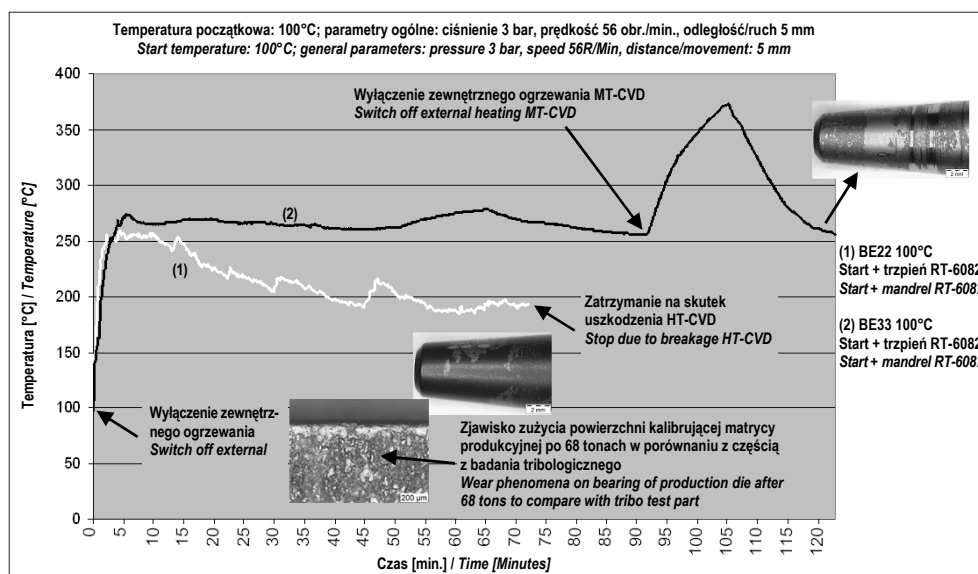
Rys. 8. Stanowisko do badań tribologicznych zintegrowane na mechanicznej tokarce

Fig. 8. Tribological test stand integrated on a mechanical lathe



Rys. 9. Schemat stanowiska badawczego i próbek powlekaných CVD

Fig. 9: Drawing of test stand and CVD coated samples



Rys. 10. Wyniki długotrwałego badania tribologicznego HT-CVD (BE22) w porównaniu z MT-CVD (BE33) z aluminium EN-AW 6082

Fig. 10. Long-term tribological test results of HT-CVD (BE22) compared to MT-CVD (BE33) with Aluminum EN-AW 6082

Na rys. 10 pokazane są wyniki prób z różnymi rodzajami powłok i stopami aluminium. Odpowiednie parametry do porównania rzeczywistego zachowania w zakresie ciśnienia, obrotów i temperatury podstawy musiały zostać określone i zoptymalizowane w celu zgodności z uszkodzeniem powłoki w czasie rzeczywistym. Dla EN-AW6082 próbka MT-CVD (BE33) wykazuje bardziej stabilne zachowanie tribologiczne i żywotność (wciąż sprawna po 120 minutach) niż HT-CVD (uszkodzenie po 75 minutach).

5. PODSUMOWANIE I PERSPEKTYWY

Badanie nowych metod powlekania matryc do wyciskania prowadzi do procesu MT-CVD. W celu weryfikacji zalet powlekanych matryc do produkcji wyciskanych profili aluminiowych zbadane zostały różne budowy powłok.

Główne zalety matryc CVD w porównaniu z azotowanymi są następujące:

(1) Lepsza żywotność matrycy

Lepsza trwałość matrycy dzięki ochronie przed zużyciem powierzchni kalibrującej matrycy, również dla stopów aluminium o wyższym współczynniku tarcia, na przykład zawierających więcej krzemu. Profil stopu 6005 z rys. 11 był wyciskany w matrycy z dwoma otworami; matryca z powłoką CVD osiągnęła czterokrotnie lepszą żywotność (120 ton) niż konwencjonalna matryca azotowana (28 ton).

(2) Lepsza stabilność wymiarowa

Stabilność wymiarowa i dokładność profilu w ciągu eksploatacji matrycy. Osiągalne są bardzo niskie tolerancje profilu, a polerowanie po powlekanii nie jest konieczne, pozwalając na wymiarowanie matrycy. W przypadku matryc wielootworowych występuje bardzo mała różnica zmiany prędkości wyciskania.

(3) Małe zapotrzebowanie na konserwację

Matryce z powłoką CVD są prawie bezobsługowe. Nie jest konieczne ponowne azotowanie lub polerowanie. Występuje niższa liczba poprawek i mniejszy wysiłek podczas obróbki. Ze względu na prawie brak konserwacji i konieczności czyszczenia matrycy w sodzie kaustycznej możliwe jest przechowywanie matryc wypełnionych metalem do kolejnego procesu wyciskania.

In Fig. 10 some results of trials with diverse coating types and Aluminum alloys are shown. The appropriate parameters to compare with the real extrusion behavior in terms of pressure, rpm and base temperature had to be evaluated and optimized in order to meet real-time coating failure. For EN-AW 6082 the MT-CVD specimen (BE33) shows a more stable tribological behavior and lifetime (after 120 min. still alive) than HT-CVD (probe failure after 75 min.).

5. SUMMARY AND OUTLOOK

The investigation of new methods for coating extrusion dies lead to the MT-CVD process. Various different coating designs have been tested to verify the advantages of coated dies in aluminum extrusion production.

The main advantages of CVD dies compared to nitrated dies are as follows:

(1) Higher die life

Higher die life due to wear protection in the die bearing, also for higher abrasive Al-alloys, e.g. with higher silicon content. The profile for 6005 alloy in Fig. 11 was extruded as a two-hole die; the CVD coated die achieved four times the die life (120 tons) versus the conventional nitrated die (28 tons).

(2) Better dimensional stability

Dimensional stability and accuracy of profiles throughout the useful die life. Very small profile tolerances are achievable, and no polishing after CVD Coating like nitrating is necessary, allowing the die orifice to be sized for a specific dimensional range. For multi cavity dies, there is very low strand speed variation.

(3) Low maintenance

CVD-coated extrusion dies are almost maintenance-free. No re-nitrating necessary, no polishing needed. Lower correction and processing effort involved. Because there is almost no maintenance and no need for the die to be cleaned in caustic, it is possible to store the dies filled with metal for the next push.

(4) Wyższa wydajność

Mniej przerw w procesie wyciskania; brak konieczności ponownego azotowania. Możliwa jest wyższa prędkość wyciskania dzięki mniejszemu tarciu i niższej temperaturze wyjściowej profilu. Prowadzi to do znacznie obniżonych kosztów matrycy na metr wyciśniętego produktu.

(5) Przyjazność dla środowiska

Mniejsza liczba potrzebnych matryc w porównaniu ze standardowymi azotowanymi. Osiągane obniżenie zużycia sody kaustycznej.

(6) Zwiększona możliwość wykonania przekrojów profilu

Dzięki zmniejszonemu ryzyku nadmiernego azotowania możliwe są bardzo małe trzpienie i cienkie wypusty.

(4) Higher productivity

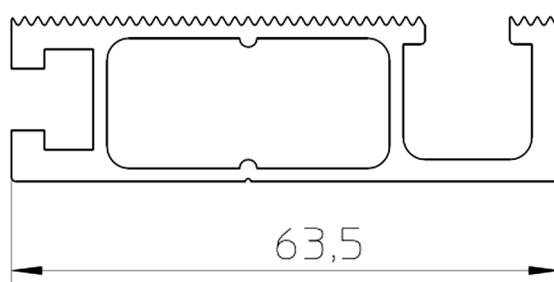
Less interruptions of the extrusion process; no re-nitrating required. A higher extrusion speed is possible due to the lower friction and reduced profile exit temperature. This leads to considerable reduced die costs per meter extruded product.

(5) Environmentally friendly

Fewer dies required compared to standard nitrated dies. Reduction of caustic soda usage is achieved.

(6) Extended feasibility for profiles sections

Very small mandrels and thin tongues are possible due to lower risk of over-nitrating.



Rys. 11. Porównanie żywotności matrycy z dwoma otworami dla profilu ze stopu EN-AW 6005

Fig. 11. Die life comparison of a two-hole die for an EN-AW 6005 alloy profile

Dzięki wielu korzyściom w porównaniu z innymi metodami powlekania zapotrzebowanie na matryce powlekane w procesie CVD w przemyśle wyciskania wciąż rośnie. Główne zastosowania obejmują obecnie matryce wielootworowe do profili wymienników ciepła oraz okrągłych rur. Matryce takie do wymienników ciepła są wykonywane jako wkłady do uchwytu matrycy, gdzie wkład taki może zostać wymieniony po uszkodzeniu na skutek zużycia. Powlekanie jest też odpowiednie do matryc do wielkoobjętościowych profili o prostych kształtach. Obecnymi obszarami rozwoju w ramach rynku są nowe rodzaje powłok dla poprawionego wykończenia powierzchni oraz powłoki do stopów trudnych do wyciskania. Celem ogólnym jest zaoferowanie odpowiedniej kombinacji powłoki/stali/twardości/konstrukcji dla danego zastosowania. Odpowiednie zastosowania powłok MT-CVD i/lub HT-CVD w warunkach długotrwałego ścierania i przywierania

Due to its many advantages compared with other coating methods, the demand for CVD-coated dies in the extrusion industry is growing. The main applications right now are multi port and micro multi port dies for heat exchanger profiles as well as round tube dies. The multi port and micro multi port dies for heat exchanger profiles are executed as cartridges in a die holder, where one cartridge can be replaced after failure through wear. Coating is also suitable for high-volume profile dies with simple geometries. Current areas of development within the market are new coating types for improved surface finish and coatings for "hard-push" alloys. The general target is to offer the right coating/steel/hardness/design-combination for the corresponding application. The corresponding application for MT-CVD-coating and/or HT-CVD-coatings in terms of long-term abrasion as well as adhesion will be tested for various A-alloy types. This results in a SIMS-

zostaną zbadane dla różnych rodzajów stopów aluminium. Wyniki analizy SIMS wykazały wyższą zawartość węgla w MT-CVD niż HT-CVD. Z tego względu należy oczekiwać wyższej twardości oraz odporności na zużycie powłok MT-CVD w porównaniu z HT-CVD.

analysis with a higher C-content in MT-CVD than HT-CVD. Therefore a higher hardness and also wear resistance of MT-CVD coatings compared to HT-CVD is to be expected.

LITERATURA / REFERENCES

- [1] Klaus Müller K. (et al.): *Grundlagen des Strangpressens: Verfahre, Anlagen, Werkstoffe, Werkzeuge*. Kontakt & Studium Bd. 286 (2003).
- [2] Hairy P., Dussaussois R.: *Vergleich von zwölf neuen Beschichtungen gegen das Kleben beim Druckgießen*. *Druckgusspraxis* Nr 1 (2004), s. 47–55.
- [3] König W., Klocke F.: *Fertigungsverfahren 1*. Drehen, Fräsen, Bohren Springer Verlag Berlin Heidelberg 1997, s. 139–148 + 166–167.
- [4] Patent WEFA “Method for Producing a coating on an extrusion die”, WO 2012/175147 A1 (2012).
- [5] Fraunhofer Inst. Schicht- und Oberflächentechnik: *Congress: Industrielle Oberflächentechnik-Anwendungsbezogene Schichtanalytik und Schichtmeßtechnik*.
- [6] Kessler O.H., Hoffmann F.T., Mayr P.: *Microstructure and property changes caused by diffusion during CVD coating of steels*. *Surface and Coating Technology* No. 120–121 (1999), s.366–372.
- [7] VDI Richtlinie 3824, *Qualitätssicherung bei der PVD und CVD Hartstoffbeschichtung*, Prüfplan für Hartstoffschichten, August 2001.
- [8] Karadogan C., Grueebler R., Hora P.: *A new cone-friction test for evaluating friction phenomena in extrusion processes*. *Key Engineering Materials* Nr 424 (2010), s. 161–166.
- [9] Maier J.: *Tribological Investigation on CVD Coated Extrusion Dies*. ET’12 10th International Aluminum Extrusion Seminar and Exposition, Miami, USA, May 2012, s. 147–157.