

PROPERTIES AND RESEARCH DIRECTION FOR LIGHTWEIGHT VALVES OF VALVE TIMING IN COMBUSTION ENGINE

Krzysztof Siczek

*The Technical University of Lodz, The Chair of Precise Design
Stefanowskiego St. 1/15, 90-924 Lodz, Poland
tel.: +48 42 6312251, fax: +48 42 6312252
e-mail: ks670907@p.lodz.pl*

Krzysztof Zbierski

*Technical University of Lodz, Institute for Vehicles, Machine Design and Operation
Żeromskiego St. 116, 90-924 Lodz, Poland
tel.: +48 42 6312390, fax: +48 42 6312398
e-mail: zbierski@p.lodz.pl*

Abstract

It has been put the attention on the necessity for use of valves made of lightweight material in camless valve train in the article. Such necessity has been explained in the article [10]. Such lightweight materials are particularly, the TiAl alloys and ceramic composites. The small mass, in respect to the mass of valves made of steel, is characteristic of the valves made of lightweight material. The masses of valves, depending on the case: valve made of TiAl alloy or valve made of ceramic composite, can be smaller about 50% and more than the mass of valve made of steel. The properties of such lightweight materials have been discussed in detail and the methods of their manufacturing have been mentioned in the article. A lot of place has been devoted to titanium alloys, putting attention on the fact, that such alloys are called the materials of XXI century. The classification of titanium alloys has been presented, the problems of intermetallic phases, of alloy microstructure, of heat resistance, high-temperature creep resistance and other have been raised in the article.

Finally the direction of researches, being carried out by authors of the article, including tribology of lightweight valves in valve timing has been presented. The aim of such researches is to identify the tribological processes and phenomena, which take place in the region, where lightweight valves mate with valve guides, in assumed bounded lubrication conditions, and in the region, where valve heads mate with valve seats.

Keywords: *combustion engine, camless valvetrain, lightweight valve, tribological problems*

CHARAKTERYSTYKI I KIERUNKI BADAŃ ZAWORÓW Z LEKKICH STOPÓW DLA ROZRZĄDU ZAWORÓW W SILNIKU SPALINOWYM

Streszczenie

Artykuł koncentruje się na potrzebie użycia zaworów wykonanych ze stopów lekkich w bezkrzywkowym układzie rozrządu. Taka potrzeba została wyjaśniona w artykule [10]. Takie lekkie stopy, to szczególnie stopy TiAl i ceramiczne kompozyty. Mała masa, w porównaniu do masy zaworów wykonanych ze stali, jest charakterystyczna dla zaworów wykonanych ze stopów lekkich. Masy zaworów, zależnie od wypadku: zawór wykonany ze stopu TiAl albo zawór wykonany z ceramicznego kompozytu, mogą być mniejsze o około 50% i więcej niż masa zaworu wykonanego ze stali. Właściwości zaworów wykonanych ze stopów lekkich są dyskutowane szczegółowo, jak również metody ich wytwarzania są wzmiankowane w artykule. Dużo miejsca poświęcono stopom tytanu, kładąc szczególną uwagę na fakt, że takie stopy nazywają się materiałami XXI stulecia. Przedstawiona klasyfikację stopów tytanu, jak również problemy faz międzymetalicznych, mikrostruktury stopów, żaroodporności, wysokotemperaturowy opór pełzania oraz inne. W końcu kierunki badań wykonanych przez autorów artykułu, włączając w to problemy tribologiczne zaworów są przedstawione. Celem takich badań jest identyfikacja procesów tribologicznych i zjawisk, które mają miejsce w obszarze, gdzie zawory współpracują z prowadnicami zaworów, w ograniczonych warunkach smarowania i w regionie, gdzie głowka zaworu współpracuje z gniazdami zaworu.

Słowa kluczowe: *silnik spalinowy, rozrząd zaworów, zawory z lekkich stopów, problemy trybologiczne*

1. Wprowadzenie

Potrzebę zastosowania zaworów rozrządu wykonanych z lekkich materiałów uzasadniono w pracy [10], zwracając szczególną uwagę na korzyści ich zastosowania w bezkrzywkowych, elektrycznych rozrządach, a także i w hydraulicznych. Potrzeba zastosowania takich zaworów szczególnie w silnikach z rozrządami bezkrzywkowymi [9], wynika z konieczności zmniejszenia masy zaworów. Te lekkie materiały to przede wszystkim stopy tytanu z aluminium oraz kompozyty ceramiczne. Lekkie zawory, w zależności od tego czy wykonane są ze stopów tytanu czy z kompozytów ceramicznych, mogą być lżejsze o około 50 i więcej procent od zaworów wykonanych ze stali. Poniżej omówiono różne właściwości lekkich materiałów na tle właściwości stali zaworowych z których wykonywane są konwencjonalne zawory silników spalinowych.

2. Stopy tytanu

Tytan jest metalem lekkim, o gęstości $4,51 \text{ g/cm}^3$ (gęstość żelaza wynosi $7,86 \text{ g/cm}^3$), ma barwę srebrzystobiałą, podobną do barwy stali nierdzewnej. Czysty tytan występuje w dwóch odmianach alotropowych $\text{Ti}\alpha$ i $\text{Ti}\beta$. Odmiana α krystalizuje w temperaturze pokojowej w układzie heksagonalnym, a w temperaturze $882,5^\circ\text{C}$ ulega przemianom na wysoko temperaturową odmianę β , krystalizującą w układzie regularnym. Odmiana β jest trwała do temperatury topnienia 1682°C .

Pierwiastki stopowe wpływają ogólnie na umocnienie roztworu stałego i zmianę przemiany alotropowej.

Stopy tytanu, nazywane materiałami XXI wieku, znajdują coraz szersze zastosowanie w wielu dziedzinach przemysłu. Wynika to z ich wysokiej wytrzymałości i odporności na korozję w większości środowisk agresywnych, bardzo wysokiej żaroodporności i żarowytrzymałości oraz obojętności biologicznej. Rozróżnia się następujące grupy stopów tytanu, a mianowicie:

- stopy jednofazowe o strukturze roztworu α , np. Ti5Al2,5Sn ,
- stopy pseudo- α , o zawartości do 5% fazy β w stopach α , np. Ti8Al1Mo1V , Ti6Al4Zr2Mo2Sn ,
- stopy jednofazowe o strukturze roztworu β , np. Ti10V2Fe3Al , Ti15V3Cr3Al3Sn , Ti13V11Cr3Al ,
- stopy pseudo- β , o strukturze roztworów $\alpha + \beta$ z dużą zawartością fazy β , np. Ti5Al5V5Mo3Cr , Ti8Mn ,
- stopy dwufazowe o strukturze roztworów $\alpha + \beta$ zawierające 10-50% fazy β w temperaturze pokojowej, np. Ti6Al4V , Ti6Al6V2Sn , Ti7Al4Mo .

Stopy o strukturze jednofazowej α (Rys. 1) mają bardzo dobrą odporność na korozję i utlenianie, dobrą spawalność, odporność na pękanie i wytrzymałość na pełzanie, lepszą od stopów β . Stopy te odznaczają się jednak gorszą wytrzymałością i odkształcalnością niż stopy β [8]. Wadom obróbki plastycznej tych stopów, zwłaszcza przy dużej zawartości Al, można przeciwdziałać przez zwiększenie stopnia przerobu [6].

Stopy pseudo- α charakteryzują się polepszoną odpornością na pełzanie i podwyższone wartości temperatury.

Stopy o strukturze fazy β , jak też stopy pseudo- β , zawsze mają znaczny udział fazy α . Charakteryzują się one wysoką wytrzymałością, lepszym połączeniem wytrzymałości i odporności na kruche pękanie, głębszą hartownością skrośną i korzystnymi właściwościami plastycznymi. Mają dobrą odporność na korozję i – ze względu na wysoką rozpuszczalność wodoru – tworzą hybrydy dopiero przy wysokiej jego koncentracji [6]. Stopy β charakteryzują się wyższymi kosztami wytwarzania i większą gęstością ($4,9 \text{ g/cm}^3$) spowodowanymi wyższą ceną i masą właściwą pierwiastków stopowych [6].

Obrobione cieplnie stopy o strukturze fazy β (Rys. 1), mogą charakteryzować się wytrzymałością na rozciąganie nawet 1750 MPa [1].

Stopy o strukturze dwufazowej $\alpha + \beta$ otrzymuje się je w następstwie wprowadzania do fazy α dodatków stabilizujących poszczególne fazy. Najczęściej stosowanym dodatkiem stopowym

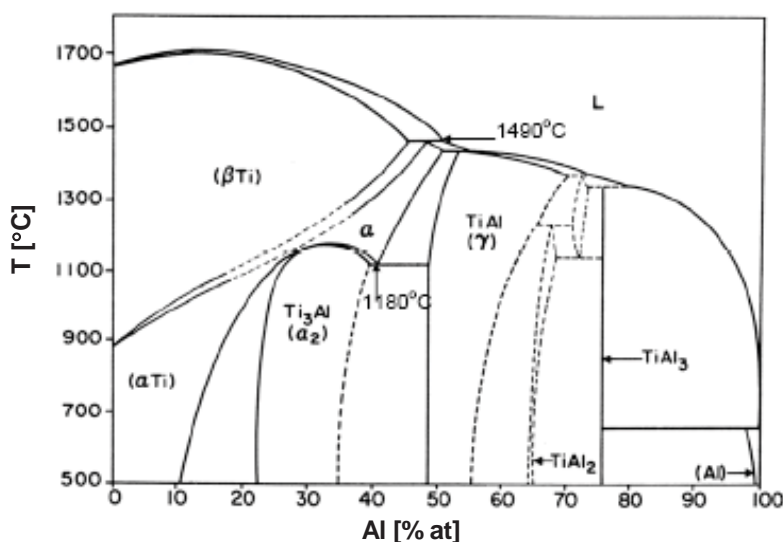
stabilizującym i umacniającym fazę α jest Al, które zwiększa również jej stabilność cieplną, zmniejszając jednocześnie gęstość stopu. Natomiast oddziaływanie pierwiastków stabilizujących fazę β na właściwości mechaniczne tej fazy jest różne. Pierwiastki β -izometryczne (V, Mo, Nb, Ta) powodują, że plastyczność fazy β jest większa (przy mniejszej wytrzymałości na rozciąganie), a pierwiastki eutektoidalne (Cr, Mn, Fe, Co, Ni i inne) działają odwrotnie. Stopy $\alpha + \beta$ odznaczają się dobrą wytrzymałością, plastycznością i odpornością na korozję [6]. Wraz ze wzrostem udziału fazy β poprawiają się właściwości mechaniczne stopu $\alpha + \beta$, osiągając maksimum dla struktury o zawartości 50% fazy α i 50% fazy β . Chociaż ten stop cechuje się słabą odkształcalnością, to dzięki dobrej podatności na odkształcenia plastyczne – może być umacniany metodami obróbki cieplnej. Do tej grupy należy najczęściej dotychczas stosowany stop Ti6Al4V.

Pod kątem zastosowania na zawory silników spalinowych, zwłaszcza na zawory dolotowe, najbardziej odpowiednimi są stopy o strukturze $\alpha + \beta$.

Oprócz wymienionych grup stopów tytanu w ostatnich latach zyskały na znaczeniu stopy na osnowie fazy międzymetalicznej (γ) – TiAl (Rys. 1) [5, 6]. Wykonywane są one w trudnym procesie kierunkowej krystalizacji, który ze względu na swą złożoność jest bardzo drogi.

Obecnie istnieją stopy γ -TiAl trzeciej generacji [6], które odznaczają się – w porównaniu ze stopami poprzednimi – udziałem 5-10% Nb. Stanowią one specyficzny przypadek, ponieważ zawierają niemal 50% Al. Ich gęstość wynosi zatem 3,7-4,0 g/cm³ i jest mniejsza niż konwencjonalnych stopów tytanu. Jednocześnie cechują się bardzo dobrymi właściwościami mechanicznymi, w tym wytrzymałością, szczególnie przy wysokich temperaturach. W zakresie temperatur 500-850°C wykazują także dobrą odporność na utlenianie.

Można stwierdzić, że w większości przypadków dodatek aluminium zwiększa wytrzymałość stopów tytanu. Stopy o strukturze β są mało rozpowszechnione ze względu na stosunkowo wysoki koszt i większą gęstość w porównaniu ze stopami o strukturze α .



Rys. 1. Układ równowagi fazowej stopów tytanu i aluminium [7]

Fig. 1. Titanium-aluminium alloys phase diagram [7]

Przykładem zaworów wykonanych ze stopów o strukturze dwufazowej $\alpha + \beta$ mogą być zawory wylotowe wyprodukowane przez Firmę Toyota w 1998 roku ze stopu o osnowie tytanowej Ti6%-Al4-Sn-4Zr-1-Nb-1Mo-0.2Si-0.3O, zawierającego cząstki borku tytanu TiB w ilości 5% objętościowo [3]. Masa zaworów była o około 40% mniejsza, w porównaniu z zaworami stalowymi. W silniku z zaworami tytanowymi stwierdzono 10% wzrost maksymalnej prędkości obrotowej i 20% zmniejszenie oporów tarcia [2]. Masa sprężyn zaworowych była zmniejszona o 16% [5]. Prędkość obrotowa silnika mogła wzrosnąć nawet o 700 obr/min.

Gęstość tego kompozytu wynosiła 4600 kg/m^3 i była o 41% mniejsza niż gęstość stali żaroodpornej 21-4N, wynoszącej 7900 kg/m^3 .

Jak podano w [5] wytrzymałość statyczna i dynamiczna zarówno w temperaturze pokojowej, jak i podwyższonej do 1073 K rośnie z zawartością cząstek borku tytanu TiB w kompozycie.

Wytrzymałość na rozciąganie w temperaturze pokojowej wynosi 1290 MPa i jest większa od analogicznej wytrzymałości stali 21-4N, wynoszącej 880 MPa. Z kolei 0,2% granica plastyczności w temperaturze pokojowej wynosi 1180 MPa i jest większa od analogicznej granicy plastyczności dla stali 21-4N, wynoszącej 560 MPa. W temperaturze 1073 K granica plastyczności wynosi 580 MPa i jest większa od analogicznej granicy plastyczności dla stali 21-4N, wynoszącej 380 MPa [5].

Wytrzymałość zmęczeniowa tego materiału wynosząca 160 MPa w temperaturze 1123 K przekracza o 5% analogiczną wytrzymałość (150 MPa) stali żaroodpornej 21-4N stosowanej na zawory. Ze wzrostem zawartości borku tytanu TiB rośnie wydłużenie pełzania. W temperaturze 1073 K wynosi ono 13 mm w porównaniu do 18,3 mm dla stali 21-4N. Zmniejszenie odporności na pełzanie jest wynikiem tego, że faza α (Rys. 1) staje się drobniejsza i bardziej równoosiowa ze wzrostem udziału borku tytanu TiB. W każdym przypadku zawartość TiB ma niewielki wpływ na odporność na pełzanie, a kompozyt wykazuje lepszą odporność na pełzanie niż stal 21-4N nawet o 10%. Choć plastyczność w temperaturze pokojowej jest rzędu 3-5% i jest praktycznie stała niezależnie od zawartości cząstek TiB, plastyczność w wysokiej temperaturze wzrasta gwałtownie nawet przy małym wzroście zawartości cząstek TiB. Po osiągnięciu maksymalnej wartości 13% przy zawartości 5% cząstek TiB wysokotemperaturowa plastyczność osiąga 10% przy zawartości 10% cząstek TiB. Wysokotemperaturowa odporność na pełzanie może być poprawiona przez wzrost mikrostruktury matrycy ale wzrostowi ziaren o strukturze β towarzyszy zmniejszenie wysokotemperaturowych właściwości zmęczeniowych i plastyczności. Dlatego optymalny udział objętościowy cząstek TiB dla zaworu wylotowego, wynoszący 5%, został ustalony biorąc pod uwagę wysokotemperaturową odporność na pełzanie, wysokotemperaturowe właściwości zmęczeniowe i plastyczność [5].

Inne tytanowe zawory wylotowe powstają nie poprzez metalurgię proszków, ale poprzez odlewanie i walcowanie stopu Ti-6%Al-2Sn-4Zr-2Mo-Si, który jest szeroko stosowany w wirnikach sprężarek silników lotniczych. Taki zawór ma podwójną strukturę, gdzie w grzybku występuje struktura iglasta, zaś trzonek ma strukturę równoosiową. Iglasta struktura jest bardziej wytrzymała niż struktura równoosiowa powyżej 600°C i jest generowana podczas spęczania grzybka powyżej temperatury przemiany fazowej β równej 995°C . Plazmowe nawęglanie jest używane dla tych zaworów, w celu zwiększenia odporności na zużycie.

Tytanowe zawory dolotowe również mają zmniejszoną masę. Ponieważ zawory dolotowe nie wymagają takiej samej żaroodporności i żarowytrzymałości jak zawory wylotowe, można dla nich stosować normalny stop Ti-6%Al-4V. Zawory wylotowe wykonane ze związków zawierających fazy międzymetaliczne także były badane przez kilku producentów, ale nie są dostępne w sprzedaży [2]. Ze stopu na osnowie fazy międzymetalicznej γ -TiAl wykonuje się trzonki zaworów samochodów sportowych [6].

Zarówno w przypadku zaworu ceramicznego jak i zaworu wykonanego ze stopu TiAl napędzanych krzywkowo zaobserwowano znacznie mniejsze drgania w czasie osiadania zaworu w gnieździe w porównaniu z zaworem stalowym. Dobre zamykanie tych zaworów wynika z właściwości materiałowych – ceramika ma wysoką sztywność i działa tłumiąco. Takie zjawisko jest szczególnie widoczne przy mniejszych prędkościach obrotowych, rzędu 3500 obr/min [4].

Właściwości mechaniczne i cieplne stopów tytanu z układu Ti-Al oraz stopów na osnowie fazy międzymetalicznej γ -TiAl przedstawiono w tabeli 1 [1, 5, 6, 8]. Można stwierdzić, że stopy na osnowie faz międzymetalicznych mają niższą gęstość niż stopy o strukturze α , β czy $\alpha + \beta$.

Z porównania poszczególnych wartości wynika, że fazy międzymetaliczne z układu TiAl mają wyższe wartości parametrów wytrzymałościowych w porównaniu z innymi materiałami konstrukcyjnymi otrzymywanymi przy użyciu nowych technologii. Moduł właściwy (stosunek

modułu do gęstości) fazy TiAl- γ jest około 60% wyższy od modułu właściwego stopu dwufazowego ($\alpha + \beta$) Ti6Al4V. Moduł Younga fazy TiAl- γ ulega tylko nieznacznemu pogorszeniu w zakresie bardzo wysokich temperatur, rzędu 1170 K. Stopy TiAl- γ znacznie przewyższają inne stopy tytanu pod względem wytrzymałości właściwej w zakresie temperatur 900-1200 K [8]. Pod tym względem stopy TiAl- γ przewyższają wszystkie materiały konstrukcyjne z wyjątkiem stopów berylu [5], które są trudno obrabialne skrawaniem i wydzielają w czasie obróbki związki toksyczne.

Tab. 1. Właściwości niektórych stopów tytanu, z układu Ti-Al na tle właściwości stali zaworowych
 Tab. 1. Properties of selected titanium alloys from Ti-Al set compared to valve steel properties

Właściwości	Czysty tytan	Stopy Ti np. Ti6Al4V	Ti ₃ Al- α_2	TiAl- γ	Stal H10S2M	Stal 50H21G9N4
Gęstość [g/cm ³]	4,51	4,5	4,1-4,7	3,7-3,9	7,85	7,85
Moduł Younga [GPa]	110	95-115	110-145	160-180	205-210	205-210
R _e [MPa]	140-500 [6] 170-480 [1]	380-1150 994-1035 [1]	700-990	350-600	560	560
R _m [MPa]	460-590 [6] 290-740 [1]	480-1200 999-1049 [1]	800-1140	440-700	880-930	1050
Wydłużenie względne [%], w temperaturze pokojowej	14-37 [1]	10-25 3-9 [1]	2-10	1-4	Około 8	Około 8
Odporność na pękanie [MPa*m ^{1/2}]	-	12-50	13-30	12-35	-	-
Granica pełzania [K]	-	870	1020	1020-1220	-	-
Granica utleniania [K]	-	870	920	1070-1220	-	-
Twardość HRC	70 [HRB]	36	-	-	42	42

Właściwości fizyczne stopów na podstawie faz międzymetalicznych z układu TiAl zbadał Deevi [5] i zostały one porównane z właściwościami obecnie stosowanych materiałów żaroodpornych i żarowytrzymałych, takich jak nadstopy niklu Inconel 718 i Inconel 617 oraz dwufazowy stop Ti6Al4V. Stopy międzymetaliczne z układu TiAl charakteryzują się niższą o około 50% wartością współczynnika rozszerzalności cieplnej w porównaniu do nadstopów niklu.

Niska wartość współczynnika rozszerzalności cieplnej w przypadku stopów międzymetalicznych z układu TiAl jest ich dużą zaletą, zwłaszcza przy pracy w szerokim zakresie temperatur.

Wspomniano, już że stopy tytanowe są stosunkowo kruche. Potwierdza to między innymi złom powstały w wyniku ściskania próbki pobranej z trzonka zaworu (Rys. 2) oraz przebieg zależności naprężenia ściskającego od odkształcenia próbki (Rys. 3), na którym wyraźnie widoczny jest początek (punkt A) pęknięcia próbki, co się objawia gwałtownym obniżeniem naprężeń w materiale próbki, wywołanym tym pęknięciem.

Obecnie dostępnych jest kilka metod uzyskiwania zaworów tytanowych. Jedną z nich jest metalurgia proszków. Metalurgia proszków pozwala produkować tytanowe pręty do kucia na gorąco. Mieszanina TiH₂, TiB₂ i Al.-25%Sn-25Zr-6Nb-6Mo-1.2Si jest spiekana w wysokiej temperaturze. Podczas spiekania występuje zagęszczanie poprzez dyfuzję i poprzez reakcje chemiczne powstają cząstki borku tytanu TiB. Ten proces jest zwany syntezą reaktywnego spalania in-situ. Spiekany materiał jest wydłużany w pręty, które są przekuwane w zawory w podobnym procesie, jak dla zaworów stalowych. Dodatkowa powierzchniowa obróbka nie jest potrzebna z powodu wysokiej odporności kompozytu na zużycie [2].

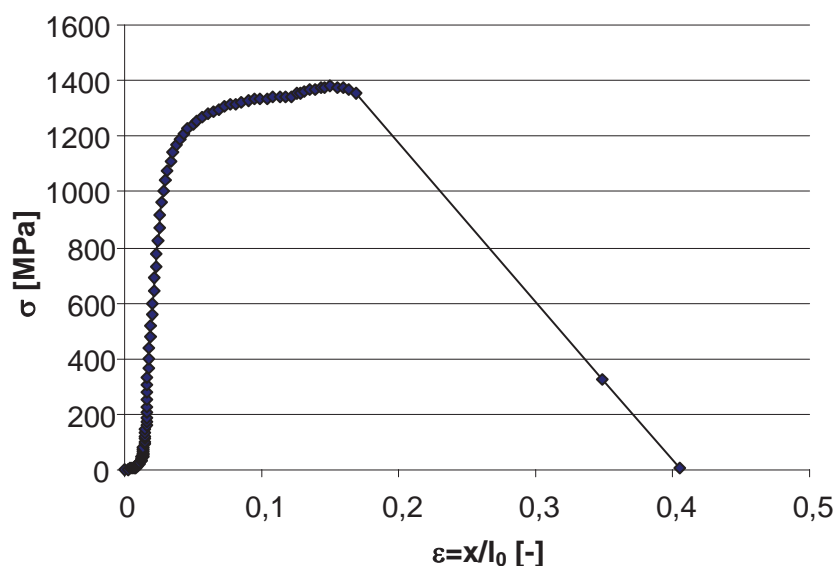
3. Kompozyty ceramiczne

Do kompozytów ceramicznych, z których wykonuje się zawory zalicza się między innymi azotek krzemu Si₃N₄. Jego gęstość wynosi 3,2 g/cm³. Wytrzymałość na zginanie materiału takich zaworów jest równa 970 MPa w temperaturze pokojowej, i spada do 890 MPa w temperaturze 1073 K. Dla



Rys. 2. Złom próbki zaworu wykonanego z $TiAl6Zr4Sn2Mo2$. Powierzchnia zaworu chromowana 1 – zawór wylotowy silnika motocyklowego KTM, 2 – złom próbki zaworu po próbie ściskania

Fig. 2. Fracture of sample for valve made of $TiAl6Zr4Sn2Mo2$. The surface of valve Cr coated. 1 – outlet valve of motorcycle engine KTM, 2 – fracture of valve sample after compression probe



Rys. 3. Zależność naprężenia ściskającego σ od odkształcenia ϵ dla próbki zaworu wykonanego z $TiAl6Zr4Sn2Mo2$ (Rys. 2). Próba ściskania: Długość początkowa $l_0 = 13$ mm, średnica początkowa próbki $d_0 = 6$ mm

Fig. 3. The compression stress σ vs strain ϵ for valve sample made of $TiAl6Zr4Sn2Mo2$ (Fig. 2). The compression probe. Initial sample length $l_0 = 13$ mm, initial sample diameter $d_0 = 6$ mm

porównania stal austenityczna SUH35 wykazuje jedynie wytrzymałość na zginanie równą 400 MPa w temperaturze 1073 K. W przypadku zastosowania zaworów ceramicznych w miejsce stalowych występuje zredukowanie masy o 56% oraz zmniejszenie obciążenia sprężyn zaworowych nawet o 20%.

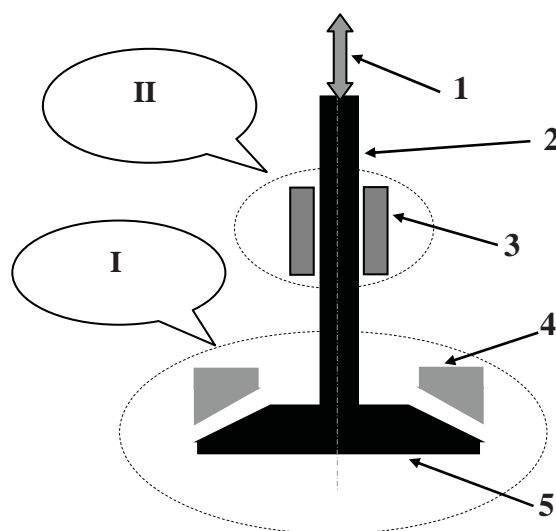
Wykonanie lekkiego zaworu z azotku krzemu Si_3N_4 przebiega w kilku fazach. Najpierw jest przygotowywany proszek SiC oraz dodatki ułatwiające proces prasowania. Następnie następuje topienie i odlewanie składników, potem dodawane są związki wapnia w celu nadania odpowiedniej wytrzymałości w kolejnych fazach procesu. Dalej elementy zostają poddane procesowi zgrubnego szlifowania by ograniczyć pozostające ostre krawędzie. W dalszym etapie części zostają poddane wygrzewaniu w atmosferze azotu, a potem ostatecznemu szlifowaniu tarczami diamentowymi. Po kontroli zostają skierowane do eksploatacji [2].

4. Kierunek badań zaworów z lekkich materiałów

Potrzeba wyznaczenie kierunku badań zaworów z lekkich materiałów wyniknęła z faktu, że autorzy niniejszego artykułu rozpoczęli realizację projektu badawczego dotyczącego problemów tribologicznych bezkrzywkowego napędzania zaworów rozrządu tłokowego silnika spalinowego. Mając na uwadze wyznaczenie kierunku badań zaworów z lekkich materiałów, ustalono dwa główne problemy tribologiczne konieczne do rozwiązania, a zatem wyznaczające kierunek badań lekkich zaworów.

Są to dwa problemy, a mianowicie:

- I. Problem zużycia grzybka oraz gniazda zaworu w miejscu ich styku, nazywanym dalej węzłem I (Rys. 4).
- II. Problem oporów ruchu i zużycia trzonka oraz prowadnika zaworu w miejscu ich styku, nazywanym dalej węzłem II (Rys. 4).



Rys. 4. Schemat bezkrzywkowo napędzanego zaworu z gniazdem i prowadnikiem, I – węzeł I, II – węzeł II, 1 – siła napędzająca zawór, 2 – trzonek zaworu, 3 – prowadnik zaworu, 4 – gniazdo zaworu, 5 – grzybek zaworu

Fig. 4. The scheme of camless driven valve with the valve set and valve guide, I – node I, II – node II, 1 – force loading valve, 2 – valve stem, 3 – valve guide, 4 – valve seat, 5 – valve head

Przyczynami wystąpienia wymienionych problemów są:

- a. duża prędkość osiadania grzybka zaworu w jego gnieździe,
- b. ograniczone smarowanie trzonka zaworu w jego prowadniku,

Wymienione problemy tribologiczne I i II oraz przyczyny ich występowania umożliwiają określenie celu badań, zarówno poznawczego jak i użytkowego.

Celem poznawczym pracy jest rozpoznanie procesów i zjawisk tribologicznych w węzłach I i 2, dla lekkich zaworów wykonanych ze stopów tytanu i z ceramiki, napędzanych bezkrzywkowo.

Celem użytkowym pracy jest:

1. określenie dopuszczalnej prędkości osiadania zaworu w jego gnieździe ze względu na zużycie i hałaśliwość pracy węzła I,
2. określenie optymalnych materiałów i wymiarów elementów węzła II ze względu na jego zużycie przy założeniu ograniczonego smarowania.

Osiągnięcie wymienionych celów pracy, a zatem rozwiązanie problemów I i II, przewiduje się między innymi dzięki przeprowadzeniu badań ruchu lekkich zaworów na bezsilnikowych stanowiskach badawczych. W pierwszym rzędzie zaplanowano badania współczynnika tarcia, a zatem rozwiązanie problemów występujących w węźle II. Metodykę i wyniki tych badań zostaną przedstawione w kolejnym artykule dotyczącym badania lekkich zaworów rozrządu

5. Podsumowanie

Lekkie materiały są coraz powszechniej stosowane na dolotowe i wylotowe zawory rozrządu silników. Lekkie materiały takie jak stopy TiAl oraz kompozyty ceramiczne pozwalają w istotny sposób zredukować masę dotychczas stosowanych zaworów stalowych. Zastosowanie zaworów z lekkich materiałów wymaga rozwiązania wspomnianych wcześniej problemów tribologicznych występujących przy współpracy tych zaworów z prowadnicami i gniazdami

Acknowledgement

The financial support of Ministry of Science and Higher Education by the grant No NN502394535 is greatly appreciated.

Literatura

- [1] Adamus, J., *Wybrane problemy kształtowania blach tytanowych*, 17th International Scientific and Technical Conference Design and Technology of Drawpieces and Die Stampings, Poznań-Wąsowo 2008.
- [2] Dymek, S., *Charakterystyka wysokotemperaturowych związków międzymetalicznych* (in Polish), Hutnik, Nr 6, pp. 208-223, 1998.
- [3] Yamagata, H., *The science and technology of materials in automotive engines*, Woodhead Publishing Ltd, Cambridge England 2005.
- [4] Hoyer, U., Rahnavardi, P., *Untersuchung mit Ventilen aus Leichtbau-Werkstoffen*, Motortechnische Zeitschrift, Nr. 9, 1999.
- [5] Kaczmarek, Ł., *Powłoki z faz międzymetalicznych na osnowie γ -TiAl dla ochrony stopów tytanu przed utlenianiem w wysokich temperaturach*, praca doktorska, Politechnika Łódzka, Łódź 2006.
- [6] Oczóś, K., *Kształtowanie ubytkowe tytanu i jego stopów w przemyśle lotniczym i technice medycznej, część I*, Mechanik, Nr 8-9, 2008.
- [7] Okamoto, H., *Al-Ti (Aluminium-Titanium)*, Journal of Phase Equilibria, Vol. 14, pp. 120-121, 1993.
- [8] Rudnik, S., *Metaloznawstwo*, PWN, Warszawa 1983.
- [9] Zbierski, K., *Bezkrzywkowy magnetoelektryczny rozrząd czterosuwowego silnika spalinowego*, Monografia, Wydawnictwo Politechniki Łódzkiej, Łódź 2007.
- [10] Zbierski, K., Siczek, K., *Potrzeba zastosowania lekkich zaworów w bezkrzywkowych rozrządach tłokowych silników spalinowych*, Journal of Kones, Zakopane 2009.