

Nowoczesne technologie materiałowe stosowane w przemyśle lotniczym

Modern material technologies in aerospace industry

Plastyczne kształtowanie lotniczych stopów Al (w tym Al - Li) oraz Ti

Plastic forming of aeronautical Al (including Al - Li) and Ti alloys

Politechnika Śląska, Politechnika Rzeszowska, Politechnika Lubelska, Politechnika Warszawska, Politechnika Częstochowska

Wyniki badań

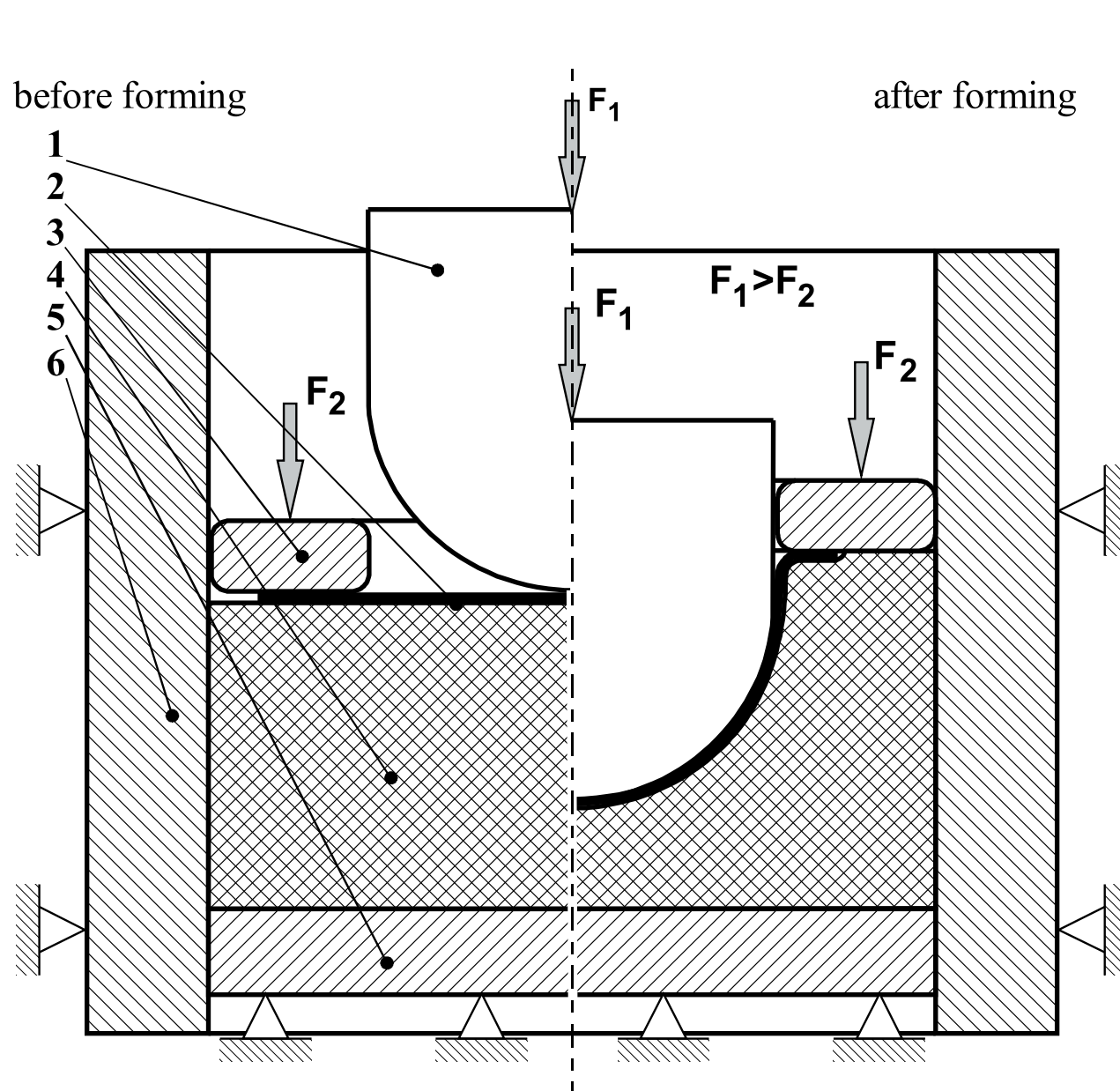
Results

Symulacja numeryczna procesu tłoczenia blach ze stopów trudnoodkształcalnych

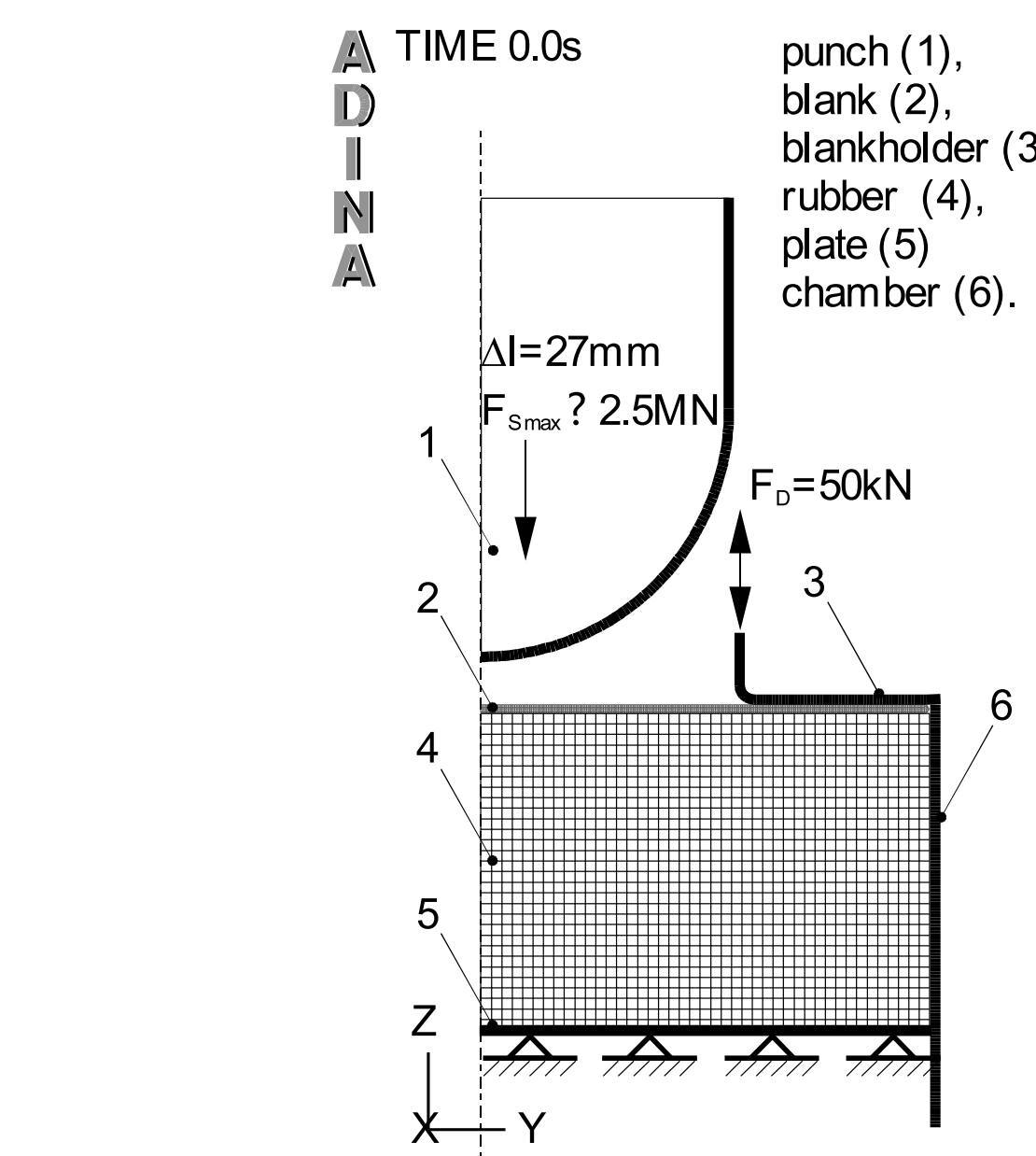
Numerical simulation of the sheet-metal forming process of hard deformable alloys

Przedmiotem analizy numerycznej jest narzędzie do tłoczenia wyrobów blaszanych z materiałów trudno odkształcalnych, mających zastosowanie w technice (np. przemysł samochodowy, zbrojeniowy, lotniczy i kosmiczny) i medycynie. Symulacja procesu tłoczenia opiera się o zgłoszenie patentowe nr PAT-24/18/11/11.

The analysis concerns the tool for sheet-metal forming of materials, which are hard to deform, and which are used in technology (e.g. car, military and aerospace industry) and medicine. The simulation is based on the patent application no PAT-24/18/11/11



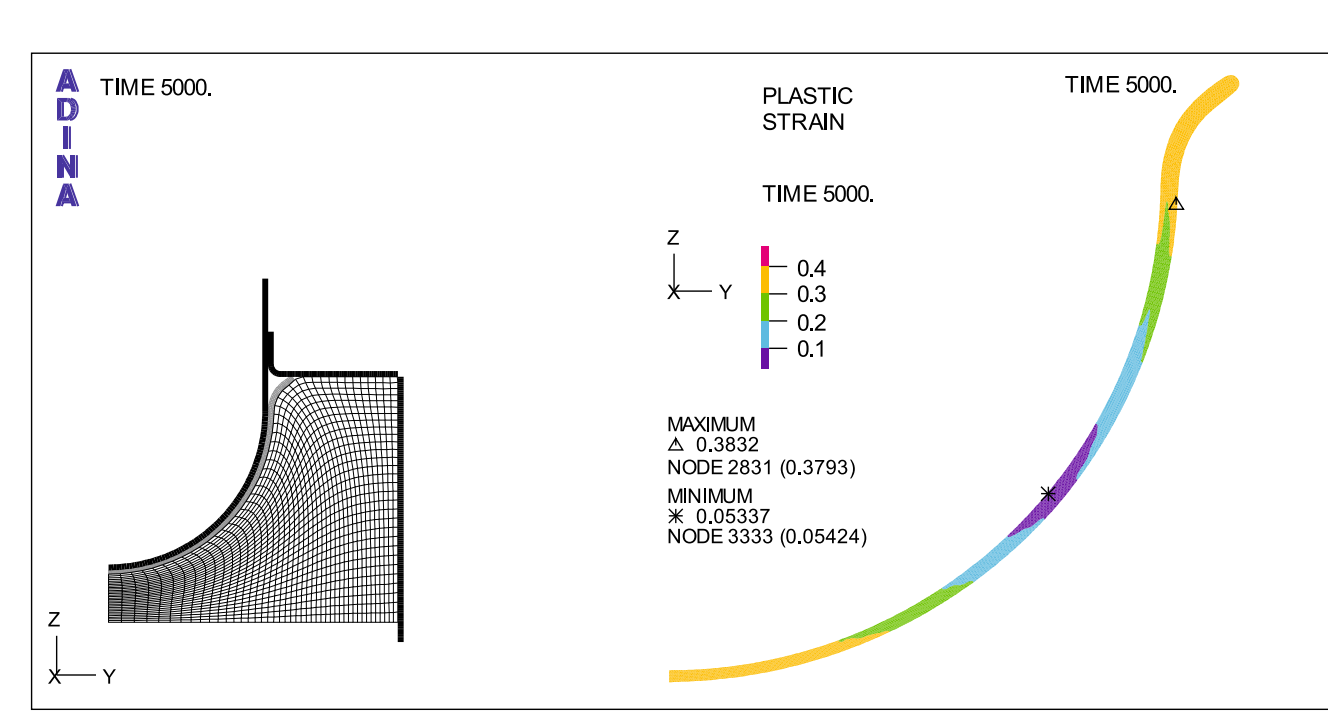
Rys. Fizyczny model procesu
Fig. Physical model of the process



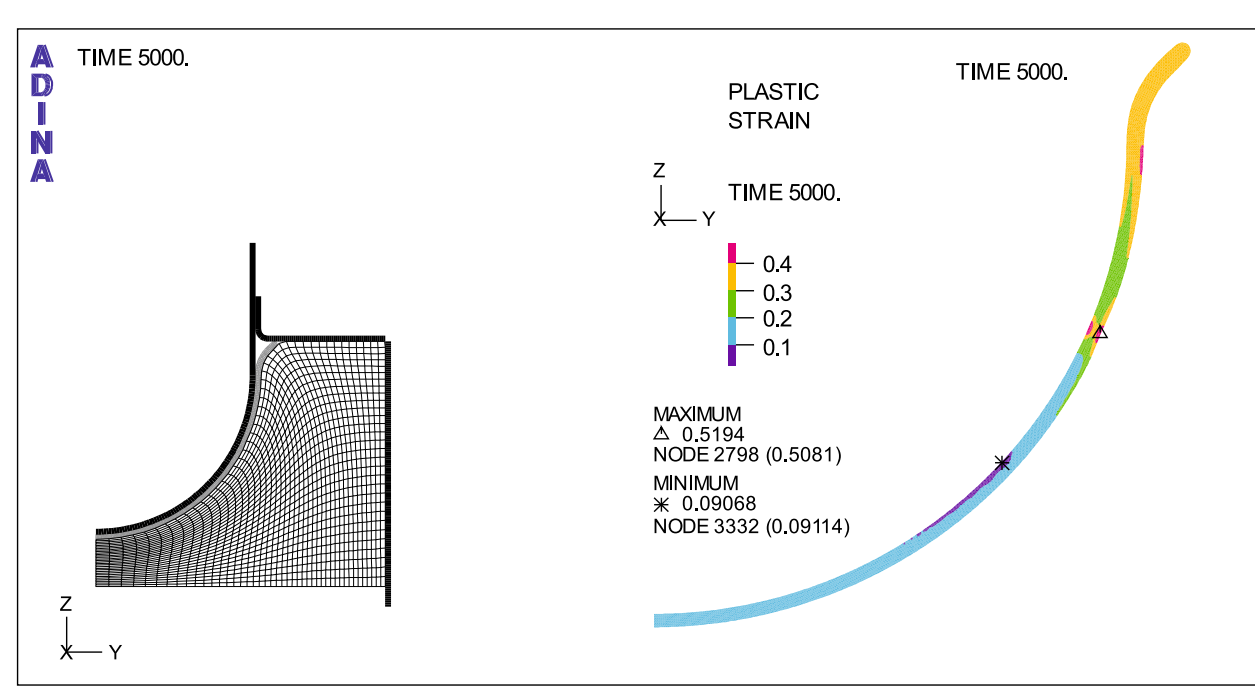
Rys. Model numeryczny MES z opisem warunków granicznych
Fig. FEM model with a description of the boundary conditions

Tabela. 1. Analizowane warianty obliczeń
Table 1. The analysed variants of the calculations

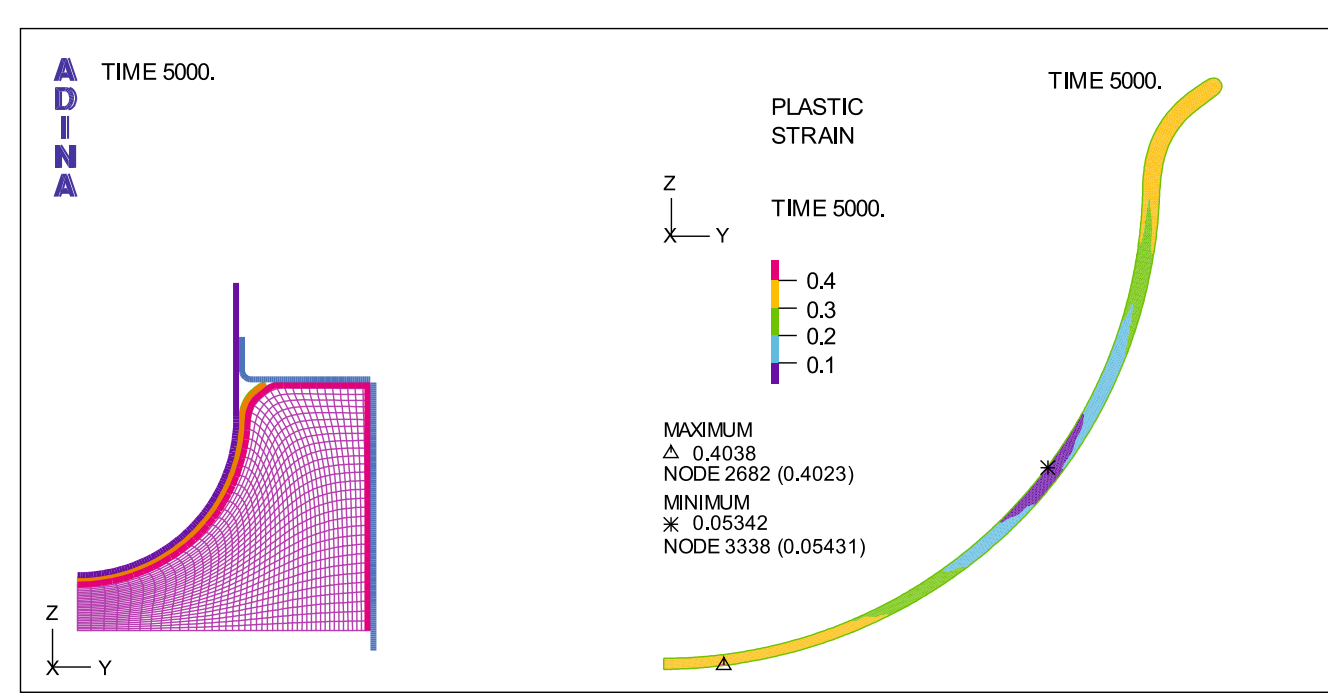
Wariant	1 wariant	2 wariant	3 wariant
Współczynnik tarcia pomiędzy blachą a dociskaczem	$\mu=0,04$	$\mu=0,04$	$\mu=0,1$
Współczynnik tarcia pomiędzy blachą a sterłem	$\mu=0,6$	$\mu=0,6$	$\mu=0,5$
Współczynnik tarcia pomiędzy blachą a gumą	$\mu=0,04$	$\mu=0,04$	$\mu=0,1$
Sila na dociskaczu F_D	Sila zmienna w czasie 0-50kN	Sila stała w czasie 50kN	Sila zmienna w czasie 0-50kN



Rys. Rozkład odkształceń plastycznych dla wariantu 1
Fig. Plastic strain distribution for variant 1



Rys. Rozkład odkształceń plastycznych dla wariantu 2
Fig. Plastic strain distribution for variant 2



Rys. Rozkład odkształceń plastycznych dla wariantu 3
Fig. Plastic strain distribution for variant 3

Wnioski

Conclusions

- Przeprowadzona eksperymentalna próba tłoczenia potwierdza, że możliwe jest kształtowanie wyłoczek z trudnoodkształcalnych stopów tytanu takich jak Ti6Al4V za pomocą półelastycznego narzędzia.
- Znaczący wpływ na proces tłoczenia mają warunki tarcia. Zaleca się stosowanie jak najwyższego współczynnika tarcia w współpracy stempla z odkształcaną blachą oraz jak najniższej wartości współczynnika dla pozostałych powierzchni kontaktu.
- Symulacje numeryczne wykazały, że korzystniejsze dla procesu jest przyjęcie siły, która wzrasta w czasie. Przeanalizowano liniowy wzrost siły w czasie.

- The carried out experiment shows that it is possible to form the drawn-parts made of hard to deform materials, such as Ti6Al4V titanium alloy by an elastic tool.
- Frictional conditions essentially affect forming process. It is advised to use high friction coefficient for the contact surface between the punch and the deformed material and the lowest as possible friction coefficient for the other contact surfaces.
- The numerical simulations showed that assuming the loading force, which increases versus time is advantageous. The linear increase of the force was analysed.

Wyniki badań

Results

Badanie wpływu powłok antyadhezyjnych na proces tłoczenia blach tytanowych

A study of the impact of anti-adhesive coatings on the sheet-titanium forming processes

Cel badań - ocena wpływu zastosowania powłok antyadhezyjnych, naniesionych na powierzchnie robocze narzędzi do tłoczenia, na proces kształtowania blach tytanowych. Analizie poddano następujące powłoki:

- azotku tytanu, nakładanego metodą azotowania jarzeniowego i metoda PVD,
- chromu, nakładanego elektrolitycznie,
- brązu aluminium, nakładanego za pomocą napawiania oraz
- mono- i wielowarstwy Cr/CrN lub Cr/CrN-(a-C:H), nanoszone metodą magnetronową w niskich temperaturach.

Powłoki nanoszono na elementy narzędzi wykonane ze stali NC10 wg PN-86/H-85023. W celu porównania, badania przeprowadzono również na narzędziach bez powłoki, poddanych tylko szlifowaniu, bądź szlifowaniu i polerowaniu. Próby przeprowadzono na czystych pasach blachy tytanowej (Grade 2) o grubości 0,8 mm. Skład chemiczny analizowanej blachy przedstawiono w tabeli 1.

Goal of the tests - evaluation of an influence of anti-adhesive coatings, which were put on the tool working surfaces, on the sheet-titanium forming processes. The following coatings are analysed:

- titanium nitride, overlaid in the process of ion nitriding and PVD,
- chromium, overlaid by electrolytic method,
- aluminium bronze, overlaid by surfacing welding and
- Cr/CrN or Cr/CrN-(a-C:H) single- and multilayers, deposited by magnetron sputtering at low temperatures.

The tools, which were made of NC10 tool steel (according to PN-86/H-85023), have been covered with the mentioned coatings. For comparison, the tools without coatings, which were only subjected to mechanical treatment, i.e. grinding or grinding and polishing, were also tested. The tests were carried out with the sheet-titanium strips (Grade 2) having a thickness of 0.8 mm. Chemical composition of the analysed sheets is presented in Table 1.

Cel badań - ocena wpływu zastosowania powłok antyadhezyjnych, naniesionych na powierzchnie robocze narzędzi do tłoczenia, na proces kształtowania blach tytanowych. Analizie poddano następujące powłoki:

- azotku tytanu, nakładanego metodą azotowania jarzeniowego i metoda PVD,
- chromu, nakładanego elektrolitycznie,
- brązu aluminium, nakładanego za pomocą napawiania oraz
- mono- i wielowarstwy Cr/CrN lub Cr/CrN-(a-C:H), nanoszone metodą magnetronową w niskich temperaturach.

Powłoki nanoszono na elementy narzędzi wykonane ze stali NC10 wg PN-86/H-85023. W celu porównania, badania przeprowadzono również na narzędziach bez powłoki, poddanych tylko szlifowaniu, bądź szlifowaniu i polerowaniu. Próby przeprowadzono na czystych pasach blachy tytanowej (Grade 2) o grubości 0,8 mm. Skład chemiczny analizowanej blachy przedstawiono w tabeli 1.

Goal of the tests - evaluation of an influence of anti-adhesive coatings, which were put on the tool working surfaces, on the sheet-titanium forming processes. The following coatings are analysed:

- titanium nitride, overlaid in the process of ion nitriding and PVD,
- chromium, overlaid by electrolytic method,
- aluminium bronze, overlaid by surfacing welding and
- Cr/CrN or Cr/CrN-(a-C:H) single- and multilayers, deposited by magnetron sputtering at low temperatures.

The tools, which were made of NC10 tool steel (according to PN-86/H-85023), have been covered with the mentioned coatings. For comparison, the tools without coatings, which were only subjected to mechanical treatment, i.e. grinding or grinding and polishing, were also tested. The tests were carried out with the sheet-titanium strips (Grade 2) having a thickness of 0.8 mm. Chemical composition of the analysed sheets is presented in Table 1.

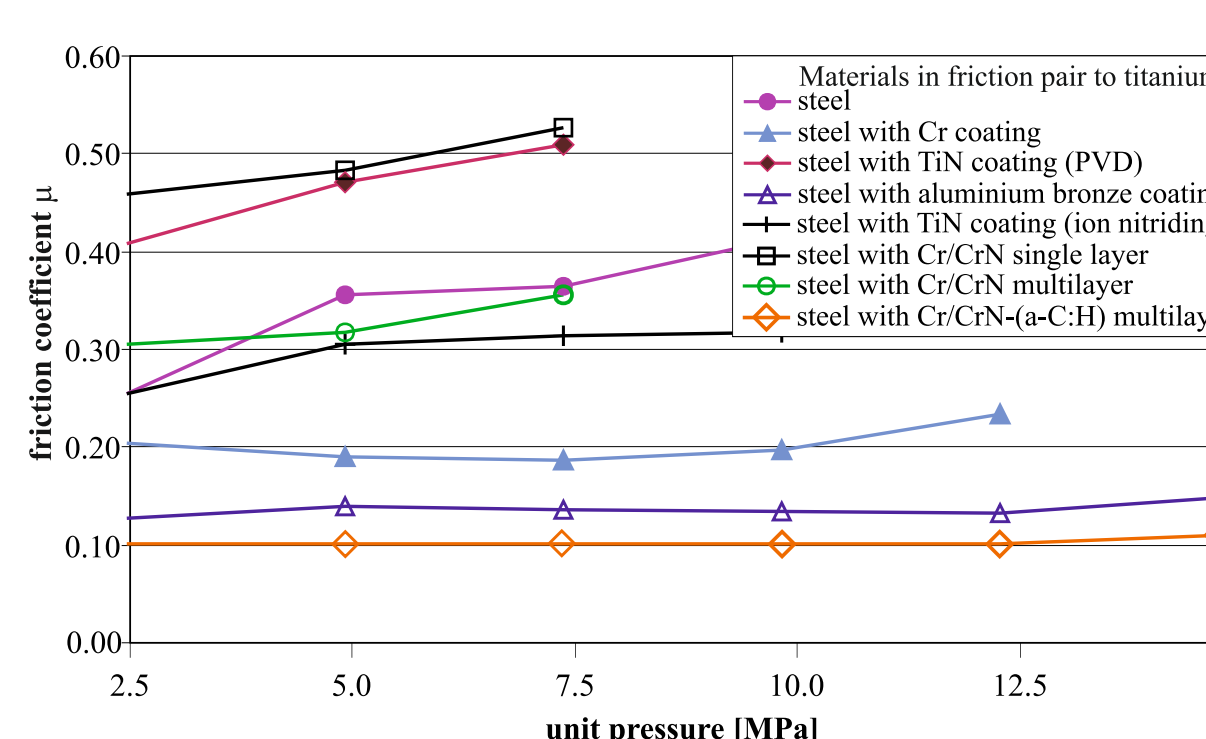
Tabela. 1. Skład chemiczny czystego tytanu technicznego Grade 2 [ASTM B 265-99]
Table 1. Chemical composition of Grade 2 [ASTM B 265-99]

Materiał (material)	% udział pierwiastków (element percentage %)					
	C	Fe	O	N	H	Ti
Grade 2	0.014	0.08	0.11	0.005	22/32(ppm)	Pozostałość (residue)

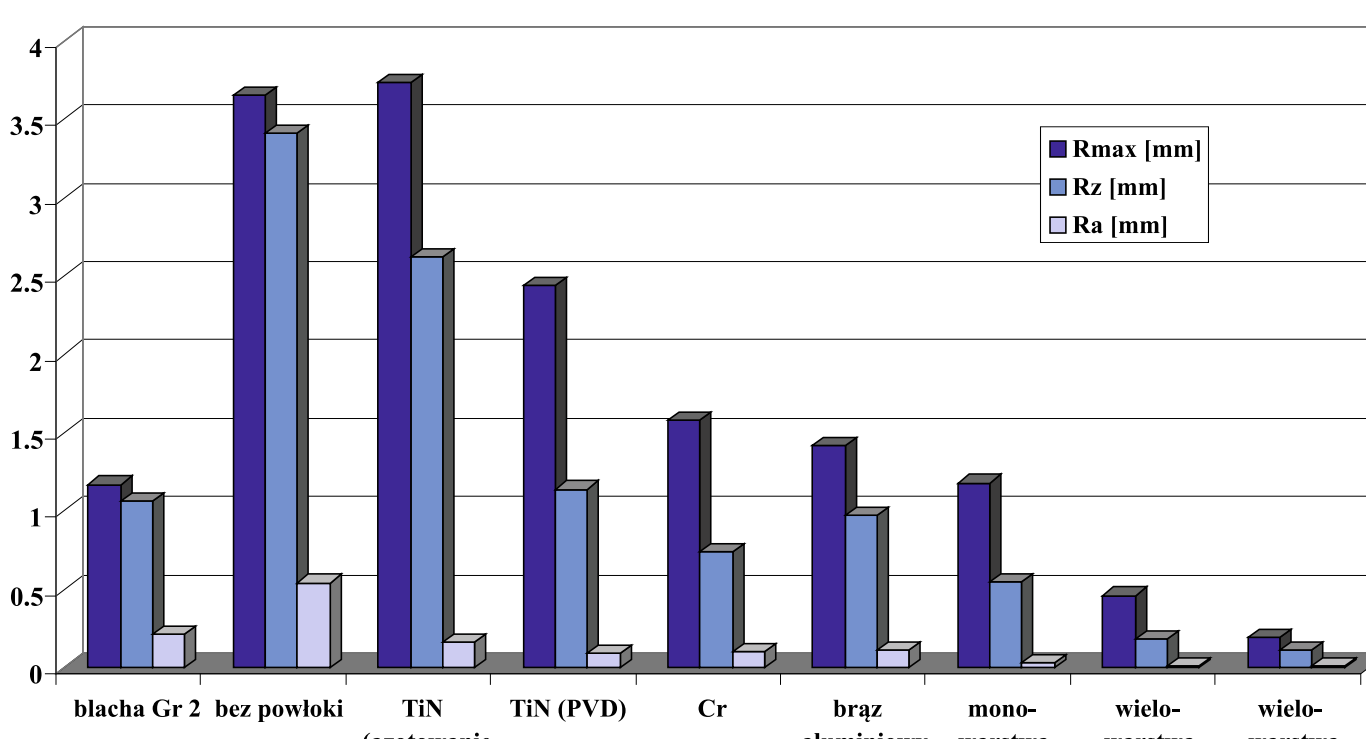
Pomiar współczynnika tarcia

Measurements of friction coefficient

Do oceny wpływu powłok na proces kształtowania blach tytanowych zastosowano tzw. próbę "przeciągania pasa blachy", która odwzorowuje warunki tarcia w procesie tłoczenia blachy. Badania prowadzono w temperaturze otoczenia, przy tej samej prędkości, i różnych naciskach powierzchniowych. Badania przeprowadzono bez smarowania (w warunkach tarcia technicznie suchego). W trakcie próby rejestrowano siłę nacisku N oraz siłę ciągnięcia P. Na podstawie przeprowadzonych pomiarów wyznaczono współczynnik tarcia $m=P/N$. Do oceny wpływu powłok na proces tłoczenia blach tytanowych wykorzystano również pomiar chropowatości. Do oceny wpływu powłok na proces tłoczenia blach tytanowych wykorzystano również pomiar chropowatości. The surface roughness test was also used to evaluate the influence of coatings on the sheet-titanium forming processes.



Rys. Współczynnik tarcia dla różnych par tarczyc w warunkach tarcia technicznie suchego
Fig. Friction coefficients for different frictional pairs in dry condition

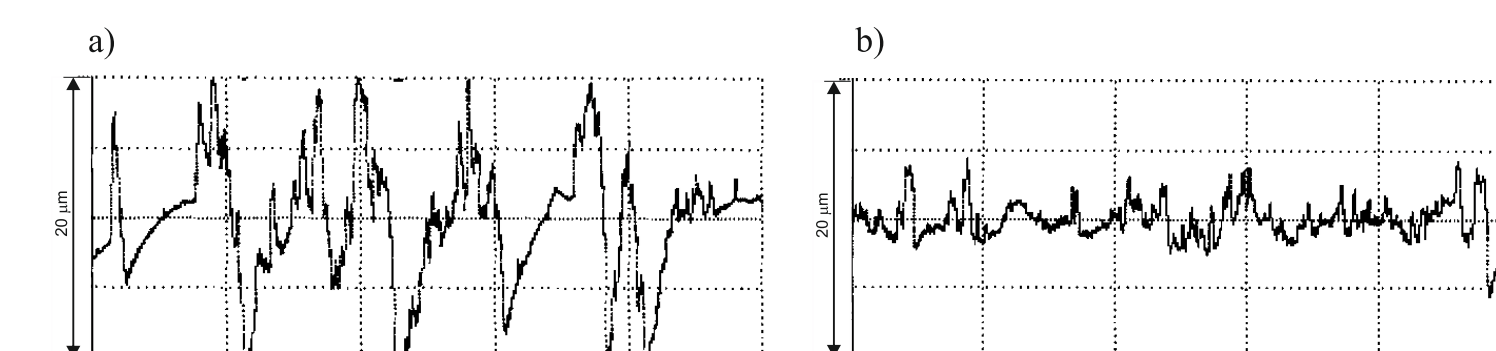


Rys. Chropowatość analizowanych powierzchni przed próbą przeciągania pasa blachy
Fig. Roughness of the analysed surfaces before the tests

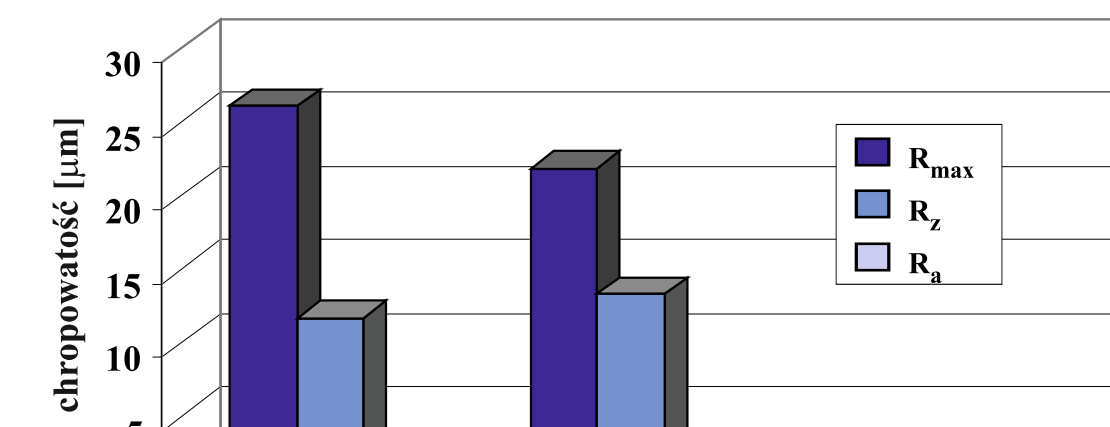
Pomiar chropowatości powierzchni

Measurements of surface roughness

Do oceny wpływu powłok na proces tłoczenia blach tytanowych wykorzystano również pomiar chropowatości. The surface roughness test was also used to evaluate the influence of coatings on the sheet-titanium forming processes.

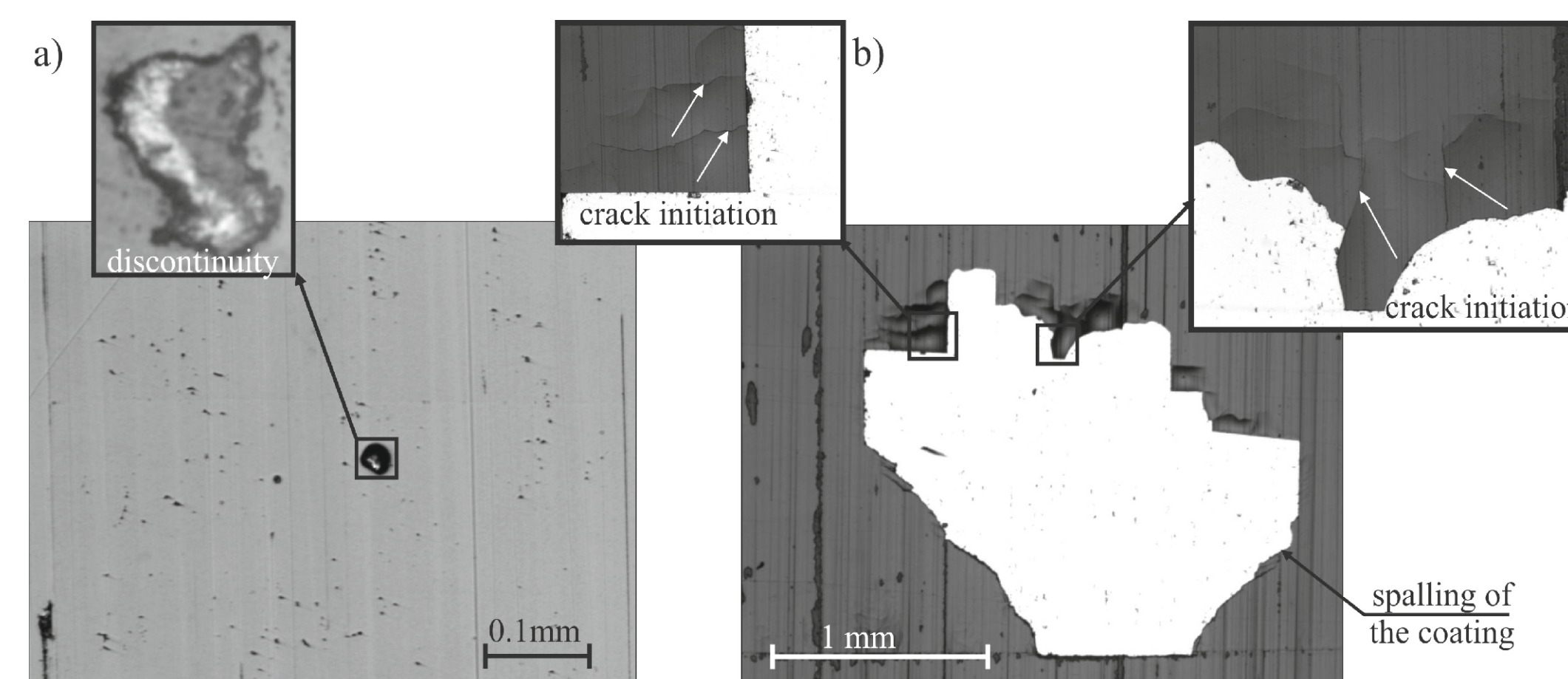


Rys. Chropowatość powierzchni narzędzi po próbie przeciągania pasa blachy - parameter Ra. Para tarcia "stal narzędziowa - blacha tytanowa": a) bez powłoki, b) z powłoką Cr; droga tarcia - 1 m, nacisk jednostkowy - 10MPa
Fig. Roughness of the tool surface after "strip-drawing" test - Ra parameter. Frictional pair: "tool steel - titanium sheet": a) with no layer, b) with Cr layer, frictional path - 1m, unit pressure - 10MPa



Rys. Chropowatość analizowanych powierzchni po próbie przeciągania pasa blachy: bez smarowania, droga tarcia - 1m, nacisk jednostkowy - 12,3 MPa
Fig. Roughness of the analysed surfaces after the strip-drawing test: with no lubricant, frictional distance - 1m, unit pressure - 12.3 MPa

Najniższe zmiany chropowatości zaobserwować można dla wielowarstwy Cr/CrN-(a-C:H). Na powierzchni, która była pokryta tą powłoką nie zauważono śladów nalepień tytanowych. Niestety ta powłoka wykazywała drobne nieciągłości i w tych miejscach przy większych obciążeniach inicjowane były pęknięcia powłoki i jej wykruszanie. The lowest changes in surface roughness are observed for the multilayer Cr/CrN-(a-C:H). On the surface, which was covered with this coating, there was no any titanium protrusion observed. Unfortunately this layer had some discontinuities and in such spots under higher loads the coating underwent cracks and spalling.



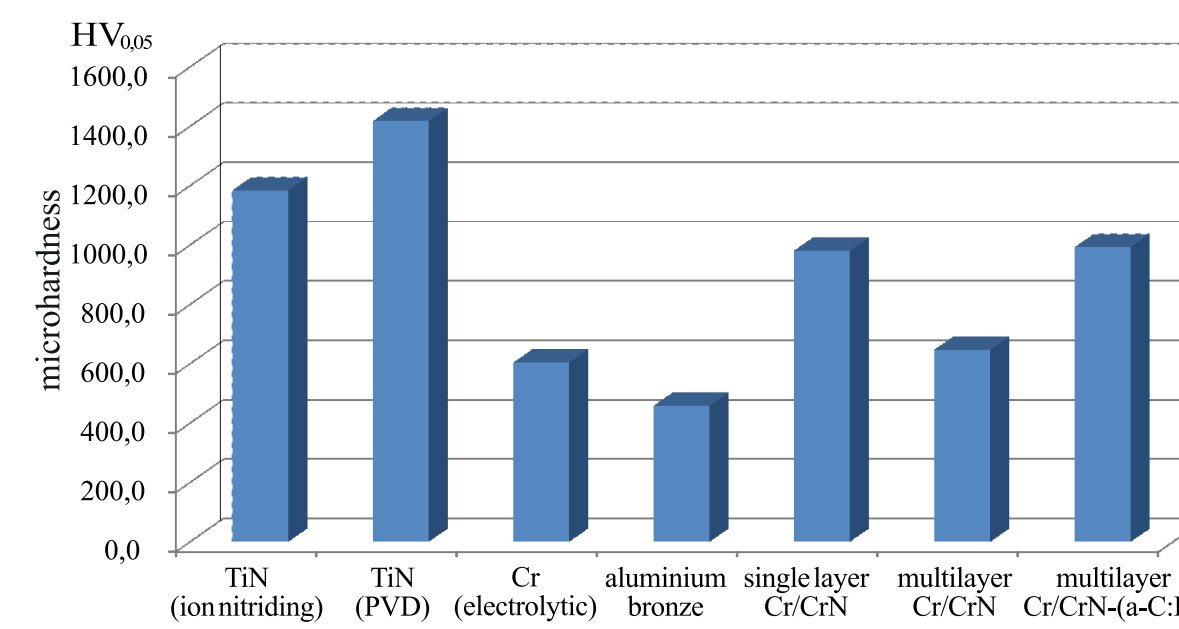
Rys. Wielowarstwa Cr/CrN-(a-C:H): przed (a) i po (b) próbie przeciągania pasa blachy
Fig. A view of multilayer Cr/CrN-(a-C:H): before (a) and after (b) the strip-drawing test

Mimo to wyniki testów tribologicznych dla wielowarstwy Cr/CrN-(a-C:H) wydają się być bardzo interesujące i dalsze prace będą skierowane na polepszenie jakości tej powłoki, zwłaszcza zmniejszenia ilości i wielkości nieciągłości. Nevertheless, the results of tribological tests for the multilayer Cr/CrN-(a-C:H) seem to be interesting and further work to improve the coating quality will be carried out, especially in order to reduce the number and size of the coating discontinuities.

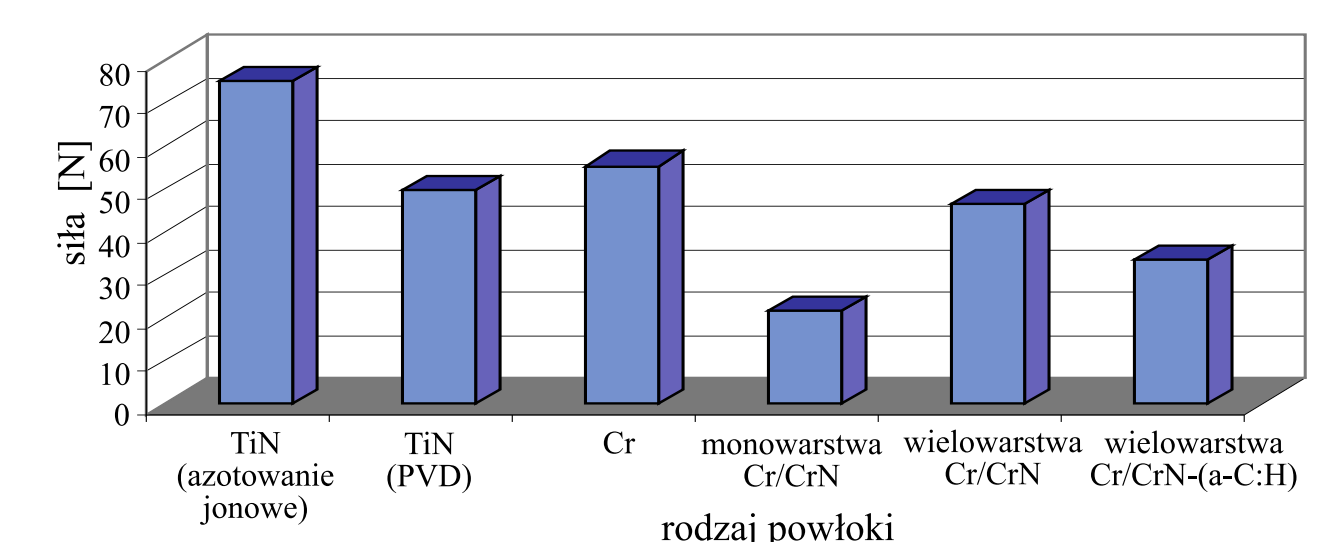
Pomiar twardości powłok

Measurements of coating hardness

Mikrotwardość analizowanych powłok mierzono metodą Vickers'a stosując statyczną indentację za pomocą diamentowej piramidki pod naciskiem 0,5N. Microhardness of the analysed coatings was measured by Vickers method using static indentations made with diamond pyramid and load of 0,5N.



Rys. Wyniki pomiaru twardości powłok
Fig. Hardness tests' results



Rys. Wyniki scratch testu
Fig. Scratch test results

Wyniki scratch testu

Measurements of scratch resistance

Niezwykle istotną kwestią podczas oceny przydatności powłok antyadhezyjnych do procesów tłoczenia blach jest ich odporność na zarysowanie. Odształcane blachy (wykrojki) zazwyczaj mają ostre krawędzie, które tworzą się podczas rozkroju blach. Ostre brzożki mogą zarysowywać powierzchnię narzędzi. W celu określenia trwałości powłok wykorzystano REVETEST Xpress Tester - scratch tester. Zastosowano diamentowy węgelnik Rockwell'a o promieniu 200 mm. Pomiar odbywał się ze stałą prędkością na drodze 15 mm. Badanie prowadzono przy sile normalnej wzrastającej od 0 do 150 N dla powłok TiN i Cr oraz od 0 do 75 N dla powłok Cr/CrN. Diamentowy stożek powodował powstawanie naprężeń pomiędzy powłoką i podłożem, w wyniku czego dochodziło do odwarstwienia i przerwania powłoki. Rejestrowano siłę, przy której następowało pierwsze uszkodzenie powłoki i określano ją jako obciążenie krytyczne Lc. Extremely important issue, when evaluating coatings applied to the working surfaces of the dies, is also their scratch resistance. The deformed sheets (blanks) usually have sharp edges, which originate in cutting or blanking. Such edges can scratch the tool surface. REVETEST Xpress Tester was used for characterizing adhesive strength of the analysed coatings. A Rockwell diamond indenter with radius of 200 mm was used in the tests. It was moved across the coated surface of a substrate at a constant velocity over a distance of l=15 mm. The scratch resistance tests for the analysed coatings were carried out with a steadily increasing normal force from 0 to 150 N for TiN and Cr coatings and from 0 to 75 N for Cr/CrN coatings. The diamond causes stress between the thin film coating/substrate interface resulting in delamination or chipping of the coating. The normal force at which the first failure of the coating was detected and termed the critical load Lc.

Ważnym aspektem, przy ocenie powłok antyadhezyjnych, jest ich odporność na zarysowanie. Zdeformowane blachy (wykrojki) zazwyczaj mają ostre krawędzie, które mogą zarysować powierzchnię narzędzi. W celu określenia trwałości powłok wykorzystano REVETEST Xpress Tester - scratch tester. Zastosowano diamentowy węgelnik Rockwell'a o promieniu 200 mm. Pomiar odbywał się ze stałą prędkością na drodze 15 mm. Badanie prowadzono przy sile normalnej wzrastającej od 0 do 150 N dla powłok TiN i Cr oraz od 0 do 75 N dla powłok Cr/CrN. Diamentowy stożek powodował powstawanie naprężeń pomiędzy powłoką i podłożem, w wyniku czego dochodziło do odwarstwienia i przerwania powłoki. Rejestrowano siłę, przy której następowało pierwsze uszkodzenie powłoki i określano ją jako obciążenie krytyczne Lc. Extremely important issue, when evaluating coatings applied to the working surfaces of the dies, is also their scratch resistance. The deformed sheets (blanks) usually have sharp edges, which originate in cutting or blanking. Such edges can scratch the tool surface. REVETEST Xpress Tester was used for characterizing adhesive strength of the analysed coatings. A Rockwell diamond indenter with radius of 200 mm was used in the tests. It was moved across the coated surface of a substrate at a constant velocity over a distance of l=15 mm. The scratch resistance tests for the analysed coatings were carried out with a steadily increasing normal force from 0 to 150 N for TiN and Cr coatings and from 0 to 75 N for Cr/CrN coatings. The diamond causes stress between the thin film coating/substrate interface resulting in delamination or chipping of the coating. The normal force at which the first failure of the coating was detected and termed the critical load Lc.

Wnioski

Conclusions

- W celu zmniejszenia lub całkowitego wyeliminowania tworzenia się tytanowych nalepień na stalowych narzędziach należy jednocześnie stosować smarowanie i powłoki antyadhezyjne.
- Powłoki antyadhezyjne dostarczają dodatkowej ochrony przed tworzeniem się tytanowych nalepień w momencie przerwania filmu smarnego w wyniku wysokich nacisków jednostkowych w trakcie tłoczenia blach tytanowych.
- Najbardziej efektywnymi powłokami w procesach tłoczenia blach tytanowych wydają się być powłoki chromu, brązu aluminium i wielowarstwy Cr/CrN-(a-C:H), jednakże trwałości w warunkach wysokich obciążeń poprzez zwiększenie jej adhezji do podłoża.
- Dalsze badania będą prowadzone pod kątem poszukiwania powłok antyadhezyjnych pozwalających na redukcję lub całkowite wyeliminowanie smarowania w procesach tłoczenia blach.

- In order to reduce or eliminate the formation of titanium protrusions on steel tools the technological lubricants and anti-adhesive coatings should be used simultaneously.
- Anti-adhesive coatings provide additional protection against formation of the titanium protrusions at the time of breaking of the lubricant film due to high unit pressure in the sheet-titanium forming processes.
- Chromium, aluminium bronze and Cr/CrN-(a-C:H) multilayer seem to be effective for sheet-titanium forming. However, Cr/CrN-(a-C:H) multilayer needs some modification, especially improvement in its durability under high load by adhesion enhancement, being a task of started work.
- Further studies, will be focused on searching for anti-adhesive coatings, allowing for reduction or even total elimination of technological lubricants in sheet-metal forming.

Przykłady współpracy z przemysłem lotniczym

Collaboration with aviation industry

W zakresie realizowanych badań zespół P.Cz. współpracuje z podmiotami przemysłowymi:

- WSK Rzeszów. Prowadzone badania dotyczą opracowania technologii tłoczenia na zimno części ze stopów Ti stosowanych na elementy kadłuba nośnego silnika lotniczego. Prace koncentrują się na modelowaniu numerycznym procesu tłoczenia. W symulacji numerycznej analizie poddaje się siłę docisku, warunki tarcia, rodzaj materiału itp.
- PZL Mielec. Prowadzone badania dotyczą możliwości zastosowania wyłoczek przygotowanych w technologii "tailor-welded blanks"

Wskaźniki realizacji celów projektu

Indicators of the project

Referaty

- Wróbel-Knysak A., Kucharska B., Nitkiewicz Z., Lacki P.: **Podatność powłok Al-Si do głębokiego tłoczenia**, XX Międzynarodowa Konferencja Naukowo-Techniczna: Inżynieria Procesowa w Produkcji Metali, 28-30.VI.2012, Zakopane
- Adamus J., Lackner Jurgen: **Badanie wpływu powłok antyadhezyjnych na procesy kształtowania blach tytanowych**, XXII Ogólnopolska Konferencja Tribologiczna "Jesienna Szkoła Tribologiczna 2012", 18-21.IX. 2012, Kudowa Zdrój
- Kot M., Rakowski W., Łyżniak J.: **Modelowanie i eksperymentalna weryfikacja testów nanoindentacji dla układów powłoka-podłoże**, XXII Ogólnopolska Konferencja Tribologiczna "Jesienna Szkoła Tribologiczna 2012", 18-21.IX. 2012, Kudowa Zdrój
- Łyżniak J., Więkowski W., Zawadzki M.: **Evaluation of drawability of tailor-welded blanks made of titanium alloys grade 2 || grade 5**, the 22 International Workshop on Computational Mechanics of Materials, 23-26 IX 2012, Baltimore
- Lacki P., Adamus J., Więkowski W., Winowiecka J.: **Evaluation of drawability of titanium welded sheets**, PLASTMET 2012, 20-23.XI.2012, Łańcut Zamek
- Adamus J., Lacki P.: **Investigation of sheet-titanium forming with flexible tool - experiment and simulation**, PLASTMET 2012, 20-23.XI.2012, Łańcut Zamek

Publikacje

- Więkowski W., Lacki P., Adamus J.: **Modelowanie numeryczne procesu gięcia owiewki tytanowej**, Inżynieria materiałowa Nr 3 (187), 2012, 146-150
- Kot M., Rakowski W., Łyżniak J.: **Modelowanie i eksperymentalna weryfikacja testów nanoindentacji dla układów powłoka-podłoże**, Tribologia nr.4 (244), rok XLIII, 2012, 67-73