

(19)



URZĄD
PATENTOWY
RZECZYPOSPOLITEJ
POLSKIEJ

(10) **PL 247279 B1**

(12)

Opis patentowy

(21) Numer zgłoszenia: **441961**

(22) Data zgłoszenia: **2022.08.08**

(43) Data publikacji o zgłoszeniu: **2023.10.09 BUP 41/2023**

(45) Data publikacji o udzieleniu patentu: **2025.06.09 WUP 23/2025**

(51) MKP:

B21J 5/02 (2006.01)

B21J 13/02 (2006.01)

B21K 1/12 (2006.01)

B21K 29/00 (2006.01)

B21D 53/84 (2006.01)

(73) Uprawniony z patentu:
POLITECHNIKA WARSZAWSKA, Warszawa, PL

(72) Twórca(-y) wynalazku:
ANNA DZIUBIŃSKA, Lublin, PL
WOJCIECH PRESZ, Warszawa, PL

(74) Pełnomocnik:
rzecz. pat. Oliwia Czarnocka, Warszawa, PL

(54) Tytuł:

**Sposób kształtowania na prasie hydraulicznej odkuwki ze stopów magnezu,
w szczególności łącznika samochodowego**

PL 247279 B1

Opis wynalazku

Przedmiotem wynalazku jest sposób kształtowania na prasie hydraulicznej odkuwki ze stopów magnezu, w szczególności łącznika samochodowego.

Dotychczas znane i stosowane są metody wytwarzania łączników ze stopów magnezu do przeróbki plastycznej z grupy magnez-cynk-cyrkon takie jak obróbka skrawaniem i kucie matrycowe.

Przy wytwarzaniu łączników samochodowych stosowana jest technologia obróbki skrawaniem, którą opisano w literaturze W. Olszaka „Obróbka skrawaniem”, WNT, Warszawa 2008 r. Obróbka skrawaniem łączników samochodowych polega na nadaniu powierzchniomżądanego kształtu, wymiarów oraz jakości powierzchni poprzez usuwanie materiału z wsadu w postaci prostopadłościanu lub walca przy użyciu narzędzi skrawających. Technologia ta odznacza się dużą pracochłonnością, czasochłonnością, energochłonnością procesu i generowaniem dużych strat materiałowych oraz niską jakością ukształtowanych wyrobów.

Najlepsze własności wytrzymałościowe łączników stosowanych w przemyśle samochodowym zapewniają procesy kształtowania plastycznego opisane w literaturze J. Sińczak „Procesy przeróbki plastycznej”, Wydawnictwo Naukowe AKAPIT, Kraków 2003 r. Przykładem jest kucie matrycowe opisane w literaturze specjalistycznej przez P. Skubisza „Technologie kucia matrycowego”, ARBOR FP, Kraków 2010 r. Proces prowadzi się wieloetapowo w trzech operacjach – gięcie, kucie wstępne, kucie końcowe z wsadu już przerobionego plastycznie z dużym naddatkiem na wpływkę. Około 50% masy odkuwki stanowi odpad technologiczny, przy zastosowaniu drogich systemów grzewczych narzędzi.

Z opisu patentu PL 237783 B1 znany jest sposób kształtowania półfabrykatu na prasie hydraulicznej, zwłaszcza do wytwarzania mocowania lotniczego, w którym narzędzia górne i dolne posiadające w części środkowej wykroje robocze montuje się na prasie hydraulicznej o nacisku 3000 kN i nagrzewa się przy użyciu palników gazowych do temperatury 250°C. Po czym materiał wsadowy w kształcie przedkuwki kształtowej odlewanej w formach piaskowych z mniej plastycznych stopów aluminium z grupy aluminium-miedź nagrzewa się w piecu w zakresie temperatur 460–500°C, korzystnie 480°C, w czasie do 50 minut. Następnie nagrzanymateriał wsadowy umieszcza się w wykroju roboczym narzędzia dolnego. Po czym naciska się prasą hydrauliczną na narzędzie górne posiadające dwa jednakowe nieprzelotowe otwory prowadzące za pomocą dwóch jednakowych kołków prowadzących znajdujących się na narzędziu dolnym i wprawia się narzędzie górne w ruch postępowy w dół z prędkością do 10 mm/s w kierunku narzędzia dolnego i zgniata się materiał wsadowy wykrojem roboczym narzędzia górnego i wykrojem roboczym narzędzia dolnego i kształtuje się półfabrykat z większym stopniem przekucia.

Z opisu patentu PL 237776 B1 znany jest sposób kształtowania półfabrykatu w przyrządzie kuźniczym, na prasie hydraulicznej, zwłaszcza do wytwarzania korbowodu samochodowego, w którym wkładki matrycowe górną i dolną posiadające w części środkowej jednakowe wykroje robocze montuje się do płyt oporowych górnej i dolnej w przyrządzie kuźniczym na prasie hydraulicznej o nacisku 3000 kN i nagrzewa się przy użyciu palników gazowych do temperatury 300°C. Materiał wsadowy w kształcie przedkuwki kształtowej odlewanej w formach piaskowych z mniej plastycznych stopów aluminium z grupy aluminium-miedź nagrzewa się w piecu w zakresie temperatur 460–500°C, korzystnie 480°C, w czasie do 35 minut. Następnie nagrzanymateriał wsadowy umieszcza się w wykroju roboczym wkładki matrycowej dolnej. Po czym naciska się prasą hydrauliczną płytę oporową górną posiadającą dwa jednakowe okrągłe przelotowe otwory prowadzące i dwie jednakowe tuleje prowadzące za pomocą dwóch jednakowych kołków prowadzących znajdujących się na płycie oporowej dolnej i wprawia się wkładkę matrycową górną przyrządu kuźniczego w ruch postępowy w dół z prędkością do 10 mm/s w kierunku wkładki matrycowej dolnej i zgniata się materiał wsadowy wykrojem roboczym wkładki matrycowej górnej i wykrojem roboczym wkładki matrycowej dolnej i kształtuje się półfabrykat z większym stopniem przekucia.

Z opisu patentu PL 237774 B1 znany jest sposób kształtowania półfabrykatu na prasie hydraulicznej, zwłaszcza do wytwarzania korbowodu samochodowego, w którym narzędzia górne i dolne posiadające w części środkowej jednakowe wykroje robocze montuje się na prasie hydraulicznej o nacisku 3000 kN i nagrzewa się przy użyciu palników gazowych do temperatury 300°C. Materiał wsadowy w kształcie przedkuwki kształtowej odlewanej w formach piaskowych z mniej plastycznych stopów aluminium z grupy aluminium-miedź nagrzewa się w piecu w zakresie temperatur 460–500°C, korzystnie 480°C, w czasie do 35 minut. Następnie nagrzanymateriał wsadowy umieszcza się w wykroju roboczym

narzędzia dolnego. Po czym naciska się prasą hydrauliczną na narzędzie górne posiadające dwa jednakowe okrągłe przelotowe otwory prowadzące za pomocą dwóch jednakowych kołków prowadzących znajdujących się na narzędziu dolnym i wprawia się narzędzie górne w ruch postępowy w dół z prędkością do 10 mm/s w kierunku narzędzia dolnego i zgniata się materiał wsadowy wykrojem roboczym narzędzia górnego i wykrojem roboczym narzędzia dolnego i kształtuje się półfabrykat z większym stopniem przekucia. Badania numeryczne dla sposobu według patentu PL 237774 B1 przedstawiono na przykładzie stopu aluminium 2017A w artykule G. Winiarskiego, A. Dziubińskiej „Analysis of a New Process of Forging a 2017A Aluminum Alloy Connecting Rod”, Journal of Manufacturing Science and Engineering, 2021, vol. 143, nr 8, s. 1–8.

Celem wynalazku jest kształtowanie plastyczne na prasie hydraulicznej odkuwki łącznika samochodowego z materiału wsadowego w postaci odlewu kształtowego ze stopów magnezu do przeróbki plastycznej z grupy magnez-cynk-cyrkon w jednej operacji kształtowania w wykroju końcowym na prasie hydraulicznej, ograniczając poprzez to straty materiałowe, czas realizacji procesu oraz jego energochłonność.

Istotą sposobu kształtowania na prasie hydraulicznej odkuwki ze stopów magnezu, w szczególności łącznika samochodowego polegającego na tym, że stempel górny i matrycę dolną nagrzewa się w piecu i montuje się na prasie hydraulicznej, po czym materiał wsadowy w postaci odlewu kształtowego nagrzewa się w piecu, umieszcza się w wykroju matrycy dolnej po czym wprawia się stempel górny w ruch postępowy, po czym ściska się materiał wsadowy wykrojem stempla górnego i wykrojem matrycy dolnej i kształtuje się odkuwkę, jest to, że stempel górny i matrycę dolną nagrzewa się w piecu do temperatur od 260°C do 300°C, a materiał wsadowy ze stopów magnezu do przeróbki plastycznej z grupy magnez-cynk-cyrkon nagrzewa się w piecu w temperaturze od 350°C do 450°C, w czasie od 35 minut do 40 minut, po czym nagrany materiał wsadowy dociska się stemplem górnym wprawionym w ruch postępowy z prędkością od 15 do 40 mm/s ściskając materiał wsadowy z maksymalną siłą kształtowania w zakresie od 1820 kN do 3961 kN i kształtuje się odkuwkę z maksymalnym odkształceniem w zakresie od 5,50 do 7,96.

Korzystnie, materiał wsadowy nagrzewa się w piecu w temperaturze 400°C.

Korzystnie, materiał wsadowy nagrzewa się w piecu w czasie 40 minut.

Korzystnym skutkiem wynalazku jest to, że zastosowanie do procesu kształtowania dokładnego wymiarowo materiału wsadowego w postaci odlewu kształtowego pozwala na oszczędności materiału do 30% w stosunku do obecnie stosowanej w przemyśle technologii obróbki skrawaniem odlewów. Zastosowanie materiału wsadowego w postaci odlewu kształtowego do procesu kształtowania odkuwki łącznika ze stopów magnezu do przeróbki plastycznej z grupy magnez-cynk-cyrkon pozwala ograniczyć ilość i czas operacji potrzebnych do uzyskania odkuwki oraz wpływa na wzrost wydajności i zmniejszenie pracochłonności procesu.

Produkt otrzymany sposobem według wynalazku cechuje się wyższą jakością materiału wynikającą z rozdrobnienia struktury w całej objętości, dużą gładkością powierzchni, co przekłada się na lepsze własności mechaniczne i użytkowe w stosunku do wyrobów wykonywanych poprzez odlewanie i obróbkę skrawaniem.

Sposób kształtowania na prasie hydraulicznej odkuwki ze stopów magnezu, w szczególności łącznika samochodowego według wynalazku, został opisany w przykładzie realizacji oraz na rysunku, na którym:

- Fig. 1 – przedstawia widok narzędzi z wyrwaniem z materiałem wsadowym;
- Fig. 2 – przedstawia widok stykających się narzędzi z wyrwaniem z odkuwką;
- Fig. 3 – przedstawia widok perspektywiczny stempla górnego;
- Fig. 4 – przedstawia widok perspektywiczny matrycy dolnej;
- Fig. 5 – przedstawia widok perspektywiczny z góry materiału wsadowego;
- Fig. 6 – przedstawia widok perspektywiczny z dołu materiału wsadowego;
- Fig. 7 – przedstawia widok z góry materiału wsadowego;
- Fig. 7a – przedstawia przekrój materiału wsadowego wzdłuż linii A-A z Fig. 7;
- Fig. 7b – przedstawia przekrój materiału wsadowego wzdłuż linii B-B z Fig. 7;
- Fig. 8 – przedstawia widok perspektywiczny z góry odkuwki;
- Fig. 9 – przedstawia widok perspektywiczny z dołu odkuwki;

Rys. 1a przedstawia rozkład odkształceń w ukształtowanej odkuwce łącznika samochodowego w widoku z góry dla temperatury narzędzi 260°C i wsadu 350°C według wynalazku uzyskany z analizy MES;

Rys. 1b przedstawia rozkład odkształceń w ukształtowanej odkuwce łącznika samochodowego w widoku z dołu dla temperatury narzędzi 260°C i materiału wsadowego 350°C według wynalazku uzyskany z analizy MES;

Rys. 2a przedstawia rozkład odkształceń w ukształtowanej odkuwce łącznika samochodowego w widoku z góry dla temperatury narzędzi 260°C i materiału wsadowego 400°C według wynalazku uzyskany z analizy MES;

Rys. 2b przedstawia rozkład odkształceń w ukształtowanej odkuwce łącznika samochodowego w widoku z dołu dla temperatury narzędzi 260°C i materiału wsadowego 400°C według wynalazku uzyskany z analizy MES;

Rys. 3a przedstawia rozkład odkształceń w ukształtowanej odkuwce łącznika samochodowego w widoku z góry dla temperatury narzędzi 260°C i materiału wsadowego 450°C według wynalazku, uzyskany z analizy MES;

Rys. 3b przedstawia rozkład odkształceń w ukształtowanej odkuwce łącznika samochodowego w widoku z dołu dla temperatury narzędzi 260°C i materiału wsadowego 450°C według wynalazku, uzyskany z analizy MES;

Rys. 4a przedstawia rozkład odkształceń w ukształtowanej odkuwce łącznika samochodowego w widoku z góry dla temperatury narzędzi 300°C i materiału wsadowego 350°C według wynalazku uzyskany z analizy MES;

Rys. 4b przedstawia rozkład odkształceń w ukształtowanej odkuwce łącznika samochodowego w widoku z dołu dla temperatury narzędzi 300°C i materiału wsadowego 350°C według wynalazku uzyskany z analizy MES;

Rys. 5a przedstawia rozkład odkształceń w ukształtowanej odkuwce łącznika samochodowego w widoku z góry dla temperatury narzędzi 300°C i materiału wsadowego 400°C według wynalazku uzyskany z analizy MES;

Rys. 5b przedstawia rozkład odkształceń w ukształtowanej odkuwce łącznika samochodowego w widoku z dołu dla temperatury narzędzi 300°C i materiału wsadowego 400°C według wynalazku uzyskany z analizy MES;

Rys. 6a przedstawia rozkład odkształceń w ukształtowanej odkuwce łącznika samochodowego w widoku z góry dla temperatury narzędzi 300°C i materiału wsadowego 450°C według wynalazku uzyskany z analizy MES;

Rys. 6b przedstawia rozkład odkształceń w ukształtowanej odkuwce łącznika samochodowego w widoku z dołu dla temperatury narzędzi 300°C i materiału wsadowego 450°C według wynalazku uzyskany z analizy MES;

Rys. 7 przedstawia rozkład odkształceń w ukształtowanym półfabrykacie wykonany w oparciu o dokument patentowy PL 237774 B1 i uzyskany z analizy MES.

Wykres 1 przedstawia krzywe płynięcia odlewanego w formach piaskowych stopu magnezu ZK60 dla temperatury 350°C;

Wykres 2 przedstawia krzywe płynięcia odlewanego w formach piaskowych stopu magnezu ZK60 dla temperatury 400°C;

Wykres 3 przedstawia krzywe płynięcia odlewanego w formach piaskowych stopu magnezu ZK60 dla temperatury 450°C;

Wykres 4 przedstawia krzywe płynięcia odlewanego w formach piaskowych stopu aluminium 2017A dla temperatury 400°C;

Wykres 5 przedstawia krzywe płynięcia odlewanego w formach piaskowych stopu aluminium 2017A dla temperatury 450°C;

Wykres 6 przedstawia krzywe płynięcia odlewanego w formach piaskowych stopu aluminium 2017A dla temperatury 500°C;

Wykres 7 przedstawia zależność siły kształtowania stempla górnego w funkcji czasu dla temperatury narzędzi 260°C i materiału wsadowego 350°C według wynalazku, otrzymanej z analizy MES;

Wykres 8 przedstawia zależność siły kształtowania stempla górnego w funkcji czasu dla temperatury narzędzi 260°C i materiału wsadowego 400°C według wynalazku, otrzymanej z analizy MES;

Wykres 9 przedstawia zależność siły kształtowania stempla górnego w funkcji czasu dla temperatury narzędzi 260°C i materiału wsadowego 450°C według wynalazku, otrzymanej z analizy MES;

Wykres 10 przedstawia zależność siły kształtowania stempla górnego w funkcji czasu dla temperatury narzędzi 300°C i materiału wsadowego 350°C według wynalazku, otrzymanej z analizy MES;

Wykres 11 przedstawia zależność siły kształtowania stempla górnego w funkcji czasu dla temperatury narzędzi 300°C i materiału wsadowego 400°C według wynalazku, otrzymanej z analizy MES;

Wykres 12 przedstawia zależność siły kształtowania stempla górnego w funkcji czasu dla temperatury narzędzi 300 °C i materiału wsadowego 450°C według wynalazku, otrzymanej z analizy MES;

Wykres 13 przedstawia zależność siły kształtowania narzędzia górnego w funkcji czasu wykonany w oparciu o dokument patentowy PL 237774 B1 i otrzymany z analizy MES.

Przykład 1

Sposób kształtowania na prasie hydraulicznej odkuwki łącznika samochodowego przeznaczonego do modelu Audi A4 – typ B6/B7 produkowanego w latach 2001–2008 ze stopów magnezu do przeróbki plastycznej z grupy magnez-cynk-cyrkon z gatunku ZK60 według normy ASTM B91-97 polegający na tym, że stempel górny 1 i matrycę dolną 2 posiadające w części środkowej wykroje 1a i 2a w postaci bryły, której zarys zbliżony jest do litery „U” z kołowymi zagłębieniami na jej końcach, nagrzewano w piecu w temperaturze 260°C i zamontowano na prasie hydraulicznej. Po czym materiał wsadowy 3a w postaci odlewu ze stopu magnezu ZK60 według normy ASTM B91-97, w postaci bryły, o objętości 117565,650 mm³ i masie 0,212 kg, nagrzewano w piecu w temperaturze 350°C przez 40 minut. Następnie nagrany materiał wsadowy 3a umieszczono w wykroju 2a nieruchomej matrycy dolnej 2. Po czym wprawiono stempel górny 1 w ruch postępowy z prędkością V_1 wynoszącą 15–40 mm/s w kierunku nieruchomej matrycy dolnej 2 i ścisano materiał wsadowy 3a wykrojem 1a stempla górnego 1 i wykrojem 2a matrycy dolnej 2 z maksymalną siłą kształtowania 3353 kN i kształtowano odkuwkę 3b z maksymalnym odkształceniem 7,96.

Przykład 2

Sposób kształtowania na prasie hydraulicznej odkuwki łącznika samochodowego przeznaczonego do modelu Audi A4 – typ B6/B7 ze stopów magnezu do przeróbki plastycznej z grupy magnez-cynk-cyrkon, realizowany wg przykładu 1, przy czym stempel górny 1 i matrycę dolną 2 nagrzewano w piecu w temperaturze 300°C, przy czym materiał wsadowy 3a nagrzewano w piecu w temperaturze 350°C przez 40 minut. Odkuwkę kształtowano ściskając materiał wsadowy 3a wykrojem 1a stempla górnego 1 i wykrojem 2a matrycy dolnej 2 z maksymalną siłą kształtowania 3961 kN z maksymalnym odkształceniem odkuwki 6,36.

Przykład 3

Sposób kształtowania na prasie hydraulicznej odkuwki łącznika samochodowego przeznaczonego do modelu Audi A4 – typ B6/B7 ze stopów magnezu do przeróbki plastycznej z grupy magnez-cynk-cyrkon, realizowany wg przykładu 1, przy czym materiał wsadowy 3a nagrzewano w piecu w temperaturze 450°C przez 35 minut. Odkuwkę kształtowano ściskając materiał wsadowy 3a wykrojem 1a stempla górnego 1 i wykrojem 2a matrycy dolnej 2 z maksymalną siłą kształtowania 1820 kN z maksymalnym odkształceniem odkuwki 6,36.

Otrzymano odkuwkę łącznika samochodowego o wyższych własnościach mechanicznych i użytkowych wynikających z korzystniejszej struktury ukształtowanego wyrobu w stosunku do wyrobów wykonywanych poprzez odlewanie i obróbkę skrawaniem.

Przeprowadzono analizę porównawczą Metodą Elementów skończonych MES sposobu kształtowania na prasie hydraulicznej odkuwki ze stopów magnezu-łącznika samochodowego 10 według wynalazku – M1 oraz sposobu kształtowania półfabrykatu na prasie hydraulicznej, zwłaszcza do wytwarzania korbowodu samochodowego w oparciu o dokument patentowy PL 237774 B1 – M2. Modelowanie numeryczne przeprowadzono w systemie przeznaczonym do symulacji procesów obróbki plastycznej – Deform 3D zgodnie z parametrami przyjętymi w tabeli 1.

Tabela 1 – Parametry i wyniki sposobu kształtowania według wynalazku i według opisu patentowego PL 237774 B1

Nazwa parametru	Jednostki	Sposób według wynalazku						Sposób według dokumentu patentowego PL 237774 B1 – M2
		M1.1	M1.2	M1.3	M1.4	M1.5	M1.6	
Parametry procesu								
Temperatura nagrzania narzędzi w piecu	[°C]	260	260	260	300	300	300	300
Temperatura materiału wsadowego	[°C]	350	400	450	350	400	450	480
Czas nagrzewu materiału wsadowego w piecu	[min]	40	35	35	40	35	35	30
Materiał	[-]	Model stopu magnezu w gatunku ZK60 z grupy Mg-Zn-Cr odlewany do form piaskowych utworzony na podstawie krzywych płynięcia z badań plastometrycznych						Model stopu aluminium w gatunku 2017A z grupy Al-Cu odlewany do form piaskowych utworzony na podstawie krzywych płynięcia z badań plastometrycznych
Moduł Younga	GPa	44,8						72
Liczba Poissona	[-]	0,35						0,33
Współczynnik rozszerzalności cieplnej	$\mu\text{m}/\text{m}^\circ\text{C}$	26						23,6
Przewodność cieplna	W/mK	120						193
Liczba elementów skończonych materiału wsadowego	[-]	150000						150000
Objętość materiału wsadowego	mm^2	117565,650						71743,6
Masa materiału wsadowego	kg	0,212						0,200
Maksymalna wysokość geometrii materiału wsadowego	[mm]	28						35
Maksymalna wysokość geometrii odkuwki	[mm]	19						18,1

Stopień przekucia = maksymalna wysokość geometrii materiału wsadowego ÷ maksymalna wysokość geometrii odkuwki	[-]	1,47						1,93
Czynnik tarcia	[-]	0,25						0,15
Współczynnik wymiany ciepła materiał wsadowy - narzędzia	kW/m ² K	4,5						7,45
Współczynnik wymiany ciepła materiał wsadowy - otoczenie	kW/m ² K	0,03						0,02
Wyniki MES								
Maksymalna siła kształtowania narzędzia górnego z MES	[kN]	3353	2835	2157	3961	2409	1820	2015
Maksymalne odkształcenie w ukształtowanym wyrobie	[-]	7,96	5,50	5,62	6,36	7,73	6,36	12,3
Pole powierzchni styku ukształtowanej odkuwki z narzędziem górnym	[mm ²]	13919,6	14095,6	14046,3	13859,5	14073,5	14076,9	10197,3
Pole powierzchni styku ukształtowanej odkuwki z narzędziem dolnym	[mm ²]	13255	13470,3	13377,6	13271,3	13406,2	13358,2	10243,3

Do modelowania MES wykorzystano utworzone modele materiałów opracowane na podstawie badań plastometrycznych metodą spęczania walców. Badania te przeprowadzono dla odlewanego w formach piaskowych stopu magnezu ZK60 według normy ASTM B91-97 oraz stopu aluminium w gatunku 2017A według normy polskiej PN-EN 573-3:2010 o składzie chemicznym przedstawionym w tabeli 2.

Tabela 2 – Skład chemiczny stopu magnezu ZK60 stosowanego w sposobie według wynalazku według normy ASTM B91-97 i stopu aluminium 2017A według normy PN-EN 573-3:2010 stosowany w sposobie według opisu patentowego PL 237774 B1.

Materiał	Skład chemiczny stopów (% mas.)								
	Al	Zn	Mn	Fe	Si	Zr	Cu	Inne	Mg
stop magnezu ZK60		4,8-6,2	-	-	-	min. 0,45	-	0,30	reszta
stop aluminium 2017A	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Zn	Inne	Al
	0,2-0,8	0,7	3,5-4,5	0,4-1	0,4-1	0,1	0,25	0,15	reszta

Badania plastometryczne wykonano na dylatometrze odkształceniowym w temperaturach 350°C, 400°C, 450°C dla stopu magnezu ZK60 i temperaturach 400°C, 450°C, 500°C dla stopu aluminium 2017A przy prędkościach odkształcenia 0,01 s⁻¹; 0,1 s⁻¹; 1 s⁻¹; 10 s⁻¹. Na podstawie uzyskanych wyników z pomiarów wyznaczono krzywe płynięcia dla stopu ZK60 przedstawione na wykresach 1–3 i dla stopu aluminium 2017A przedstawione na wykresach 4–6.

W symulacjach numerycznych analizie poddano: maksymalną siłę kształtowania narzędzia górnego w funkcji czasu, maksymalne odkształcenie w ukształtowanych wyrobach, pole powierzchni styku ukształtowanej odkuwki z narzędziem górnym, pole powierzchni styku ukształtowanej odkuwki z narzędziem dolnym dla obu analizowanych sposobów.

Otrzymałą z analizy numerycznej maksymalną siłę kształtowania i maksymalne odkształcenie w ukształtowanej odkuwce według wynalazku – M1 przedstawiono na wykresach 7–12 oraz Rys. 1–6. Maksymalną siłę kształtowania i maksymalne odkształcenie w ukształtowanym półfabrykacie uzyskane z analizy numerycznej wykonanego w oparciu o dokument patentowy PL 237774 B1 – M2 przedstawiono na wykresie 13 i Rys. 7.

Wykaz oznaczeń

- 1 – stempel górny
- 1a – wykrój stempla górnego
- 2 – matryca dolna
- 2a – wykrój matrycy dolnej
- 3a – materiał wsadowy
- 3b – odkuwka
- V₁ – prędkość stempla górnego

Zastrzeżenia patentowe

1. Sposób kształtowania na prasie hydraulicznej odkuwki ze stopów magnezu, w szczególności łącznika samochodowego, polegającego na tym, że stempel górny i matryce dolną nagrzewa się w piecu i montuje się na prasie hydraulicznej, po czym materiał wsadowy w postaci odlewu kształtowego nagrzewa się w piecu, umieszcza się w wykroju matrycy dolnej, po czym wprowadza się stempel górny w ruch postępowy, po czym ściska się materiał wsadowy wykojem stempla górnego i wykojem matrycy dolnej i kształtuje się odkuwkę, **znamienny tym**, że stempel górny (1) i matrycę dolną (2) nagrzewa się w piecu do temperatury od 260°C do 300°C i montuje się na prasie hydraulicznej, po czym materiał wsadowy (3a) ze stopów magnezu do przeróbki plastycznej z grupy magnez-cynk-cyrkon, nagrzewa się w piecu do temperatury od 350°C do 450°C, w czasie od 35 minut do 40 minut, przy czym nagrany materiał wsadowy (3a) dociska się stemplem górnym (1) wprowadzonym w ruch postępowy z prędkością (V₁) wynoszącą od 15 do 40 mm/s, ściskając materiał wsadowy (3a) z maksymalną siłą kształtowania

- w zakresie od 1820 kN do 3961 kN i kształtuje się odkuwkę z maksymalnym odkształceniem w zakresie od 5,50 do 7,96.
2. Sposób kształtowania na prasie hydraulicznej odkuwki ze stopów magnezu według zastrz. 1, **znamienny tym**, że materiał wsadowy (3a) nagrzewa się w piecu w temperaturze 400°C.
 3. Sposób kształtowania na prasie hydraulicznej odkuwki ze stopów magnezu według zastrz. 1 lub 2, **znamienny tym**, że materiał wsadowy (3a) nagrzewa się w piecu w czasie 40 minut.

Rysunki

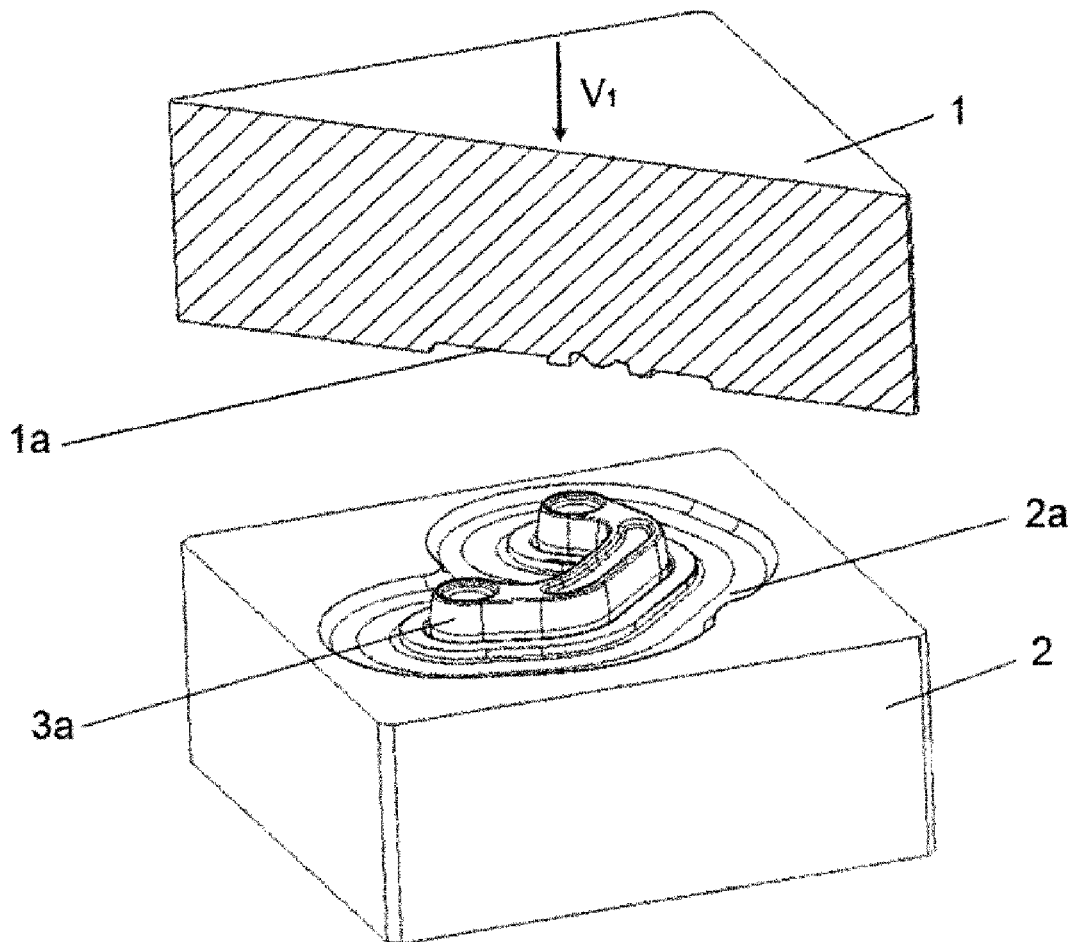


Fig. 1

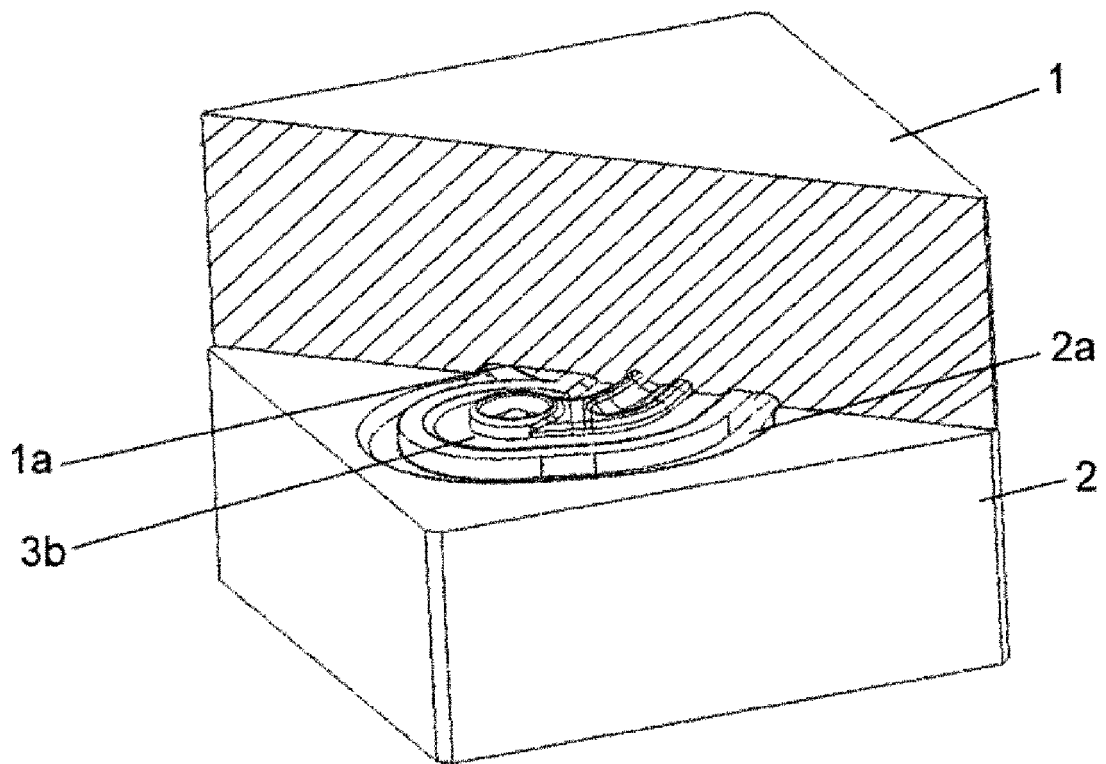


Fig. 2

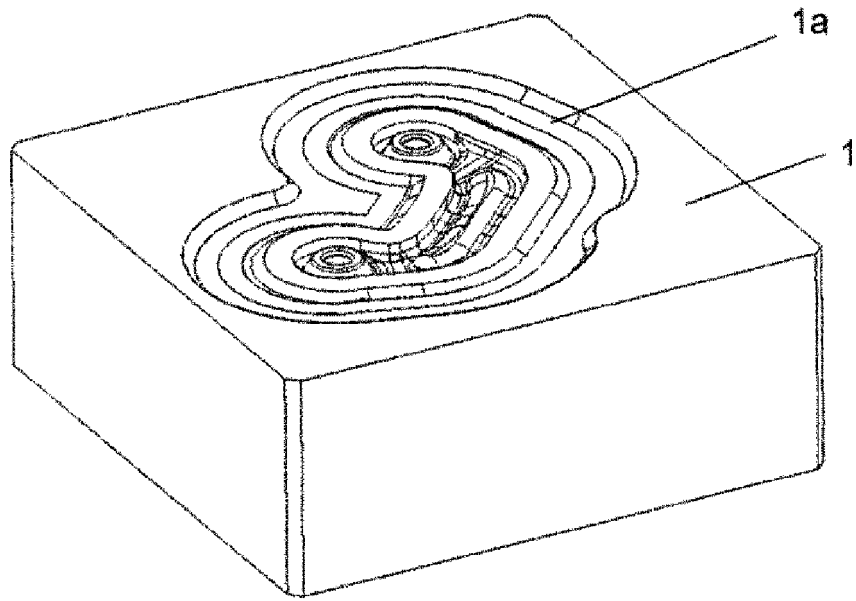


Fig. 3

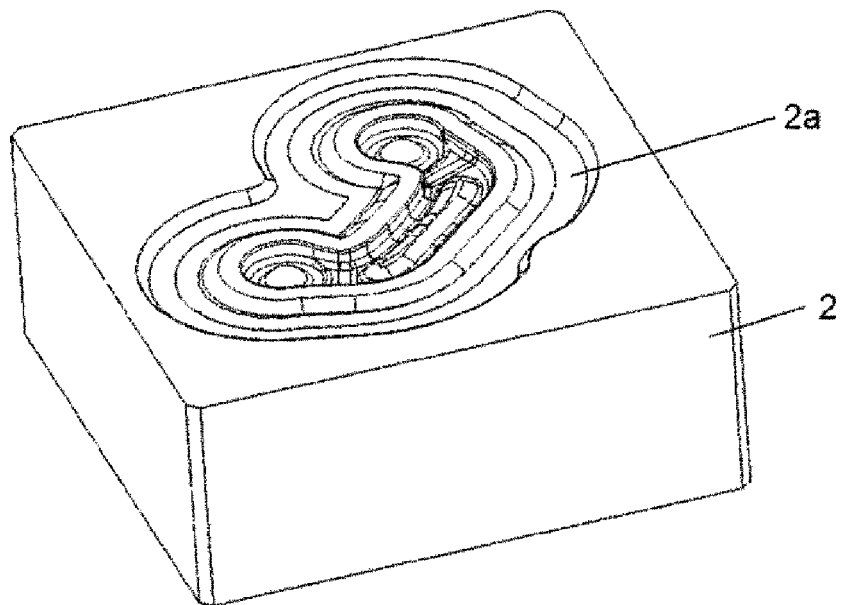


Fig. 4

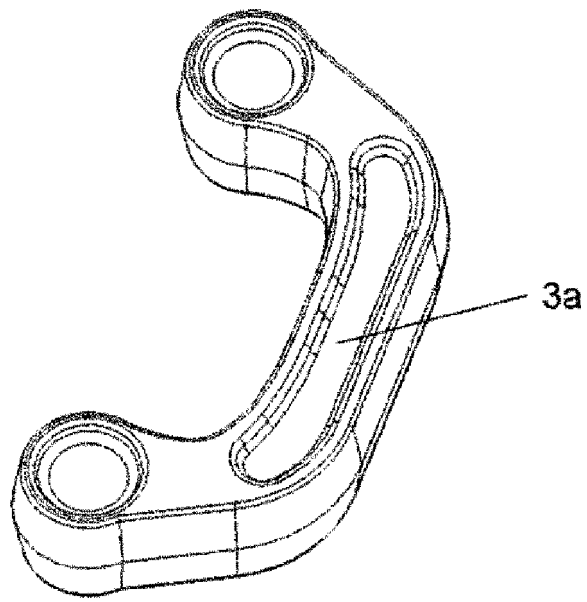


Fig. 5

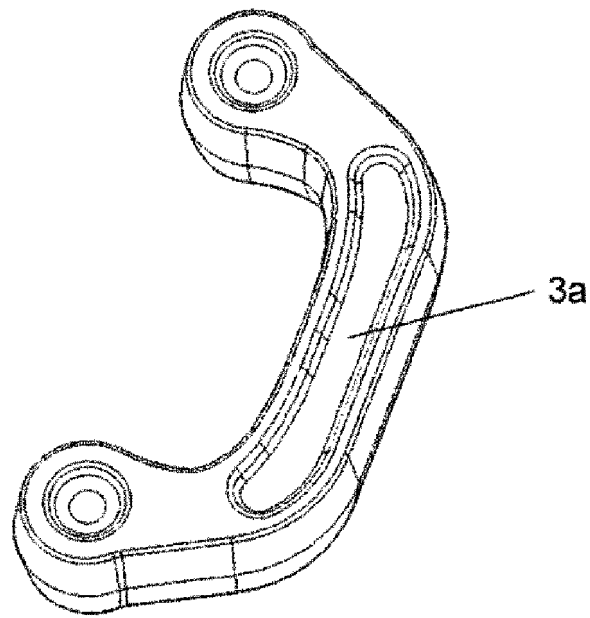


Fig. 6

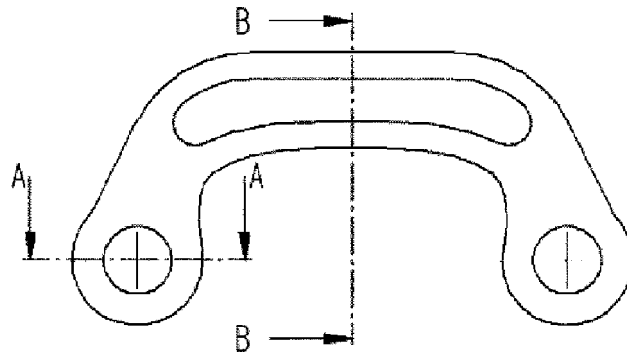
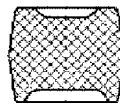
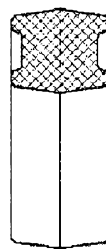


Fig. 7



A-A

Fig. 7a



B-B

Fig. 7b

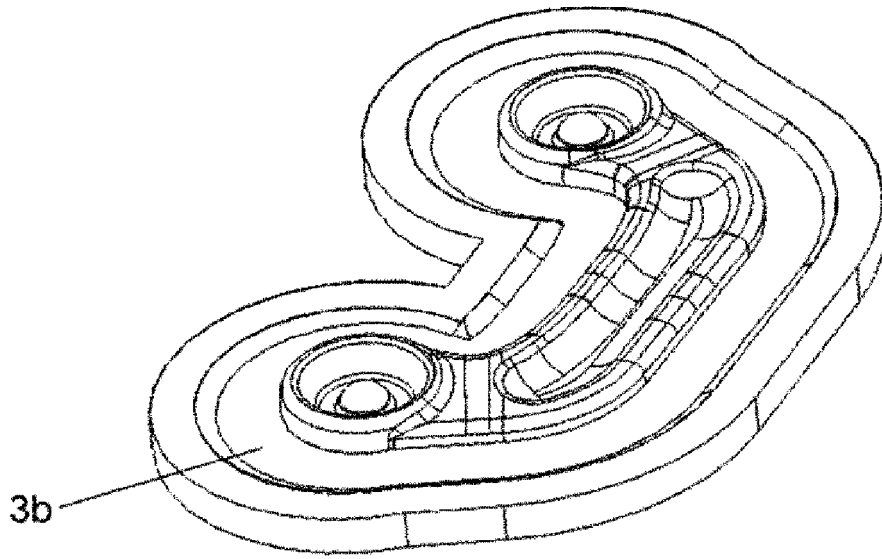


Fig. 8

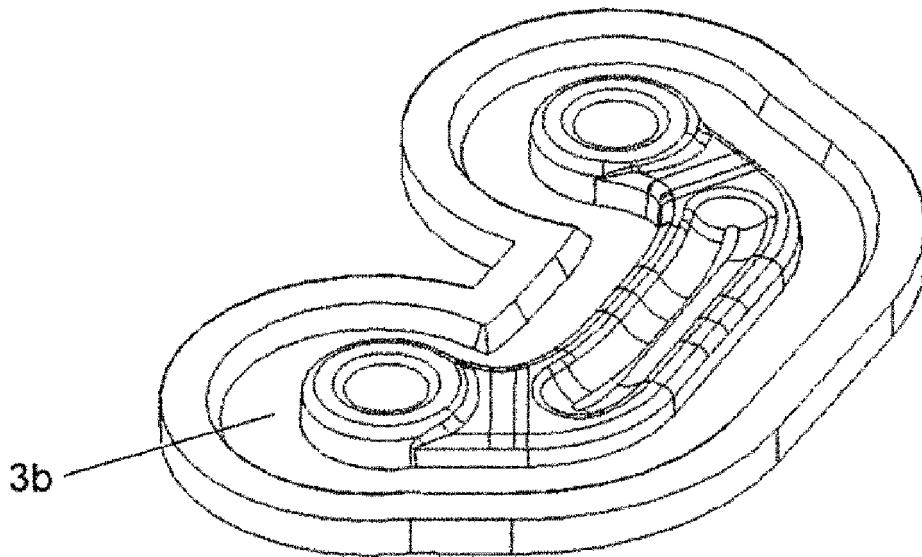
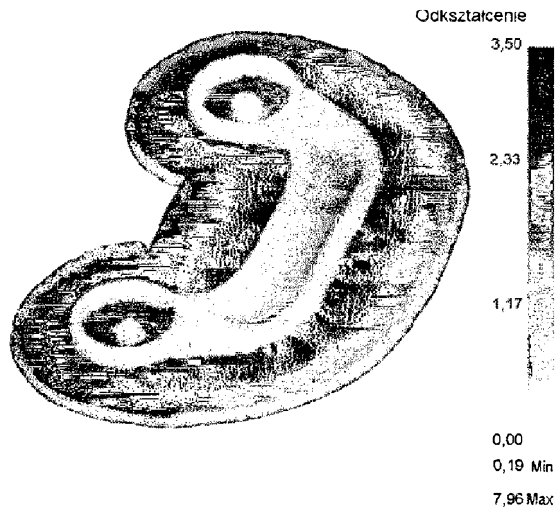
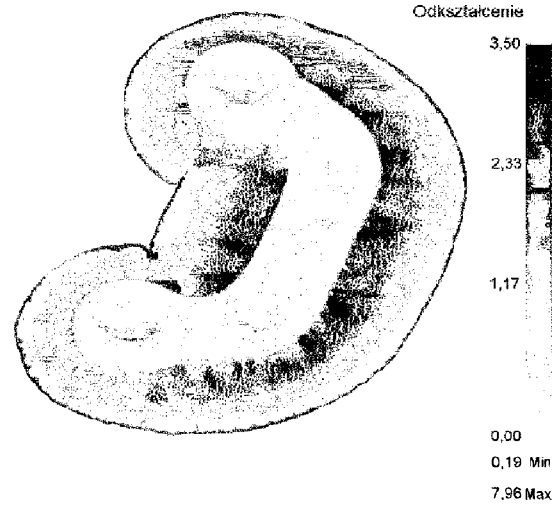


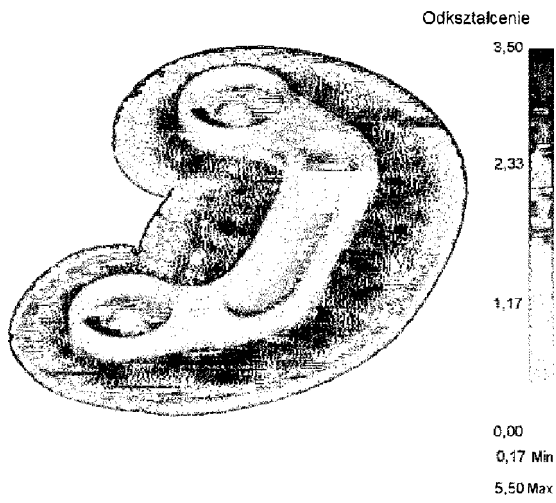
Fig. 9



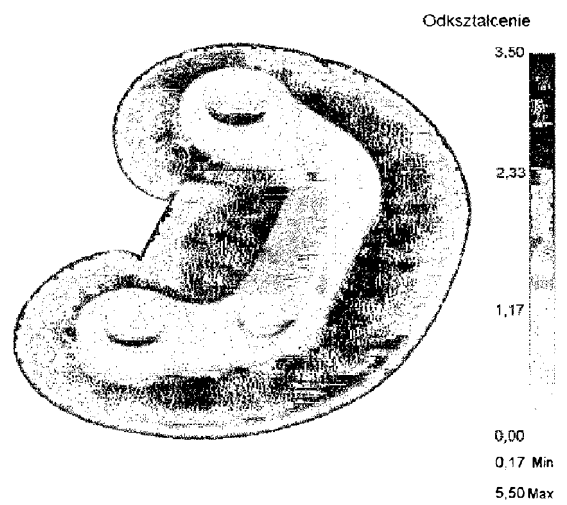
Rys. 1a



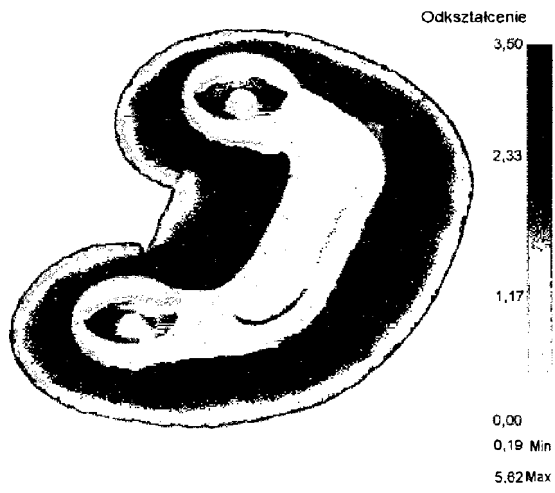
Rys. 1b



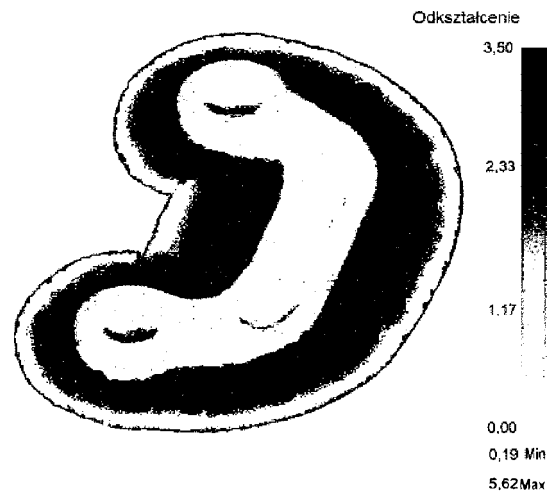
Rys. 2a



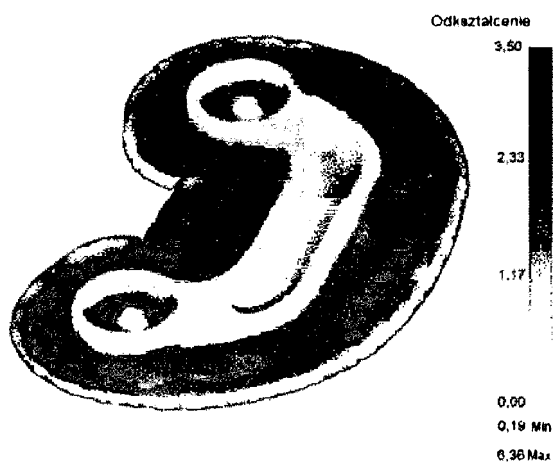
Rys. 2b



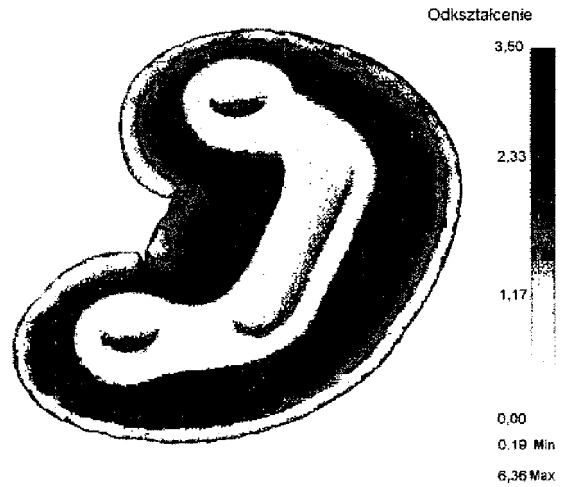
Rys. 3a



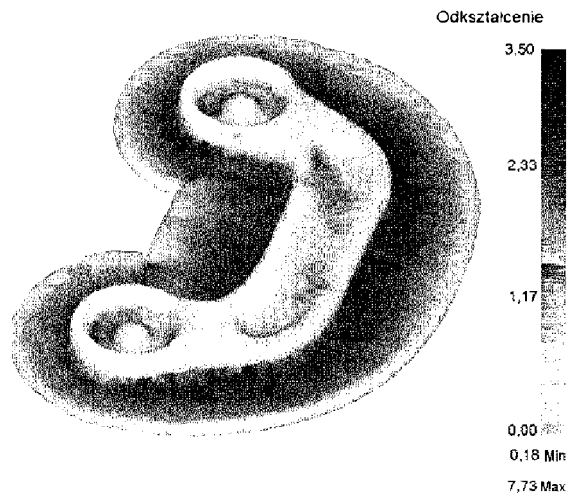
Rys. 3b



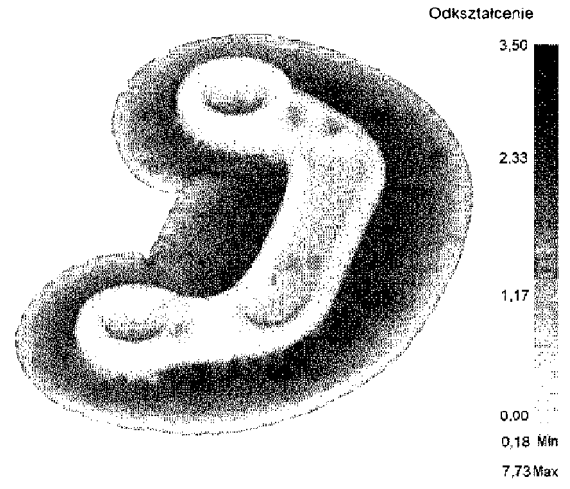
Rys. 4a



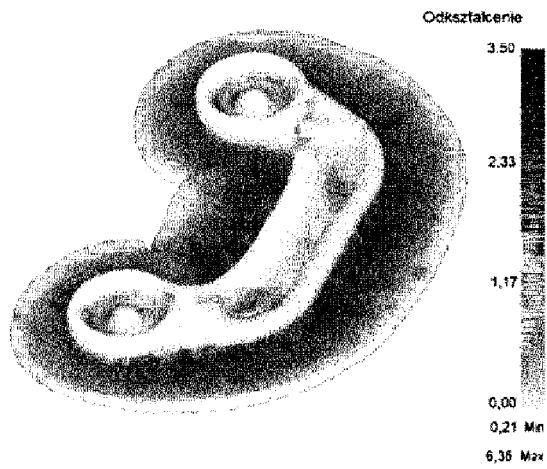
Rys. 4b



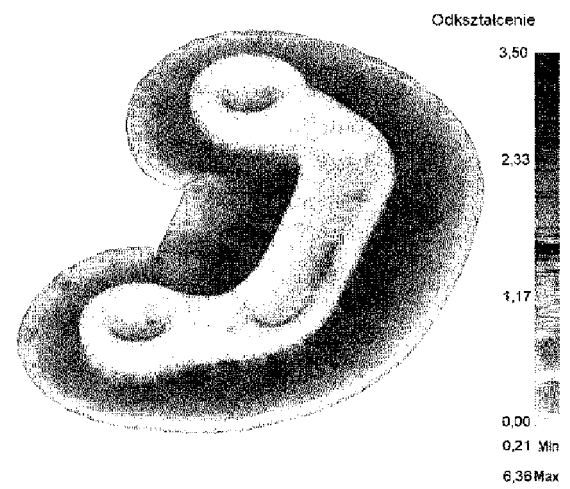
Rys. 5a



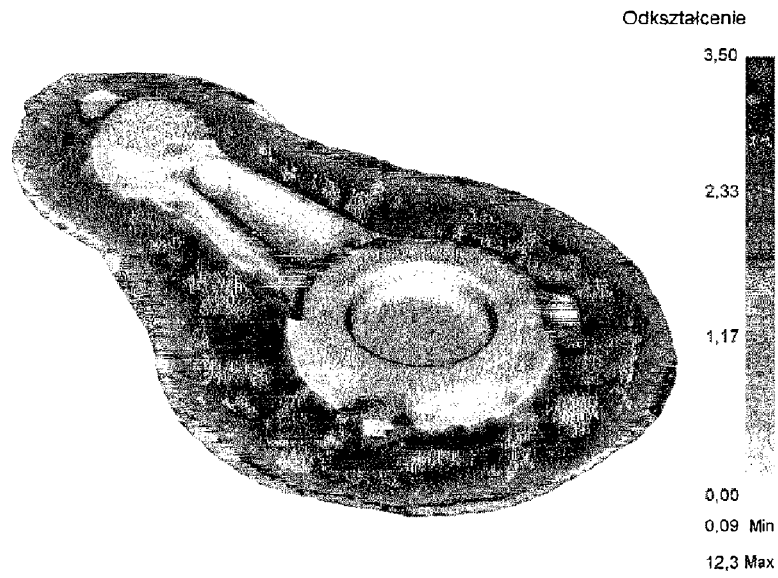
Rys. 5b



Rys. 6a

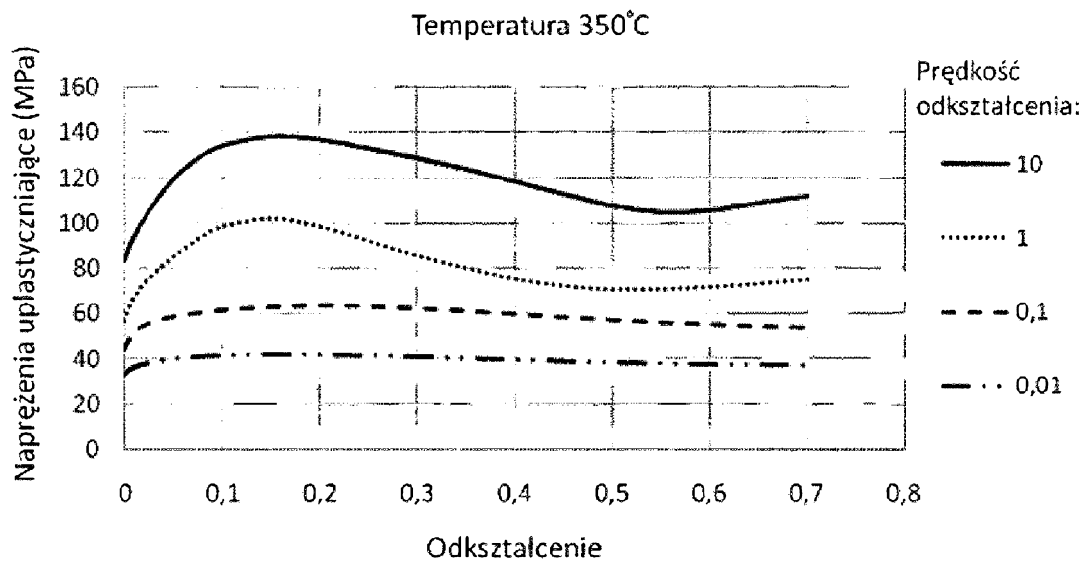


Rys. 6b

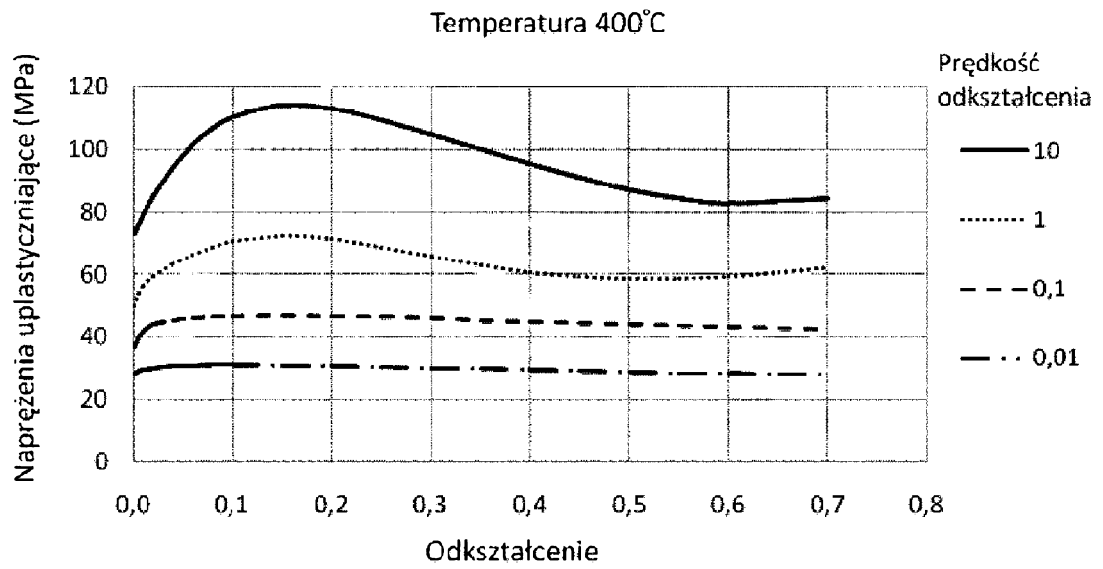


Rys. 7

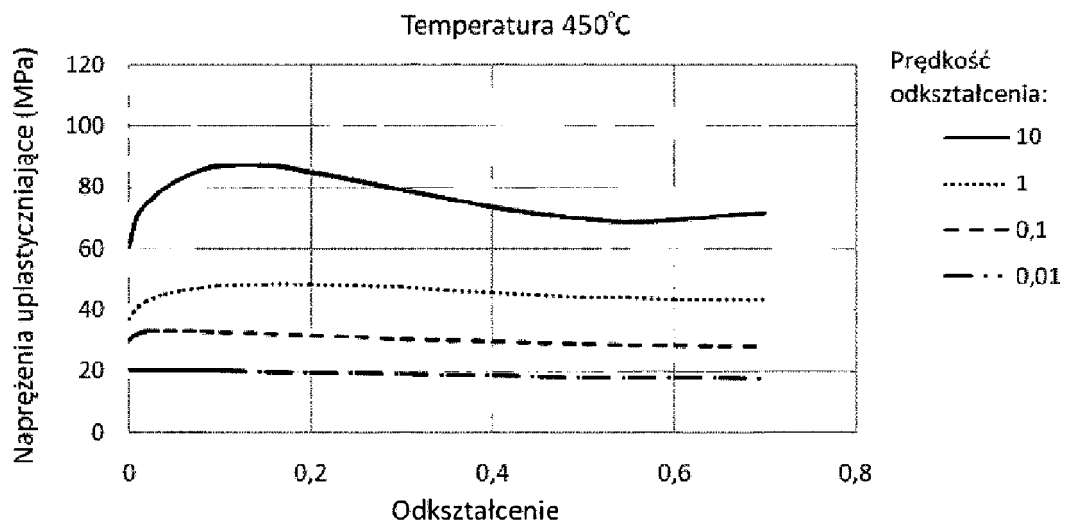
Wykres 1



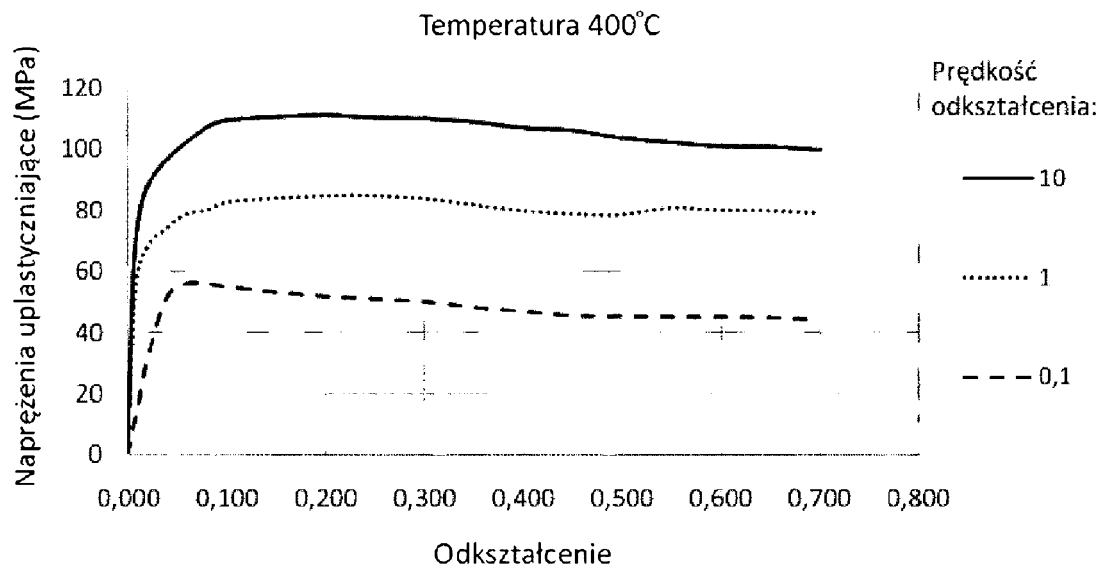
Wykres 2



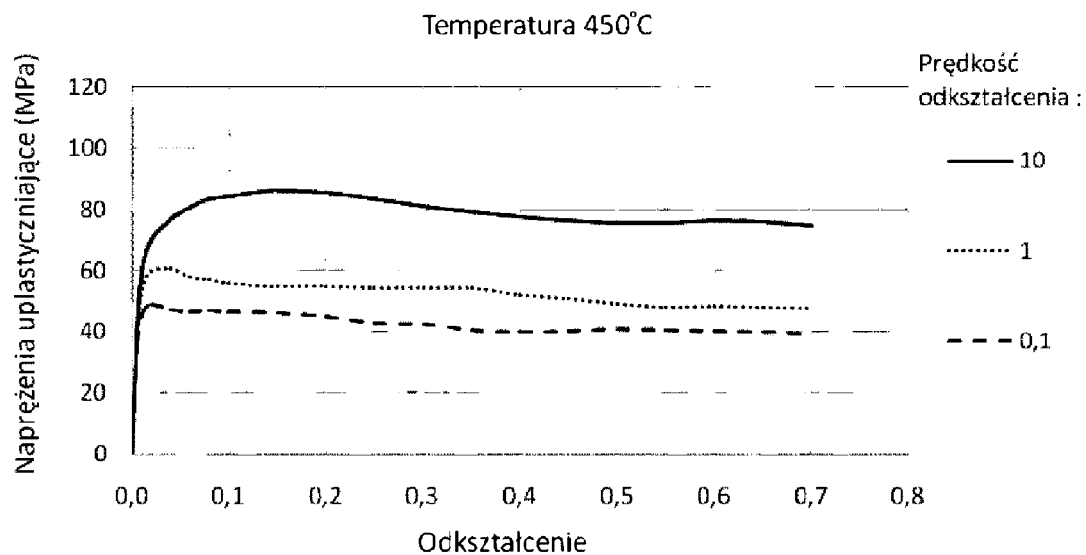
Wykres 3



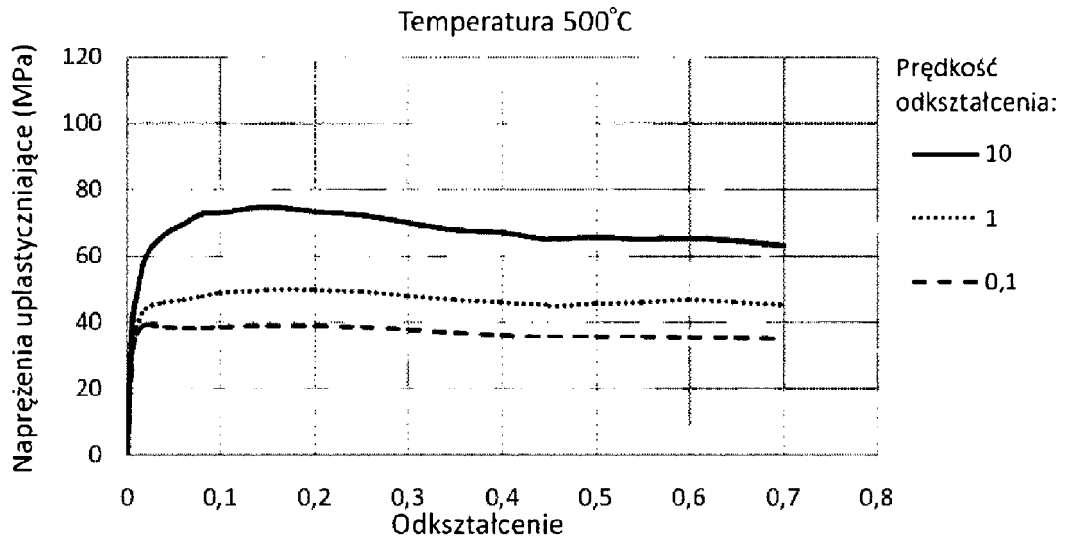
Wykres 4



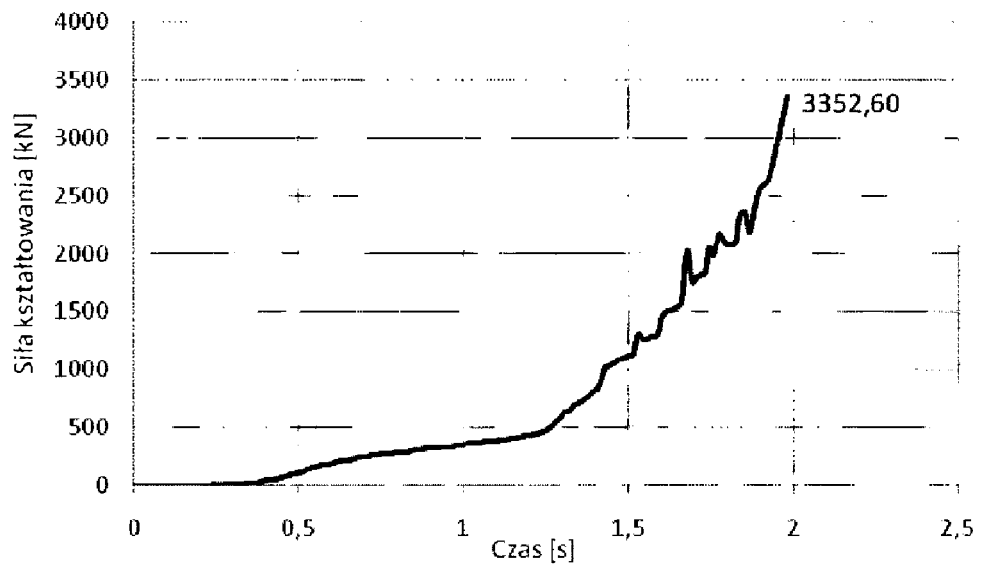
Wykres 5



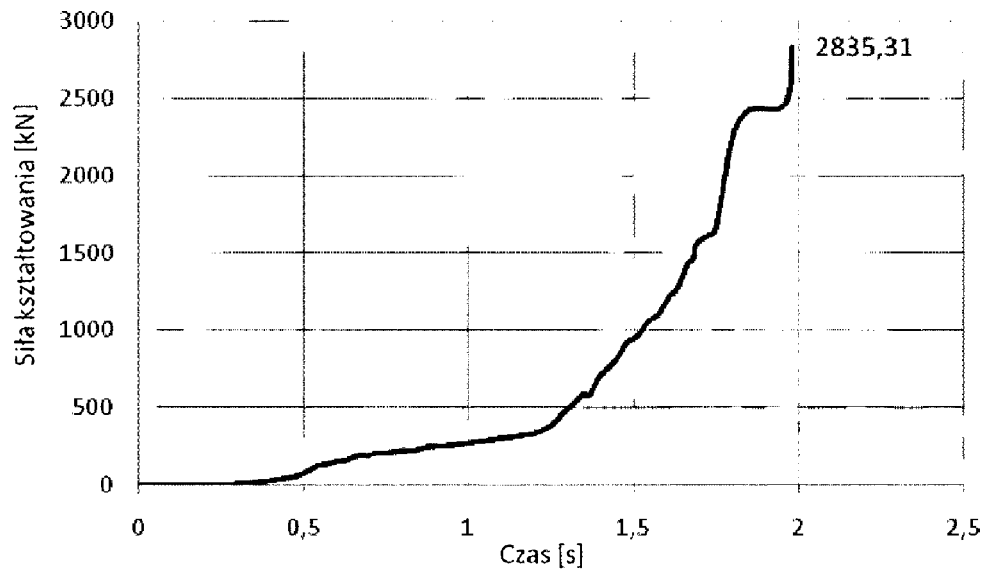
Wykres 6



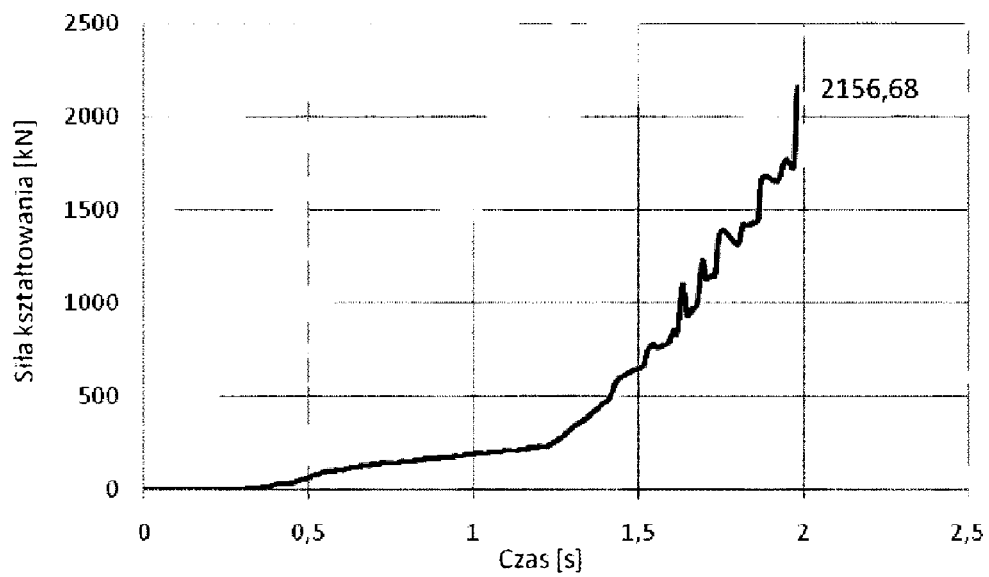
Wykres 7



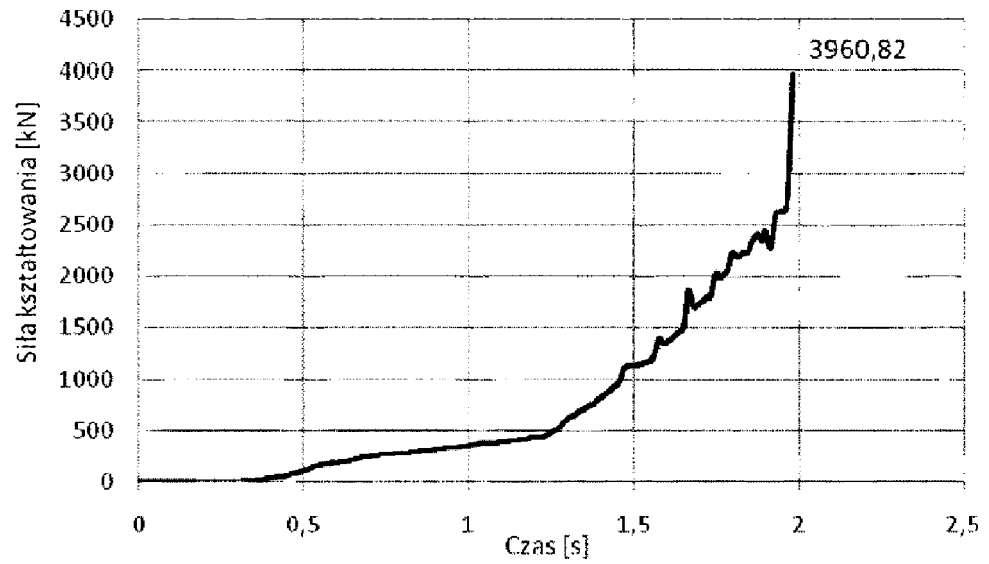
Wykres 8



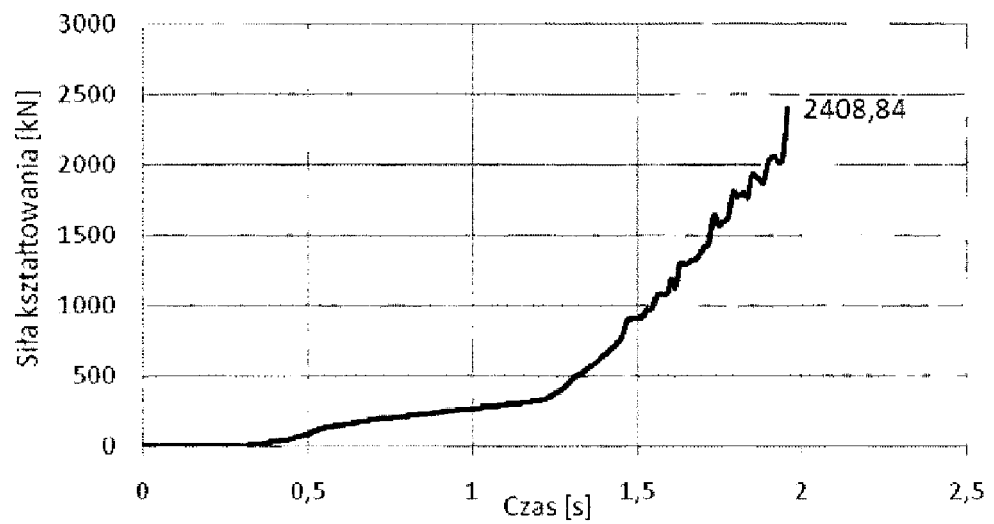
Wykres 9



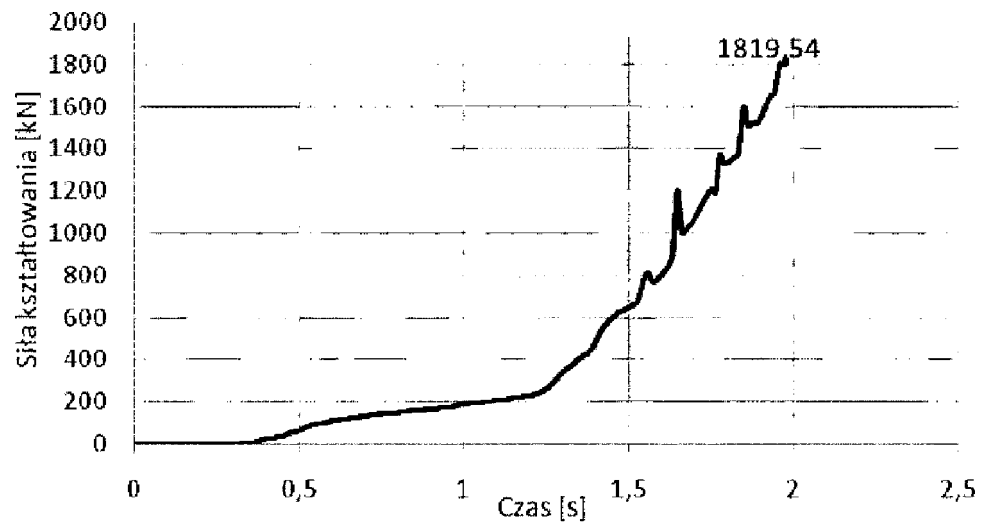
Wykres 10



Wykres 11



Wykres 12



Wykres 13

