

## Plastyczne kształtowanie stopów magnezu (kucie precyzyjne, tłoczenie, wyciskanie, itd.)

Politechnika Śląska, Politechnika Rzeszowska, Politechnika Lubelska, Instytut Lotnictwa w Warszawie

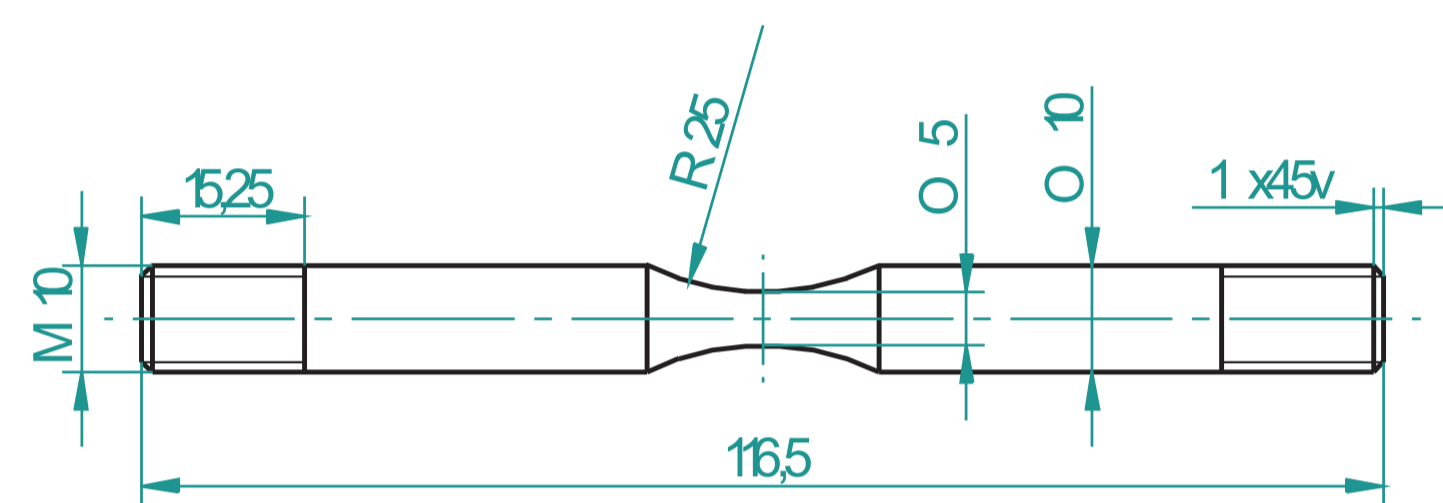
### Wyniki badań

#### Wyznaczanie wielkości charakteryzujących modele pęknięcia dla stopu MA2 w warunkach obróbki plastycznej na gorąco

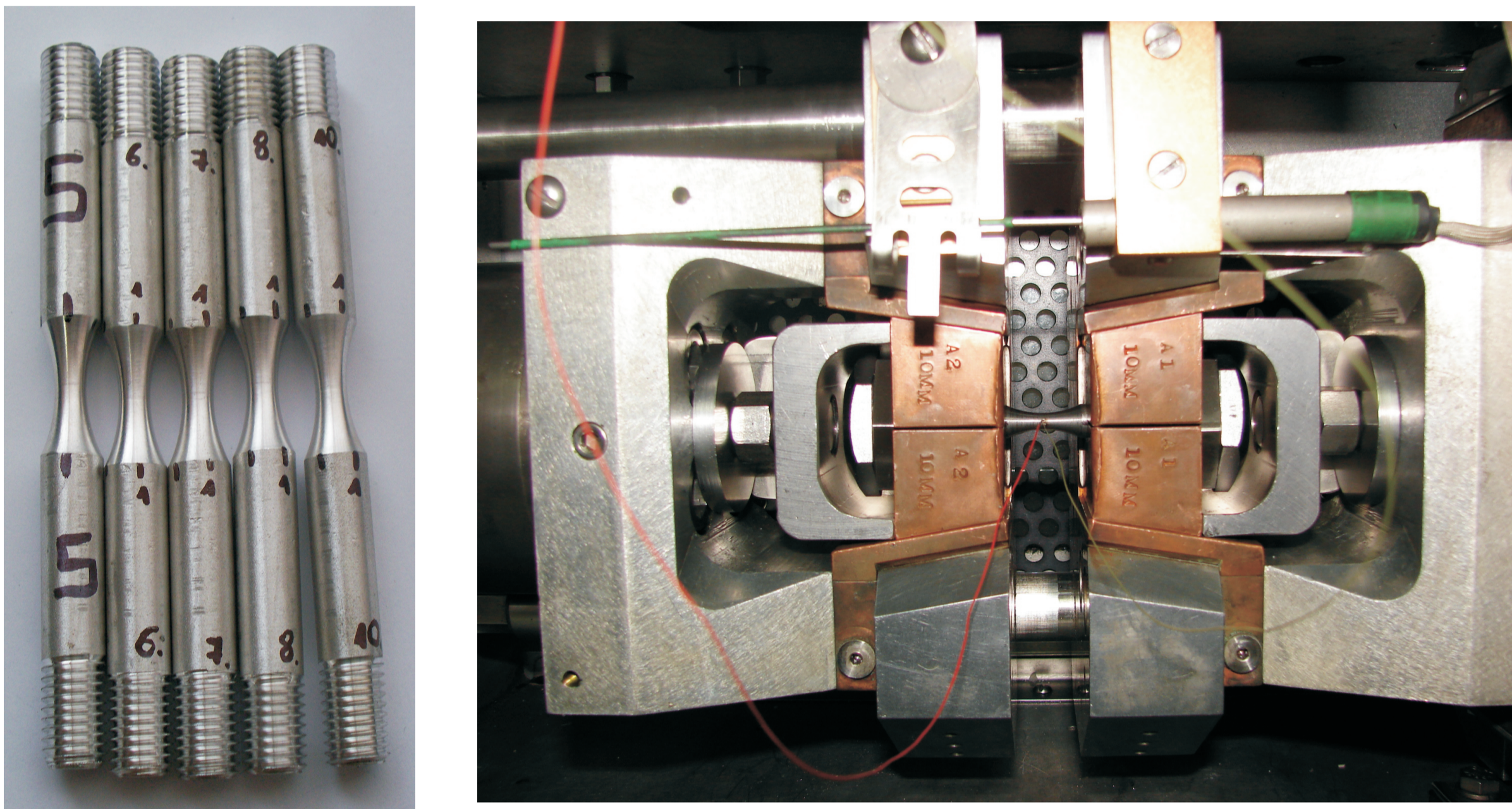
Celem badań było wyznaczenie zależności wartości całki granicznej charakteryzującej model pęknięcia Cockrofta-Lathama metodą doświadczalno-teoretyczną. Badaniem objęto stop magnezu MA2 o składzie chemicznym podanym w tab. 1. W badaniach doświadczalnych wykorzystano próbki okrągłe Ø10 mm, o długości 116,5±117mm, obustronnie gwintowane - rys. 1. Przyjęto, że próbki nagrzane do temperatur: T = 250 °C, T = 350 °C i T = 450 °C będą rozciągane z prędkością równą v = 5 mm/s. Ponadto, celem określenia wpływu prędkości odkształcenia na zjawisko pęknięcia, w przypadku temperatury nagrzewania próbki T = 350 °C zastosowano dodatkowo dwie prędkości rozciągania: v = 0,5 mm/s i v = 50 mm/s.

Tab. 1. Skład chemiczny stopu magnezu MA2 (% mas.).

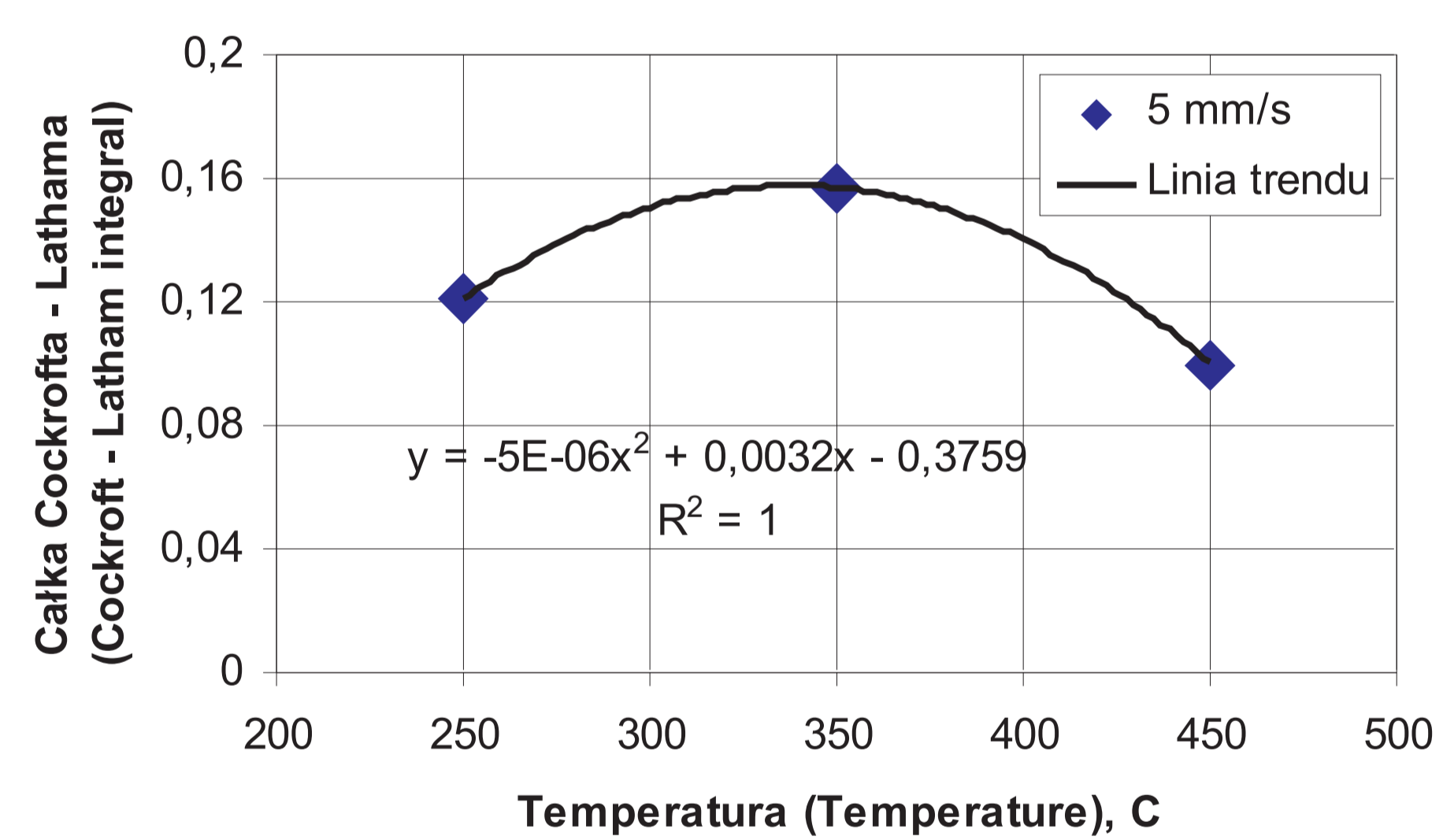
Fe	Si	Mn	Ni	Al	Cu	Be	Zn	Mg	Inne
do 0,05	do 0,1	0,15 ÷ 0,5	do 0,005	3÷4	do 0,05	do 0,02	0,2 ÷ 0,8	94,4 ÷ 97,65	0,3



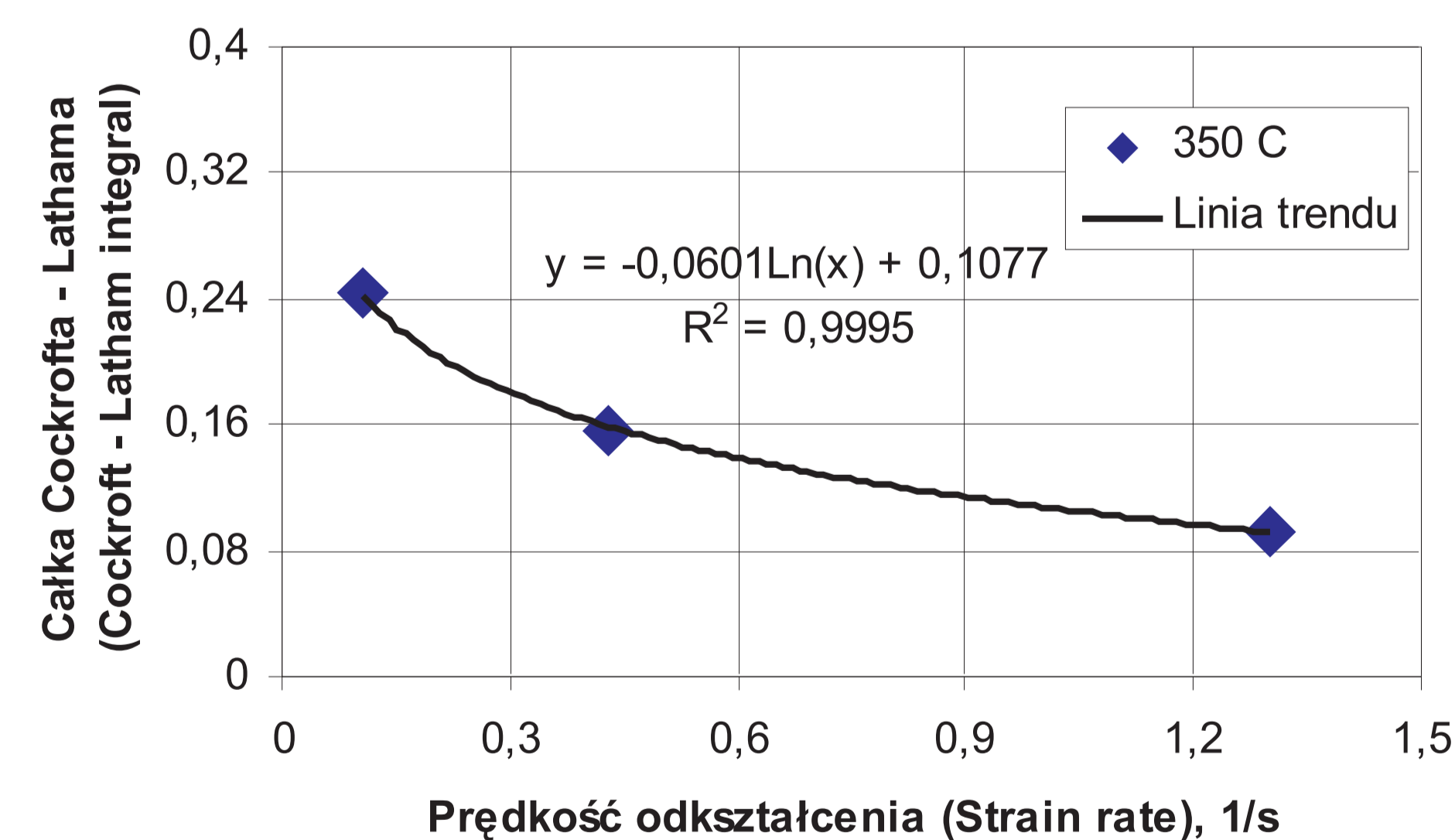
Rys. 1. Kształt próbki stosowanej w badaniach mających na celu określenie wartości granicznej całki Cockrofta-Lathama



Rys. 3. Przykładowe próbki wykonane ze stopu MA2, przygotowane do badań oraz przebieg badań



Rys. 4. Wartość graniczna całki Cockrofta-Lathama, w zależności od temperatury dla prędkości rozciągania 5 mm/s wyznaczona dla stopu MA2



Rys. 5. Wartość graniczna całki Cockrofta-Lathama, w zależności od prędkości odkształcenia (w s<sup>-1</sup>) mierzonej w przewężeniu próbki dla temperatury nagrzewania próbki 350°C wyznaczona dla stopu MA2

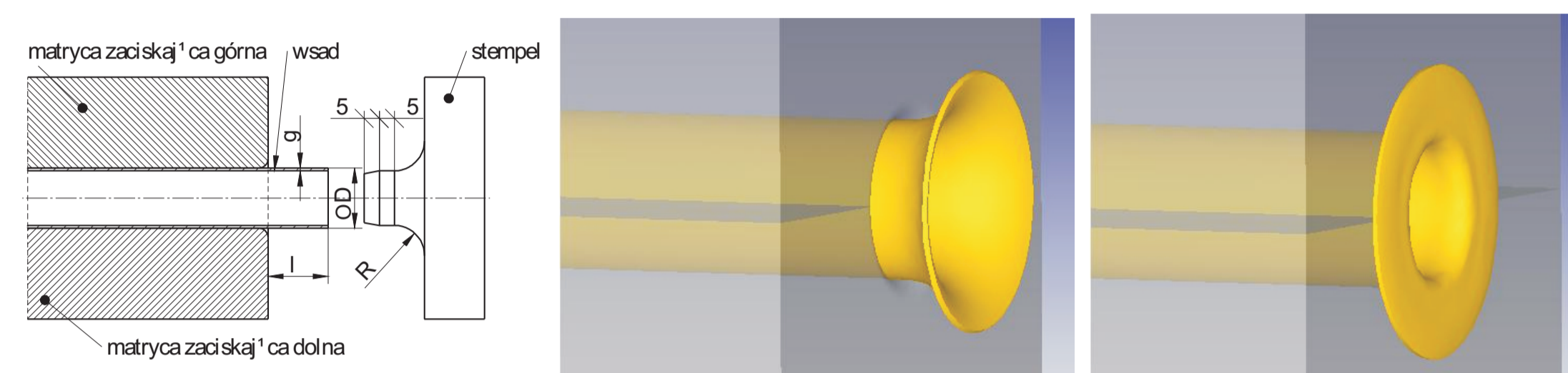
### Wnioski

- Wartość całki granicznej wykazuje zależność od temperatury badania. Największą wartość całki przy prędkości rozciągania v = 5 mm/s uzyskano dla temperatury 350°C i wynosi ona 0,157. Przy temperaturach 250°C i 450°C całka graniczna przyjmuje znacznie mniejsze wartości. Na podstawie uzyskanych wyników można wnioskować, że temperatura początku kształtowania na gorąco stopu MA2 jest niższa od 450°C, a temperatura końca kształtowania na gorąco tego stopu jest wyższa od 250°C.
- Na podstawie wyników badań doświadczalnych stwierdzono, że prędkość odkształcenia wpływa na wartość całki granicznej. Im większa prędkość odkształcenia, tym wartość granicznej całki jest mniejsza, tj. materiał charakteryzuje się mniejszą plastycznością. Należy zatem stosować małe prędkości w procesach kształtowania plastycznego na gorąco stopu MA2.

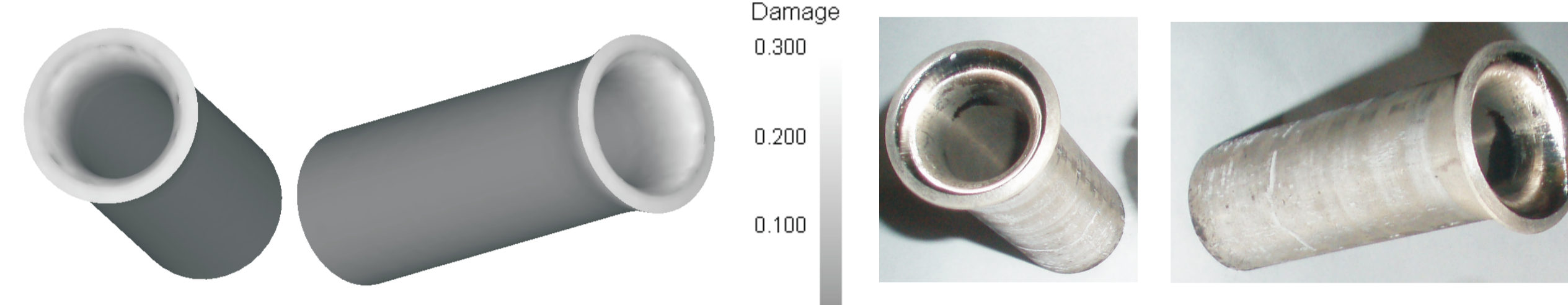
### Wyniki badań

#### Badania modelowe kształtowania zewnętrznych kołnierzy metodą wywijania w trójsuwakowej prasie kującej

W ramach zadania wykonano badania teoretyczno-doświadczalne obejmujące kształtowanie w trójsuwakowej prasie kującej wyrobów drażonych ze skrajnym kołnierzem ze stopu magnezu MA2 metodą wywijania, której schemat przedstawiono na rys. 1. Przykładowe wyniki badań zaprezentowano na poniższych rysunkach.



Rys. 1. Proces kształtowania kołnierza: (od lewej) schemat procesu, wywijanie kołnierza, dogniatanie kołnierza



Rys. 2. Kołnierze wywinięte z wsadu w gatunku MA2 o średnicy zewnętrznej D=20 mm, średnicy wewnętrznej d=14 mm i długości swobodnej l=7,2 mm: wyniki symulacji z rozkładem całki Cockrofta-Lathama (po lewej), wyniki badań doświadczalnych (po prawej)

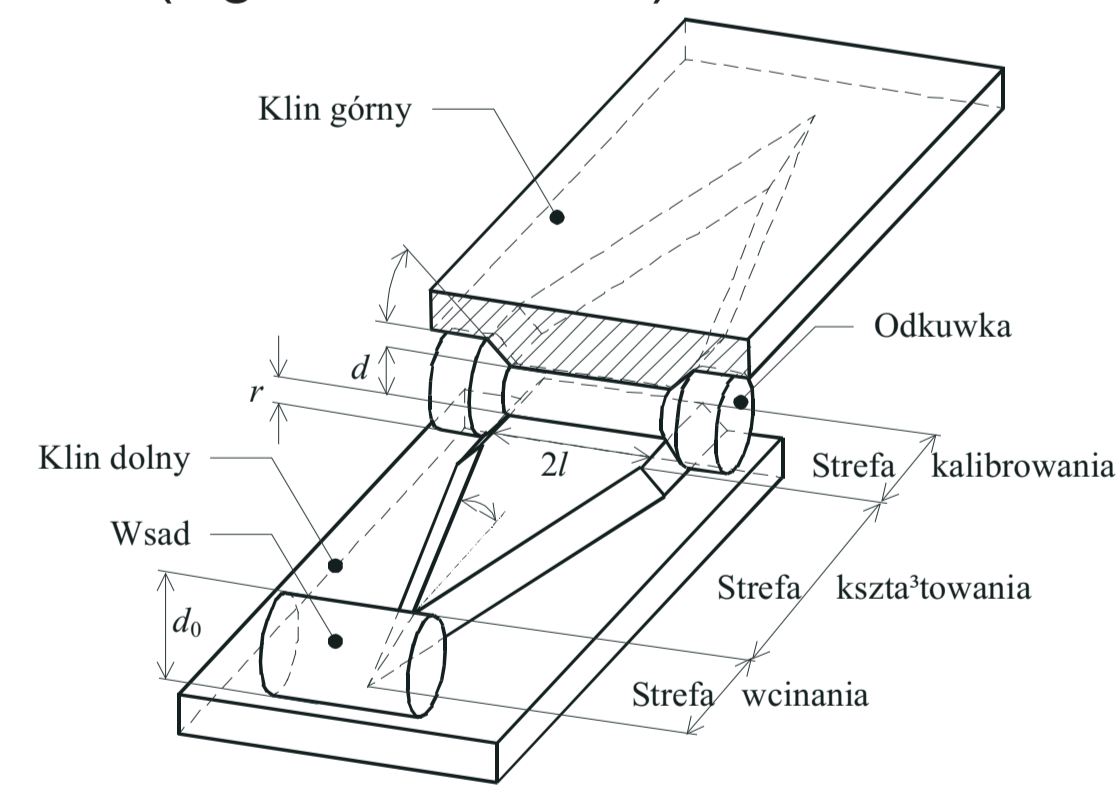
### Wnioski

- Na podstawie przeprowadzonych badań teoretyczno-doświadczalnych stwierdzono, że ograniczeniem procesu wywijania kołnierza we wsadach rurowych jest promieniowe pęknięcie. Zastosowany model pęknięcia wykazuje akceptowalną zgodność z wynikami doświadczalnymi w zakresie określenia momentu pęknięcia.
- Efektywność procesu wywijania kołnierza stemplem zaokrąglonym we wsadach rurowych ze stopu MA2, mierzona szerokością uzyskanego kołnierza jest bardzo mała. W pierwszej operacji wywijania stemplem zaokrąglonym uzyskano względną (odniesioną do zewnętrznej średnicy wsadu) szerokość kołnierza w zakresie 0,075÷0,138. Przy tak małych wartościach zdecydowano, że kolejna operacja dogniatania stemplem płaskim nie będzie wykonywana. Stwierdzono, że im większa grubość ścianki wsadu tym większą średnicę kołnierza można ukształtować. Bardzo mała efektywność procesu związana jest z małą plastycznością badanego stopu.
- Na podstawie porównania wyników symulacji i badań doświadczalnych stwierdzono, że zachodzą różnice pomiędzy geometrią modelu teoretycznego i próbek użytych w eksperymencie. Kołnierze wywinięte w eksperymencie mają większą średnicę zewnętrzną i wykazują większe pocinienie ścianki od uzyskanych w obliczeniach. Istnieje potrzeba wykonania badań w zakresie doskonalenia modelu teoretycznego w celu wyeliminowania występujących różnic.
- Celowe jest podjęcie badań nad innymi sposobami kształtowania kołnierzy we wsadach rurowych ze stopu magnezu MA2. Rozważanym zostaną poddane dwie metody możliwe do zastosowania w trójsuwakowej prasie kującej: wyciskanie promieniowe oraz spęczanie końca wsadu rurowego.

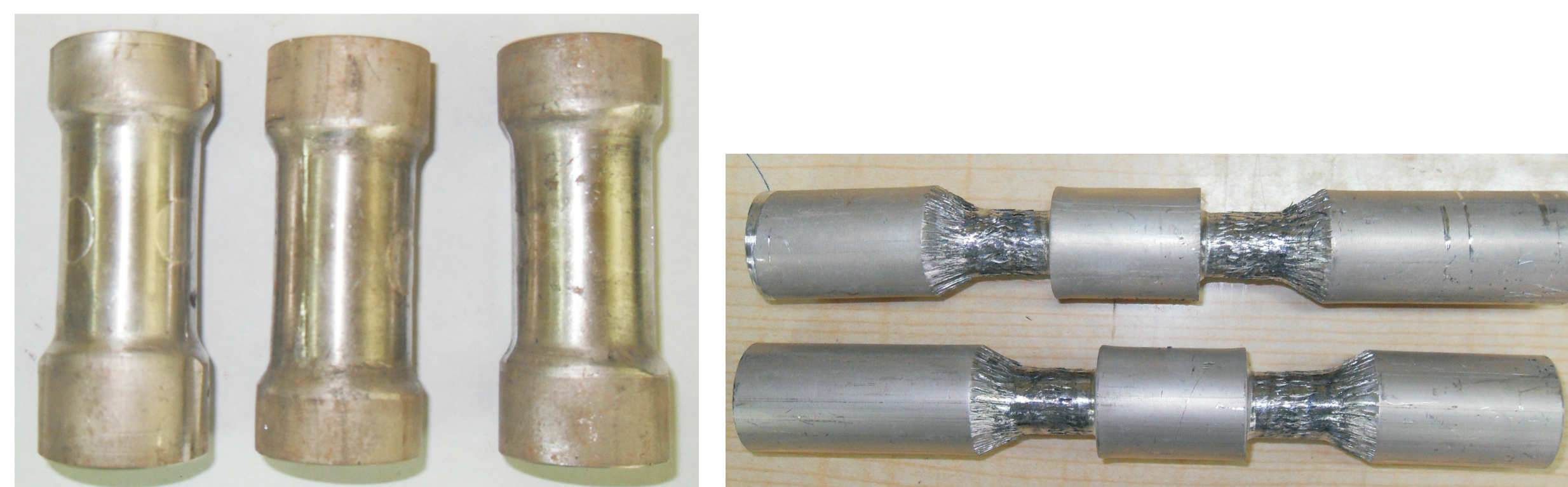
### Wyniki badań

#### Badania doświadczalne procesu walcowania poprzeczno klinowego stopniowych wałków pełnych ze stopu Ma

W celu potwierdzenia możliwości plastycznego kształtowania stopów magnezu metodą walcowania poprzeczno-klinowego (WPK) przeprowadzono szereg prób doświadczalnych walcowania na gorąco dla trzech materiałów w gatunkach: AZ31 (Mg 3Al-1Zn-Mn), AZ61 (Mg 6Al-1Zn-Mn) oraz MA2 (wg GOST 14957).



Rys. 1. Schemat procesu walcowania poprzeczno-klinowego narzędziami płaskimi



Rys. 2. Odkuwki ze stopów magnezu z jednym przewężeniem (po lewej) i z dwoma przewężeniami (po prawej)

### Wnioski

- Walcowanie poprzeczno-klinowe stopów magnezu jest trudnym do realizacji procesem. Kształtowanie stopów magnezu metodami WPK przy wykorzystaniu typowych narzędzi płasko-klinowych jest możliwe jedynie z niewielkimi wartościami stopnia gniotu.
- Przeprowadzona analiza doświadczalna procesu WPK stopów magnezu w gatunkach AZ31, AZ61 oraz MA2 pozwala sądzić, że może być on stosowany do kształtowania zarówno przedkuwek, jak i gotowych wyrobów typu stopniowe wałki, osie oraz odkuwki osiowo-symetryczne przy stosunkowo niewielkich różnicach średnic poszczególnych stopni.
- W trakcie badań analizie poddano parametry siłowe procesu WPK, których znajomość jest niezwykle ważna z technologicznego punktu widzenia. Zaobserwowano, że podczas wystąpienia zakłóceń stabilności procesu zmienia się charakter rozkładu sił kształtowania. Zarejestrowano również szereg czynników ograniczających stabilność procesu walcowania, które uniemożliwiają uzyskanie prawidłowych wyrobów.

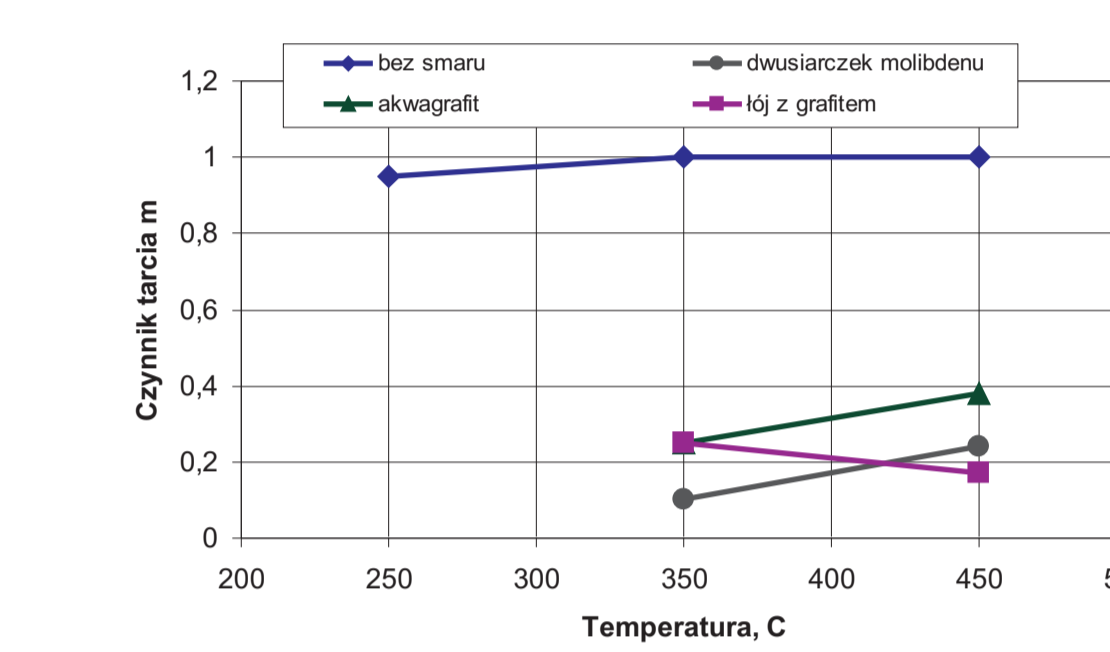
### Wyniki badań

#### Badanie warunków tarcia dla pary trącej stop MA2 - stal narzędziowa w warunkach kształtowania na gorąco

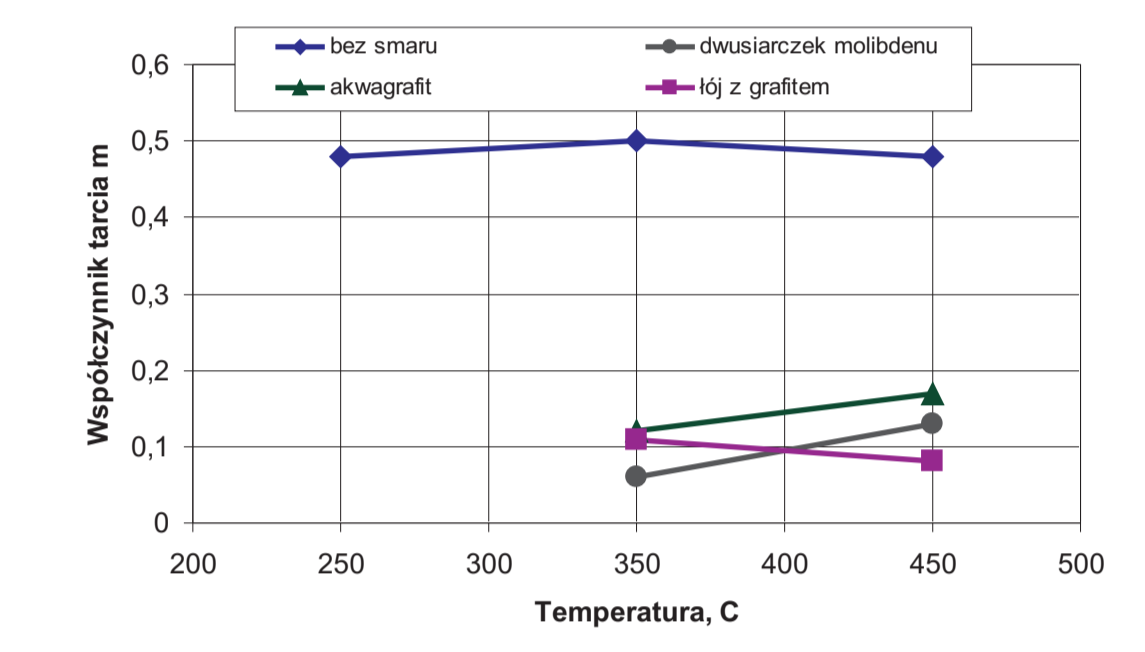
Celem badań było wyznaczenie zależności czynników i współczynników tarcia od temperatury dla różnych warunków smarowania. Zastosowano metodą spęczania próbki pierścieniowej. Badania wykonano przy temperaturach nagrzewania próbek równych: 250 °C, 350 °C, 450 °C bez smarowania oraz przy użyciu smarów: akwagrafitu, łożu z grafitem oraz smaru na bazie dwusiarczku molibdenu.



Rys. 1. Przykładowe próbki ze stopu magnezu MA2 nagrzane do temperatury 450°C i spęczone (od lewej) bez smarowania, ze smarowaniem dwusiarczkiem molibdenu, ze smarowaniem łożem z grafitem, ze smarowaniem akwagrafitem.



Rys. 2. Zależność czynnika tarcia od temperatury nagrzewania próbki przy zastosowaniu różnych smarów



Rys. 3. Zależność współczynnika tarcia od temperatury nagrzewania próbki przy zastosowaniu różnych smarów

### Wnioski

Na podstawie przeprowadzonych badań sformułowano następujące wnioski:

- W przypadku odkształcania stopu MA2 bez smarowania pomiędzy materiałem odkształcanym i narzędziem w całym zakresie badanych temperatur występuje tarcie graniczne lub bliskie granicznemu. Czynniki tarcia przyjmuje wartości w zakresie 0,95÷1, natomiast współczynnik tarcia 0,48÷0,5.
- Przyjmując, że zakres temperatur kucia wynosi 300°C÷420°C, najskuteczniejszym smarem jest smar na bazie dwusiarczku molibdenu, który w tym zakresie zapewnia najmniejsze tarcie pomiędzy odkształcanym materiałem i narzędziem. Należy jednak zaznaczyć, że w miarę wzrostu temperatury jego skuteczność maleje.
- W przypadku kształtowania stopu MA2 w temperaturach wyższych od 420°C najmniejsze tarcie zapewnia smarowanie łożem z grafitem. Jako jedyny smar spośród badanych charakteryzuje się wzrostem skuteczności wraz z wzrostem temperatury.
- Najgorszymi własnościami smarującymi spośród badanych smarów charakteryzuje się akwagrafit. W zakresie badanych temperatur przy stosowaniu tego smaru zarówno wartość czynnika jak też współczynnika tarcia jest największa.
- Zjawisko pęknięcia próbek w warunkach spęczania w temperaturze 250°C ze smarowaniem uniemożliwiło ocenę ilościową warunków tarcia. Jednocześnie jest to potwierdzeniem wcześniejszych wyników badań, wykazujących, że temperatura końca kucia znajduje się powyżej 250°C.
- Uzyskane wyniki badań określające zależność wartości czynników i współczynników tarcia od temperatury pozwalają przeprowadzać symulacje z zastosowaniem modelu tarcia mieszanego, który zaimplementowany jest w programie Deform 3D. Oczekuje się, że wykorzystanie tego modelu pozwoli uzyskać wzrost jakości wyników obliczeń.

### Wskaźniki realizacji celów projektu

#### Referaty

- Gontarz A., Dziubińska A.: **Właściwości stopów magnezu MA2 (WG GOST) w warunkach kształtowania na gorąco**. Konferencja ProTechMa 2010, Kazimierz Dolny, 28.06-30.06.2010
- Gontarz A., Dziubińska A., Okoń Ł.: **Badanie warunków tarcia dla wybranych stopów Al, Mg, Ti**. Konferencja Plastmet 2010, Łańcut Zamek 30.11 – 03.12.2010 r.
- Pater Z., Tomczak J.: **Experimental tests of cross-wedge rolling process of forgings from non-ferrous alloys**. Konferencja Plastmet 2010, Łańcut Zamek 30.11 – 03.12.2010 r.
- Kuc D., Hadasik E., Śliwa R.: **Wpływ parametrów odkształcania plastycznego na gorąco na zmiany mikrostruktury stopu magnezu Mg-Al-Zn**. VII Seminarium Naukowe Zintegrowane studia podstaw deformacji plastycznej metali, Plastmet 2010, Łańcut 30.11-3.12. 2010, streszczenie referatów
- Cyganek Z., Tkocz M.: **Wpływ funkcji naprężenia uplastyczniającego na wyniki symulacji numerycznej procesu wyciskania współbieżnego stopu AZ31**. VII Seminarium Naukowe Zintegrowane studia podstaw deformacji plastycznej metali, Plastmet 2010, Łańcut 30.11-3.12. 2010, streszczenie referatów
- M. Tkocz, **Forming of magnesium alloys**, Internationaler Workshop des Europäischen Zentrums für hochfeste und duktile Magnesiumwerkstoffe, Freiberg, TU Bergakademie Freiberg, 23-24.11.2010
- Przondziona J., Szula A., Walke W., Szula J., Hadasik E.: **Resistance to corrosion of magnesium alloy AZ31 after plastic working**. Poster na 9<sup>th</sup> International Symposium of Croatian Metallurgical Society „Materials and Metallurgy” SHMD 2010, Sibenik, Chorwacja, 20-24.06.2010, Metalurgija (Metallurgy), 49, 2010, Nr 3, p. 202 (Abstract)
- Przondziona J., Walke W., Hadasik E., Jasiński B.: **Electrochemical corrosion of magnesium alloy AZ31, after casting and metal forming, in NaCl solutions**. Referat wygłoszony na 5<sup>th</sup> International Conference “Theoretical and Technological Problems of Steels and Nonferrous Metal Forming” TherTechForm 2010, Tale – Słowacja, 04-07.10.2010
- Szula A., Przondziona J., Walke W., Hadasik E., Jasiński B.: **Korozyja elektrochemiczna odlewanych i przerobionych plastycznie stopów magnezu AZ31 w roztworach NaCl**. XXXVIII. Szkoła Inżynierii Materiałowej (SIM), Kraków – Krynica 28.09-01.10.2010. Monografia pod red. J. Pacyny. Akademia Górniczo-Hutnicza im. Stanisława Staszica w Krakowie. Wydział Inżynierii Metali i Informatyki Przemysłowej, s.292-296

#### Publikacje

- Gontarz A., Dziubińska A.: **Właściwości stopów magnezu MA2 (WG GOST) w warunkach kształtowania na gorąco**. Rudy i Metale Nieżelazne, R55 2010 nr 6 s.340-344.
- Gontarz A., Piesiak J.: **Model pęknięcia według kryterium Cockrofta-Lathama dla stopu magnezu MA2 w warunkach kształtowania na gorąco**. Przyjęty do druku w: Obróbka Plastyczna Metali, nr 4, 2010r.

#### Prace doktorskie

- Tytuł: **Kształtowanie plastyczne wyrobów płaskich z żebrami ze stopów magnezu**  
Autor: mgr inż. Dziubińska Anna  
Promotor: dr hab. inż. Gontarz Andrzej  
Status: *W trakcie realizacji badań doświadczalnych*