

Powierzchniowa obróbka wibro-ścierna klamek ze stopu magnezu AZ91

MARCIN GOŁĄBCZAK, KAZIMIERZ WOŹNIAK, MARIUSZ WINCENCIAK, ANDRZEJ GOŁĄBCZAK, ANNA JĘDRZEJCZAK, MICHAŁ NIEWIADOMSKI*

Przedstawiono wyniki badań dotyczące wpływu warunków obróbki wibro-ścierniej na kształtowanie morfologii i struktury geometrycznej powierzchni klamek ze stopu magnezu AZ91. Zakres prezentowanych badań obejmował obróbkę odlewanych klamek ze stopu magnezu w wygładzarce wibro-ścierniej z zastosowaniem różnego typu kształtek ściernych ceramicznych, żywicznych i porcelanowych oraz ich wytłuszczania i suszenia granulatem z kolby kukurydzy w suszarce wibracyjnej. Pomiary morfologii i struktury geometrycznej powierzchni klamek ze stopu magnezu wykonano po każdym etapie obróbki wibro-ścierniej z zastosowaniem mikroskopu i profilometru optycznego.

Wprowadzenie

Powierzchniowa obróbka wibro-ścierna, inaczej zwana wibracyjną, roto-wibracyjną lub bębnowaniem, umożliwia wykończeniową obróbkę przedmiotów o złożonych kształtach, wykonanych z różnych materiałów takich jak: stopy metali, tworzywa sztuczne, ceramika techniczna, szkło itp. [2, 3, 7, 9]. Procesy tej obróbki wykończeniowej służą m.in. do: usuwania zadziarów i rys, wyływek, warstw tlenkowych, zaokrąglania ostrych krawędzi oraz polerowania, wygładzania i nadawania połysku powierzchni przedmiotu. W obróbce wibro-ścierniej wykorzystywane są specjalne wygładzarki pojemnikowe, które umożliwiają obróbkę wykończeniową przedmiotów o dowolnych kształtach, niemożliwą do wykonania za pomocą konwencjonalnych obrabiarek. Metoda

ta pozwala na automatyzację procesu, która jest bardzo pożądana, zwłaszcza w produkcji seryjnej i masowej.

Istota obróbki wibro-ścierniej polega na przemieszczaniu się obrabianych przedmiotów umieszczonych w pojemniku wygładzarki, w którym znajdują się luźne kształtki ścierne lub polerskie oraz płyn roboczy. Pojemnik wygładzarki wypełniony wsadem roboczym, wykonując ruch obrotowy i ruchy wibracyjne, powoduje przemieszczanie się przedmiotów obrabianych w przestrzeni roboczej w trzech płaszczyznach ruchem śrubowym po obwodzie pojemnika wygładzarki. W wyniku występującego tarcia między powierzchnią obrabianych przedmiotów i kształtkami ściernymi następuje powolne, równomierne ściernie powierzchni przedmiotu oraz ich wygładzanie. Oddziaływanie ziaren kształ-

tek ściernych w zetknięciu się z powierzchnią obrabianych przedmiotów ma charakter losowy [2, 3, 7, 9].

Badania doświadczalne i stanowiska badawcze

Opisane badania doświadczalne miały na celu porównanie przydatności opracowanych czterech procesów technologicznych wygładzania wibro-ściernego powierzchni klamek odlewanych ze stopu magnezu AZ91. Opracowane procesy technologiczne obróbki wibro-ścierniej różniły się rodzajem zastosowanych kształtek ściernych i polerskich firmy MARBAD Sp. z o. o. w Warszawie oraz czasem poszczególnych operacji obróbkowych.

W porównywanych procesach zastosowano kształtki ścierne ceramiczne, żywiczne i porcelanowe [5, 6]. Końcową operacją w tych procesach było wytłuszczanie powierzchni w granulacie z kolby kukurydzy oraz suszenie. Odlewy ciśnieniowe klamek do badań były wykonane i dostarczone przez firmę FAM-Technika Odlewnicza Sp. z o. o. w Chełmnie.

Badania doświadczalne dotyczą obróbki powierzchniowej klamek ze stopu magnezu AZ91, który należy do materiałów superlekkich i trudnoobrabialnych.

* Dr hab. inż. Marcin Gołąbczak, prof. uczelni, Politechnika Łódzka, Wydział Mechaniczny, Zakład Technologii Maszyn, ul. Stefanowskiego 1/15, 90-537 Łódź, Polska, marcin.golabczak@p.lodz.pl. Dr hab. inż. Kazimierz Woźniak, Marbad sp. z o.o. – Technologie obróbki powierzchni, ul. S. Kulczyńskiego 14, 02-777 Warszawa, Polska. Mgr inż. Mariusz Wincenciak, Marbad sp. z o.o. – Technologie obróbki powierzchni, ul. S. Kulczyńskiego 14, 02-777 Warszawa, Polska. Prof. dr hab. inż. Andrzej Gołąbczak, Państwowa Akademia Nauk Stosowanych we Włocławku, Wydział Nauk Inżynierjno-Technicznych, Zakład Inżynierii Zarządzania, ul. 3 Maja 17, 87-800 Włocławek, Polska. Dr inż. Anna Jędrzejczak, Politechnika Łódzka, Instytut Inżynierii Materiałowej, Zakład Inżynierii Nanomateriałów, ul. Stefanowskiego 1/15, 90-537 Łódź, e-mail: anna.jedrzejczak@p.lodz.pl. Michał Niewiadomski, Politechnika Łódzka, Wydział Mechaniczny, ul. Stefanowskiego 1/15, 90-537 Łódź, Polska, 223146@edu.p.lodz.pl.

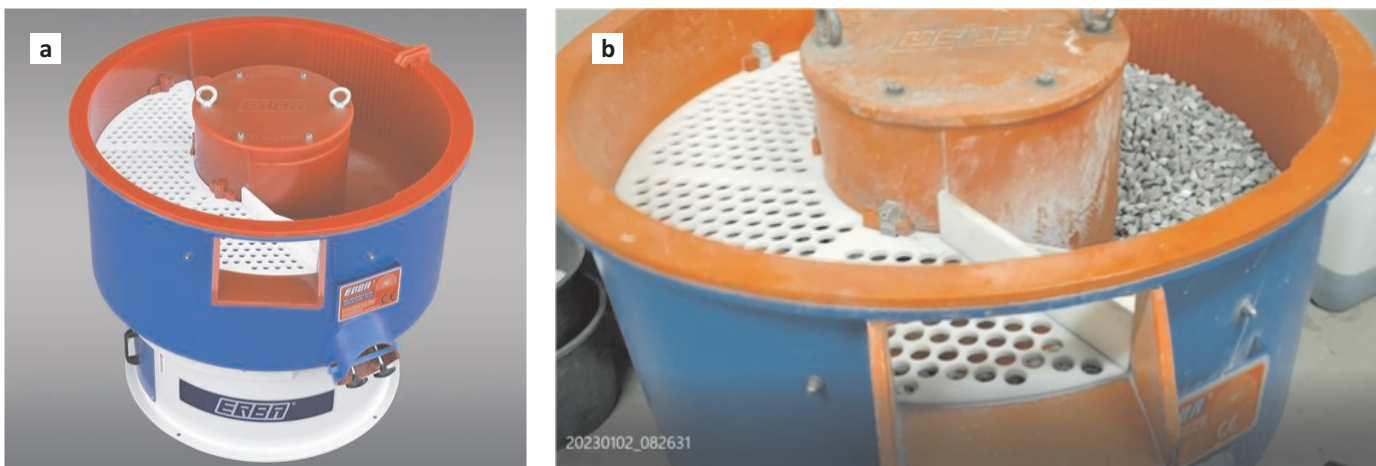
Tabela 1. Charakterystyka właściwości fizyko-mechanicznych stopu magnezu AZ91

Stop magnezu	Skład chemiczny [%]							Wytrzymałość na rozciąganie R_m [MPa]	Granica plastyczności $R_{0,2}$ [MPa]	Twardość [HV]
	Mg	Al	Zn	Mn	Si	Cu	Fe			
AZ91	90	8,3-9,7	0,35-1	0,13	0,1	0,03	0,005	240	150	55÷65

Oznaczenia stopu wg amerykańskiej normy American Society for Testing and Materials (ASTM International): **ASTM B 94**

Oznaczenia stopu wg europejskiej normy EN: **EN 1753 MC 21120**

Oznaczenia stopu wg międzynarodowej normy Society of Automotive Engineers (SAE International): **SAE J465**



Rys. 1. Wyglądarka wibracyjna EVP firmy Erba: a) widok ogólny; b) stanowisko badawcze

Główną zaletą stopu magnezu AZ91 jest jego mała gęstość (1.8 g/cm^3) i duża wytrzymałość mechaniczna. Z tych też powodów znajduje on szerokie zastosowanie w przemyśle motoryzacyjnym, sportowym, lotniczym i kosmicznym [1, 4]. Właściwości mechaniczne i skład chemiczny stopu magnezu AZ91 przedstawiono w Tabeli 1.

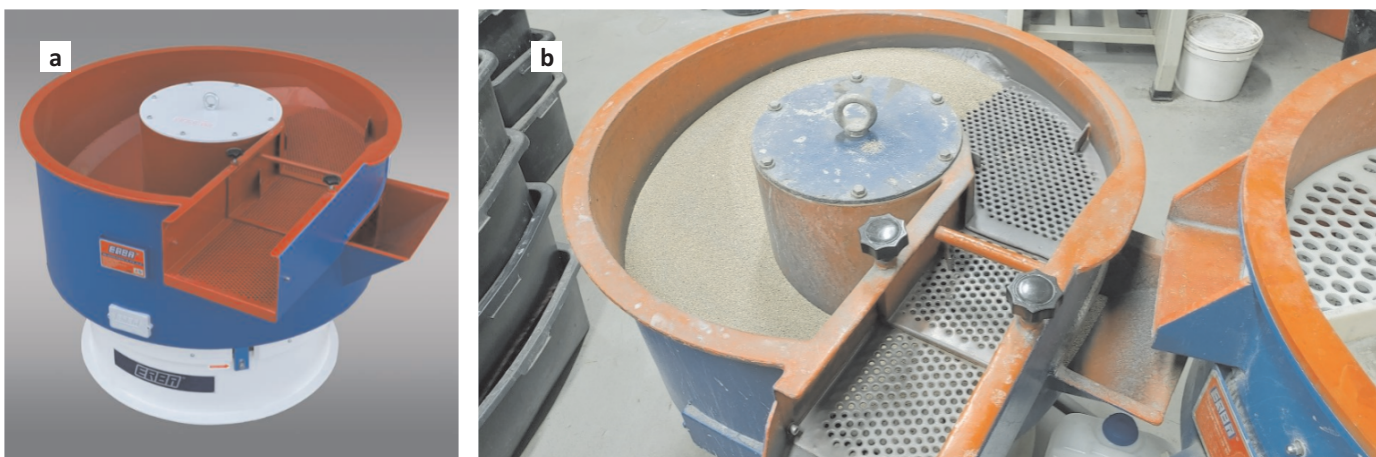
Próby obróbki wibro-ścierniej kłamek wykonano w wyglądarce wibracyjnej okrągłej typu EVP firmy Erba Mühendislik

Makina, Turcja (rys. 1). Wyglądarka tego typu charakteryzuje się tym, że obrabiany wsad obróbkowy przemieszcza się w przestrzeni roboczej w trzech płaszczyznach, czyli przemieszcza się ruchem śrubowym po obwodzie pojemnika wyglądarki. W związku z tym proces obróbki wibro-ścierniej jest najbardziej efektywny. Końcową operacją po każdym z porównywanych procesów obróbki wibro-ścierniej było suszenie i wyblyszczanie wibracyjne powierzchni z użyciem granulatu z kolby

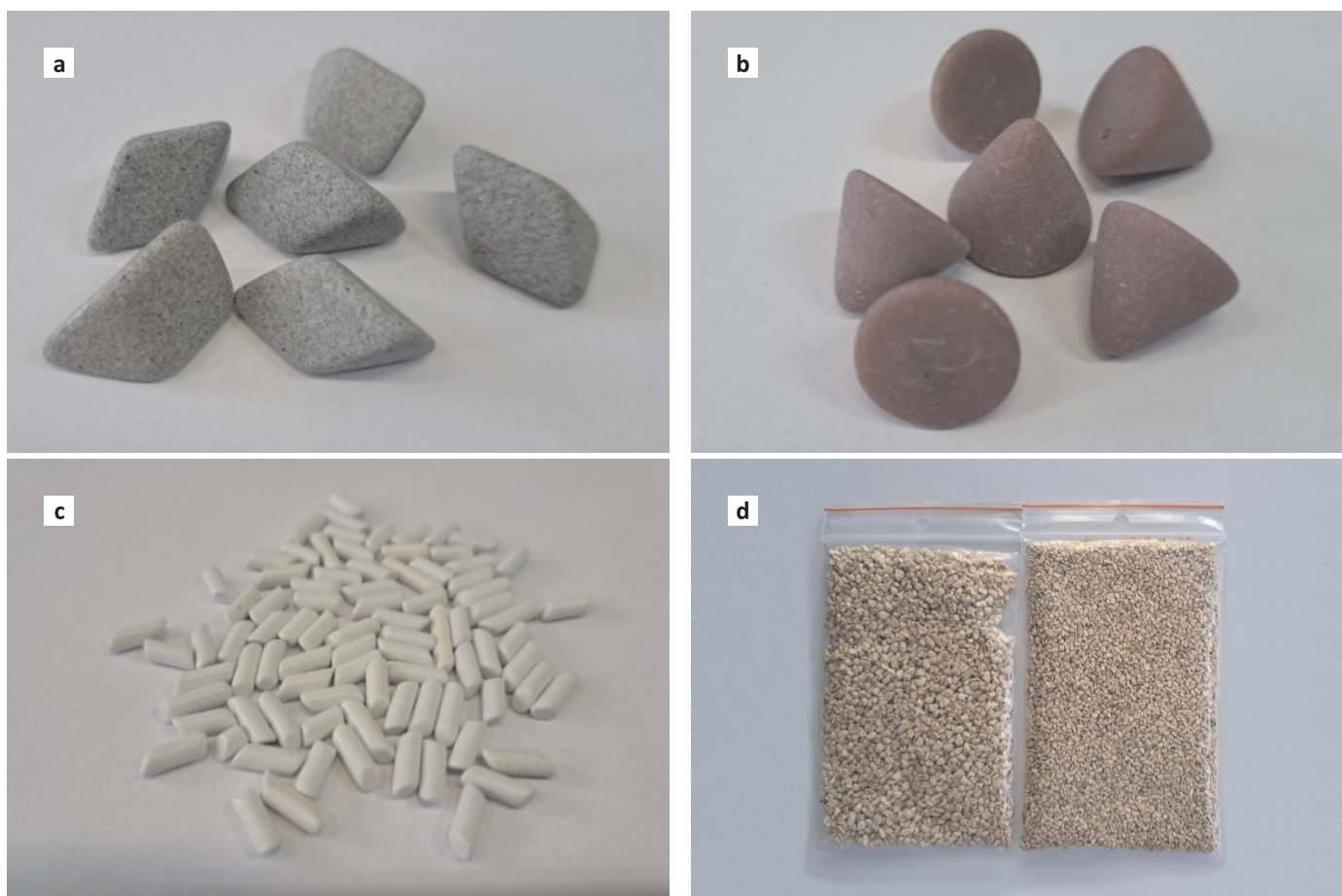
kukurydzy, realizowane w wyglądarce wibracyjnej EVK (rys. 2) [2, 3, 7, 9].

W badaniach zastosowano trzy rodzaje kształtek ściernych firmy Marbad: kształtki ceramiczne GP 15x15 B, kształtki żywiczne K20 AX, kształtki porcelanowe WP 4x10 P oraz granulatu z kolby kukurydzy GM 12, które przedstawiono na rysunku 3 [5, 6, 8].

Struktury technologiczne czterech porównywanych procesów obróbki wibro-ścierniej kłamek ze stopu magnezu



Rys. 2. Suszarka wibracyjna EVK 100 firmy Erba: a) Widok ogólny; b) stanowisko badawcze



Rys. 3. Widok kształtek ściernych firmy Marbad zastosowanych w procesach obróbki wibro-ścierniej: a) ceramiczne kształtki ściernie GP 15x15 B; b) żywiczne kształtki ściernie K 20 AX; c) porcelanowe kształtki ściernie WP 4x10 P; d) granulaty z kolby kukurydzy GM 12

AZ91 przedstawiono w Tabeli 2. Porównywane procesy obróbki wibro-ścierniej kłamek różniły się rodzajem zastosowanych kształtek ściernych oraz czasem ob-

robki poszczególnych operacji (Tabela 2). Pierwsze operacje obróbkowe w tych procesach dotyczyły szlifowania kłamek kształtkami ściernymi ceramicznymi lub

żywicznymi. Kolejne operacje w tych procesach polegały na polerowaniu powierzchni kłamek kształtkami porcelanowymi. Końcowymi operacjami w tych

Tabela. 2. Procesy obróbki wibro-ścierniej kłamek ze stopu magnezu AZ91

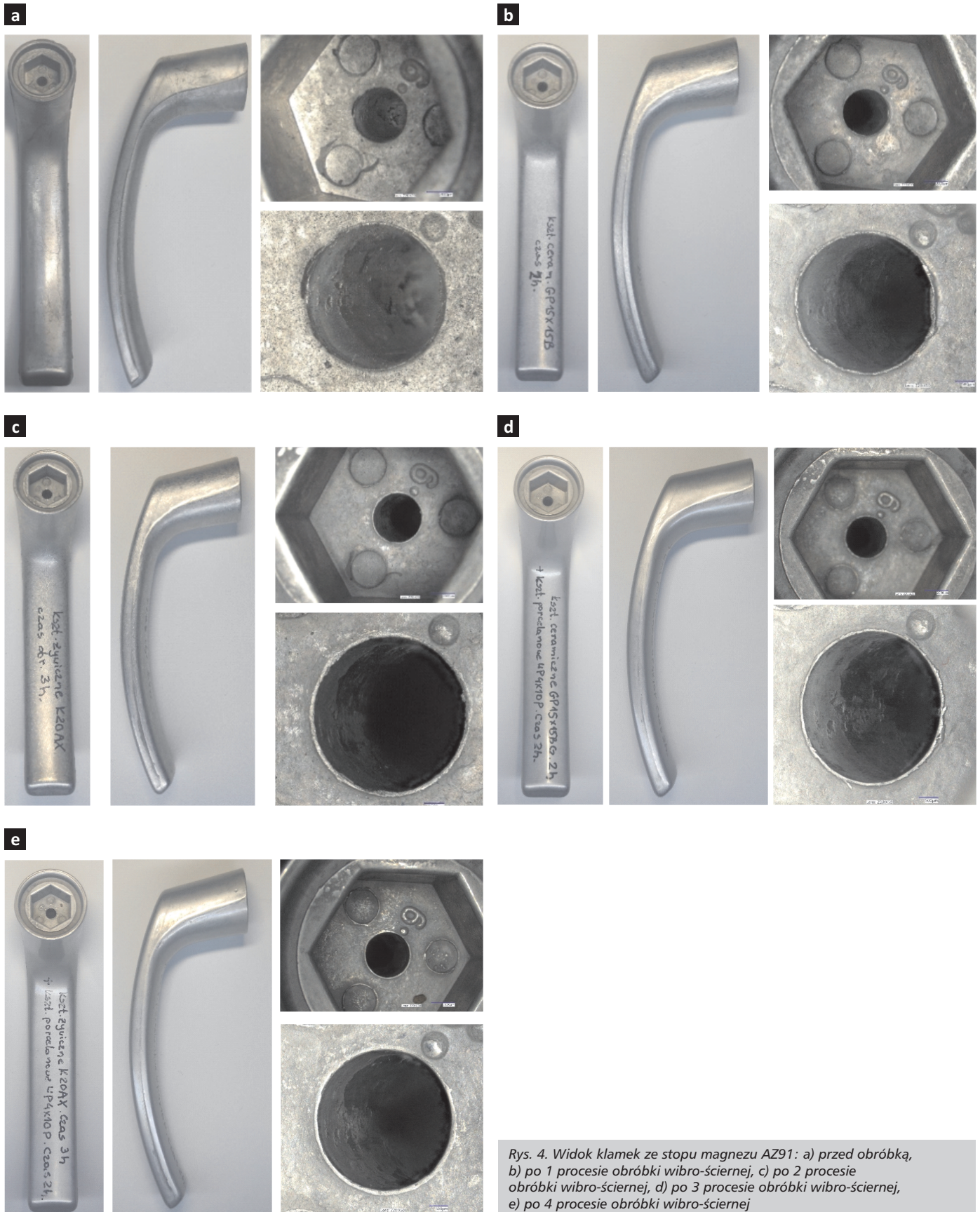
Nr procesu	Operacje	Urządzenie	Skład roztworu obróbkowego
1.	1. Obróbka wibro-ścierna kształtkami ceramicznymi GP15x15B w roztworze obróbkowym OS-200, czas 2 h. 2. Suszenie i wyblyszczanie granulatem z kolby kukurydzy GM 12 w temp. 50°C, czas 0.5 h.	1. Wygładzarka wibracyjna EVP firmy Erba. 2. Suszarka wibracyjna EVK 100 firmy Erba (Turcja).	99% woda + 1% koncentratu OS-200 (Marbad)
2.	1. Obróbka wibro-ścierna kształtkami żywicznymi K 20 AX w roztworze obróbkowym OS-200, czas 3 h. 2. Suszenie i wyblyszczanie granulatem z kolby kukurydzy GM 12 w temp. 50°C, czas 0.5 h.	1. Wygładzarka wibracyjna EVP firmy Erba. 2. Suszarka wibracyjna EVK 100 firmy Erba (Turcja).	99% woda + 1% koncentratu OS-200 (Marbad)
3.	1. Obróbka wibro-ścierna kształtkami ceramicznymi GP15x15B, czas 2 h. 2. Obróbka kształtkami porcelanowymi WP4x10P w roztworze obróbkowym OS-200, czas 2 h. 3. Suszenie i wyblyszczanie granulatem z kolby kukurydzy GM 12 w temp. 50°C, czas 0.5 h.	1-2. Wygładzarka wibracyjna EVP firmy Erba. 3. Suszarka wibracyjna EVK 100 firmy Erba (Turcja).	99% woda + 1% koncentratu OS-200 (Marbad)
4.	1. Obróbka wibro-ścierna kształtkami żywicznymi K20AX, czas 3 h. 2. Obróbka kształtkami porcelanowymi WP4x10P w roztworze obróbkowym OS-200, czas 2 h. 3. Suszenie i wyblyszczanie granulatem z kolby kukurydzy GM 12 w temp. 50°C, czas 0.5 h.	1-2. Wygładzarka wibracyjna EVP firmy Erba. 3. Suszarka wibracyjna EVK 100 firmy Erba (Turcja).	99% woda + 1% koncentratu OS-200 (Marbad)

Obróbkę wykonano z zastosowaniem maszyn, urządzeń, kształtek i preparatyki firmy Marbad Sp. z o.o., Warszawa

procesach było suszenie i wyblyszczanie powierzchni klamek granulatem z kolby kukurydzy GM 12, które realizowano w suszarce wibracyjnej firmy Erba. Zastosowany granulát z kolby kukurydzy charakteryzuje się bardzo dobrą

zdolnością absorpcji wilgoci i usuwania zacieków z obrabianych klamek oraz wyblyszczania ich powierzchni. Ma to szczególne znaczenie podczas obróbki stopów magnezu, które są bardzo reaktywne w kontakcie z wodą [1].

Widok klamek ze stopu magnezu AZ91 przed obróbką wibro-ścierną i po obróbce w poszczególnych procesach technologicznych przedstawiano na rysunku 4.



Rys. 4. Widok klamek ze stopu magnezu AZ91: a) przed obróbką, b) po 1 procesie obróbki wibro-ściernej, c) po 2 procesie obróbki wibro-ściernej, d) po 3 procesie obróbki wibro-ściernej, e) po 4 procesie obróbki wibro-ściernej

Wyniki badań

Badania dotyczyły pomiarów struktury geometrycznej i morfologii powierzchni kłamek przed obróbką i po czterech różnych procesach obróbki wibro-ścierniej. Do pomiaru parametrów struktury geometrycznej powierzchni (SGP) kłamek ze stopu magnezu AZ91 zastosowano profilometr optyczny firmy Keyence (Japonia), model VR-6000 oraz profilometr optyczny firmy Sensofar Metrology (Hiszpania), natomiast do badań morfologii powierzchni zastosowano mikroskop cyfrowy firmy Keyence, model VHX-7000. Obserwacji dokonano przy powiększeniu 300x.

Charakterystyczne wyniki pomiarów struktury geometrycznej i morfologii powierzchni kłamek przedstawiono na rysunkach 5÷9 [6].

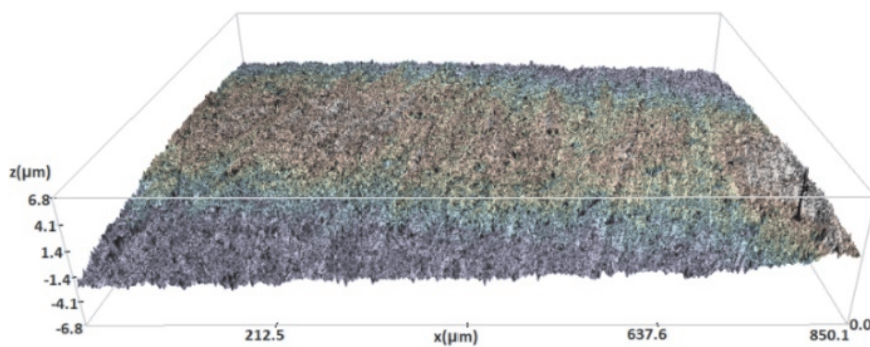
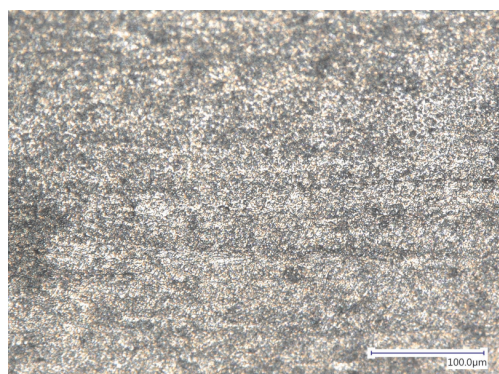
Na podstawie analizy informacji zamieszczonych na rys. 5÷9 stwierdzić można, że obróbka wibro-ścierna w znaczący i zróżnicowany sposób powoduje wygładzanie obrabianych powierzchni.

Podsumowanie i wnioski

Przeprowadzone badania umożliwiły porównanie przydatności opracowanych wariantów technologicznych obróbki wibro-ścierniej w wygładzarce ro-

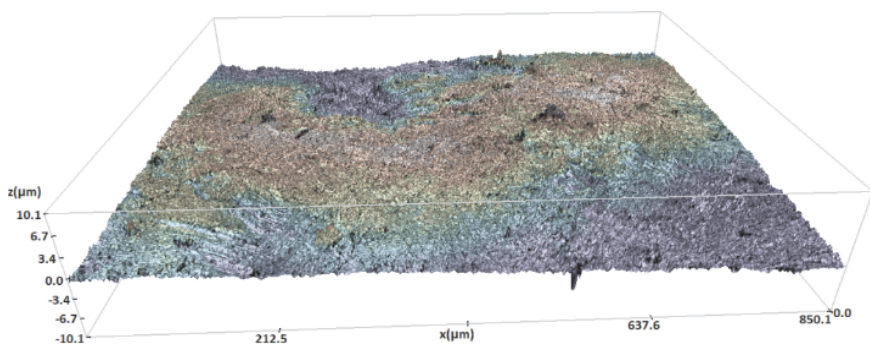
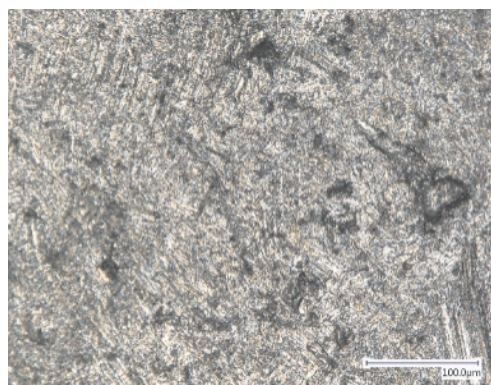
tacyjno-kaskadowej, przy zastosowaniu kształtek żywicznych, ceramicznych i porcelanowych, do kształtowania morfologii i struktury geometrycznej powierzchni odlewanych kłamek ze stopu magnezu AZ91.

Wykazano, że po każdym z tych procesów obróbki wibro-ścierniej uzyskano istotną poprawę morfologii i struktury geometrycznej powierzchni kłamek, którą uwidoczniają obrazy morfologii powierzchni, zmniejszające się wartości parametrów struktury geometrycznej, stępienie ostrych krawędzi oraz wybłyszczanie powierzchni kłamek ze stopu magnezu AZ91.



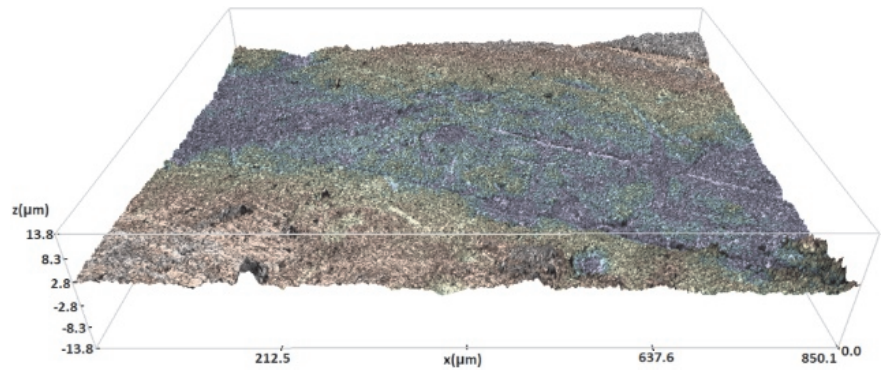
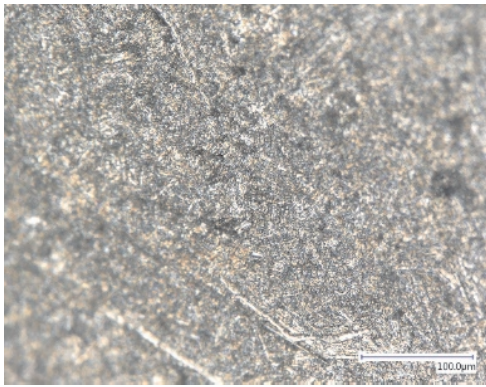
przed obróbką	Sa	Sz	Sq	Ssk	Sku	Sp	Sv
	0.966	23.936	1.173	-0.342	4.880	15.990	9.946

Rys. 5. Morfologia i SGP kłamek ze stopu magnezu AZ91 przed obróbką wibro-ścierną



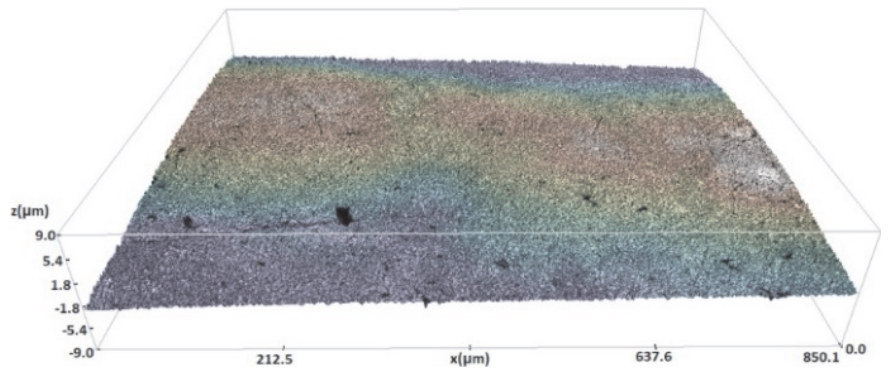
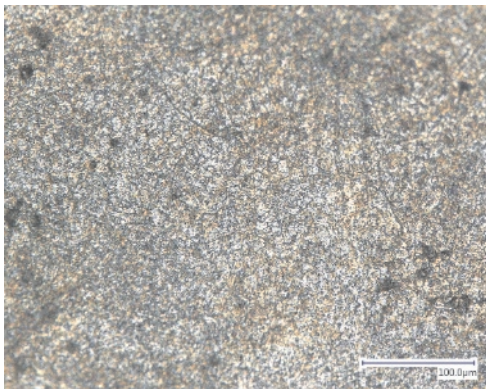
GP15x15B + GP 12	Sa	Sz	Sq	Ssk	Sku	Sp	Sv
	0.712	14.571	0.811	-0.185	4.021	11.459	8.112

Rys. 6. Morfologia i SGP kłamek ze stopu magnezu AZ91 po 1 procesie obróbki: obróbka kształtkami ceramicznymi GP15x15B (2 h) + suszenie i wybłyszczanie granulem GM 12 (0.5 h)



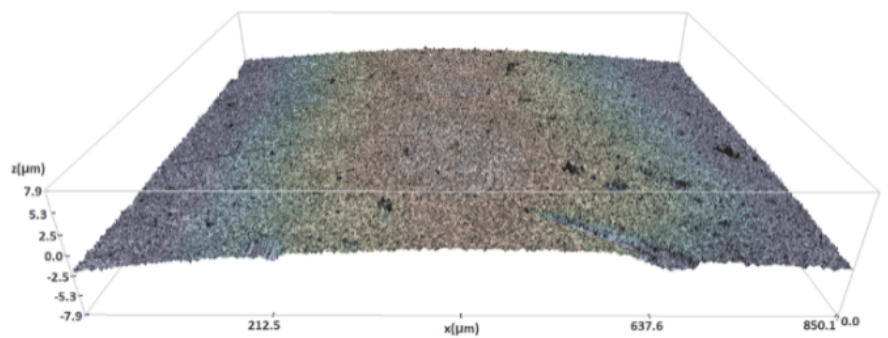
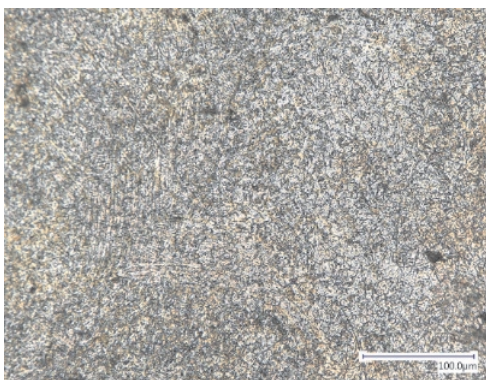
K20AX + GP 12	Sa	Sz	Sq	Ssk	Sku	Sp	Sv
	0.808	15.304	0.915	-0.436	5.680	12.289	9.015

Rys. 7. Morfologia i SGP klamek ze stopu magnezu AZ91 po 2 procesie obróbki: obróbka kształtkami żywicznymi K20AX (3 h) + suszenie i wyblyszczanie granulem GM 12 (0.5 h)



GP15x15B+ WP4x10P + GP 12	Sa	Sz	Sq	Ssk	Sku	Sp	Sv
	0.567	12.972	0.725	-0.110	3.551	10.803	7.169

Rys. 8. Morfologia i SGP klamek ze stopu magnezu AZ91 po 3 procesie obróbki: obróbka kształtkami ceramicznymi GP15x15B (2 h) + obróbka kształtkami porcelanowymi WP4x10P (2 h) + suszenie i wyblyszczanie granulem GM 12 (0.5 h)



K20AX+ WP4x10P + GP 12	Sa	Sz	Sq	Ssk	Sku	Sp	Sv
	0.646	13.941	0.819	-0.173	3.816	9.349	7.592

Rys. 9. Morfologia i SGP klamek ze stopu magnezu AZ91 po 4 procesie obróbki: obróbka kształtkami żywicznymi K20AX (3 h) + obróbka kształtkami porcelanowymi WP4x10P (2 h) + suszenie i wyblyszczanie granulem GM 12 (0.5 h)

Spośród czterech porównywanych procesów technologicznych obróbki wibro-ściernej najmniejsze (w tym przypadku – najkorzystniejsze) wartości parametrów struktury geometrycznej powierzchni uzyskano dla procesu trzeciego, realizowanego kształtkami ceramicznymi GP15x15B (2 h), wygładzania kształtkami porcelanowymi WP4x10P (2 h) oraz suszenia i wytłuszczania granulem z kolby kukurydzy GM 12 (0.5 h). Dla tego wariantu technologicznego uzyskano również najbardziej jednorodną morfologię powierzchni. Opracowaną technologię powierzchniowej obróbki można rekomendować do wdrożenia w rzeczywistych warunkach przemysłowych.

Literatura

- [1] Gołąbczak A., Gołąbczak M., Konstantynowicz A., Świącik R.: Ocena morfologii i struktury geometrycznej powierzchni stopu magnezu po obróbce ściernej, *Mechanik*, 8-9, 2015, 105–111.
- [2] Gołąbczak A., Woźniak K., Gołąbczak M., Skowron M., Konstantynowicz A.: Wpływ skrawalności kształtek ceramicznych na topografię powierzchni przedmiotów stalowych obrabianych w wygładzarce rotacyjno-kaskadowej, *Mechanik*, 10, 2016, 1390–1391.
- [3] Gołąbczak A., Woźniak K., Gołąbczak M., Skowron M., Konstantynowicz A.: Wpływ skrawalności kształtek poliestrowych na topografię powierzchni przedmiotów ze stali obrabianych w wygładzarce rotacyjno-kaskadowej, *Mechanik*, 10, 2016, 1392–1393.
- [4] Janik B.: Zastosowanie stopów magnezu w lotnictwie, Instytut Lotnictwa, Warszawa, 2011.
- [5] Woźniak K.: Kształtki ceramiczne jako narzędzia robocze w roto-wibracyjnej obróbce powierzchni, *Szkło i Ceramika*, 5, 2011, 36–41.
- [6] Woźniak K.: Materiały ścierne i polerskie, Wydawnictwo Naukowe PWN SA, Warszawa 2022.
- [7] Woźniak K.: Obróbka powierzchni w wygładzarkach pojemnikowych, Wydawnictwo Naukowe PWN SA, Warszawa, 2017.
- [8] Woźniak K.: Obróbka strumieniowo-ścierna, Tom 1, Materiały ścierne, Wydawnictwo Naukowe PWN SA, Warszawa, 2019.
- [9] Woźniak K.: Obróbka strumieniowo-ścierna, Tom 2, Oczyszczarki i procesy obróbki, Wydawnictwo Naukowe PWN SA, Warszawa, 2020. ■