

Prototyp przecinarki z frezem tarczowo-piłkowym mocowanym od spodu przedmiotu obrabianego

Data wpłynięcia do Redakcji: 06/2022
Data akceptacji przez Redakcję do publikacji: 09/2022

2022, volume 11, issue 2, pp. 57-65

Tomasz Gustowski
Waldemar Kurek
Krystian Samsonik
GREENHOUSES AGICO Sp. z o. o. S.K.A., Polska

Rafał Grzejda
Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny
w Szczecinie, Polska



Streszczenie: W artykule przedstawiono prototyp przecinarki tarczowej z narzędziem mocowanym od spodu przedmiotu obrabianego. Układ przeznaczony jest do obróbki długich profili liniowych stosowanych w stalowych konstrukcjach inżynierskich. Umożliwia cięcie profili o zamkniętych lub otwartych przekrojach poprzecznych na zadany wymiar. Układ jest częścią innowacyjnej linii technologicznej do automatycznego cięcia plazmowego, cięcia frezem tarczowo-piłkowym oraz spawania z wykorzystaniem robotów spawalniczych.

Słowa kluczowe: przecinarka tarczowa, frez tarczowo-piłkowy, długie profile liniowe, stal szybkotnąca, powłoka TiN

WPROWADZENIE

Innowacyjność procesowa w przedsiębiorstwach produkcyjnych jest ściśle powiązana z działalnością badawczo-rozwojową. W wyniku tej działalności możliwe jest doskonalenie technologii i procesów wykorzystywanych w przedsiębiorstwie [1, 2]. Przykładem wprowadzenia innowacji procesowej może być łączenie kilku różnych operacji obróbkowych w jeden ciąg technologiczny celem zwiększenia wydajności obróbki i skrócenia cyklu produkcyjnego [3]. W niniejszym artykule poruszono to zagadnienie w odniesieniu do linii technologicznej do produkcji liniowych podporowych lub nośnych elementów konstrukcji stalowych [4].

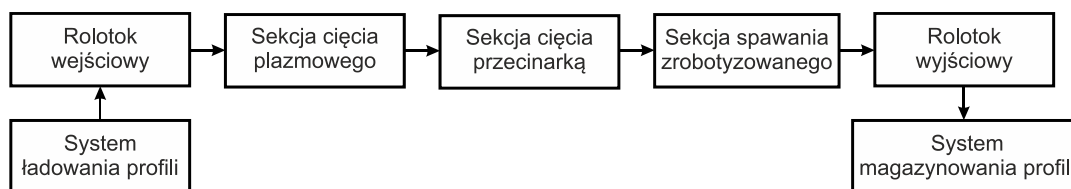
Produkcja liniowych profili o zamkniętych lub otwartych przekrojach poprzecznych związana jest z realizacją i łączeniem ze sobą procesów: wykonywania otworów, cięcia i spawania. Procesy te mogą być zautomatyzowane lub zrobotyzowane [5, 6]. W pracy [4] opisano koncepcję takiej linii, w skład której wchodzi trzy główne stanowiska: do plazmowego wycinania otworów, do cięcia profili na zadaną długość za pomocą przecinarki pionowej z frezem tarczowo-piłkowym oraz do zrobotyzowanego spawania z wykorzystaniem pary robotów spawalniczych. Dwa pierwsze z tych stanowisk to prototypowe urządzenia o innowacyjnych cechach. Urządzenie do cięcia plazmą jest obecnie objęte badaniem na temat jego patentowalności i jego charakterystyka zostanie przedstawiona w osobnej publikacji. W prezentowanym artykule opisana została przecinarka tarczowa zastosowana w zaprojektowanej linii technologicznej.

Szerokie zastosowanie przecinarek tarczowych determinuje ciągłe poszukiwanie nowych rozwiązań konstrukcyjnych tych obrabiarek lub ich podzespołów. Zwykle ma to związek z prowadzeniem działalności w zakresie badań, rozwoju i innowacji (B+R+i) [7, 8]. Chang i Chen [9] zaprezentowali prototyp i wyniki badań doświadczalnych przecinarki z tarczą wyposażoną w samozaciskowe płytki tnące, którą można stosować w przypadku cięcia materiałów ze stali. Hintze i in. [10] zaproponowali nowatorskie narzędzie w postaci sztywnej ścierniej piły tarczowej mocowanej w obrotowym wrzecionie umożliwiające cięcie po łuku powierzchni lekkich konstrukcji wykonanych z tworzywa wzmocnionego włóknem węglowym. Podobne, w zakresie możliwości zastosowania, rozwiązanie opracowali Yamada i in. [11]. Opisali oni elastyczną piłę tarczową do szybkiego cięcia linii krzywych wykonaną z tworzywa sztucznego wzmocnionego włóknem węglowym. Piłę przetestowano w zakresie cięcia płyty wykonanej również z tworzywa sztucznego wzmocnionego włóknem węglowym. Tarcz opisanych w pracach [10, 11] nie można jednak stosować w przypadku cięcia materiałów ze stali. Möhring i in. [12] optymalizowali geometrię ostrzy piły tarczowej w celu otrzymania zarysu gwarantującego niski poziom hałasu w czasie pracy. Lu i in. [13] wykazali lepszą wydajność cięcia piłą tarczową po laserowym wygrawerowaniu na powierzchni jej ostrzy specjalnej liniowej mikrotekstury.

W przedstawionych w przeglądzie konstrukcjach zastosowano ustawienie narzędzia względem przedmiotu obrabianego od góry, jak to ma miejsce w konwencjonalnych przecinarkach tarczowych [14, 15, 16]. W prezentowanym prototypie przecinarki narzędzie umiejscowiono od spodu przedmiotu obrabianego, co należy uznać za niekonwencjonalne rozwiązanie konstrukcji tego typu obrabiarki.

ZAŁOŻENIA DO MODELU PRZECINARKI

Przecinarka jest jednym ze stanowisk obróbczych linii technologicznej, której schemat blokowy pokazano na rys. 1. Jak wspomniano wyżej, koncepcję tej linii opisano w pracy [4].



Rys. 1 Schemat blokowy linii technologicznej z zaprojektowaną przecinarką

Źródło: Opracowanie własne

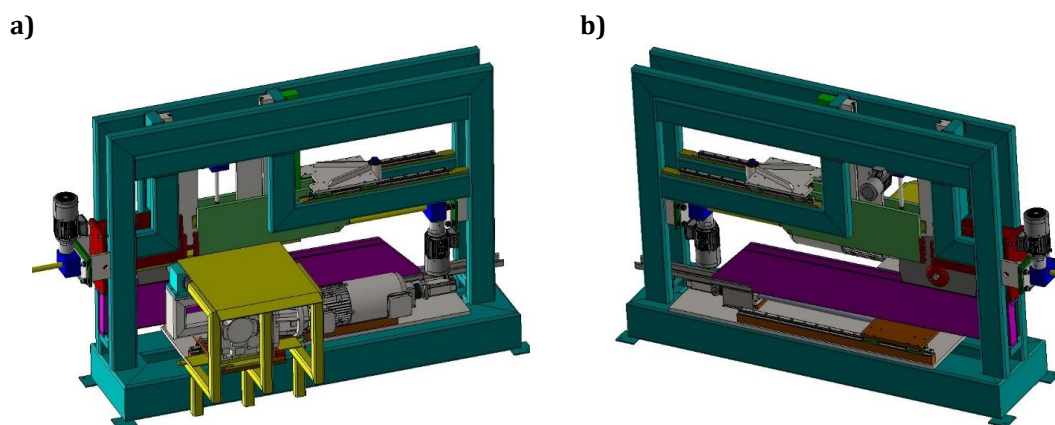
Model przecinarki powstał przy następujących założeniach:

1. Celem układu będzie obróbka (cięcie) długich profili liniowych stosowanych w stalowych konstrukcjach inżynierskich.
2. Układ będzie w pełni zautomatyzowany i wyposażony w system sterowania CNC.

3. Cechą konstrukcji przecinarki będzie autorskie rozwiązanie pozwalające na cięcie profili od spodu.
4. Przecinarka będzie wyposażona we frez tarczowo-piłkowy umożliwiający cięcie profili o wymiarach zewnętrznych do 250×150 mm.

MODEL BRYŁOWY PRZECINARKI

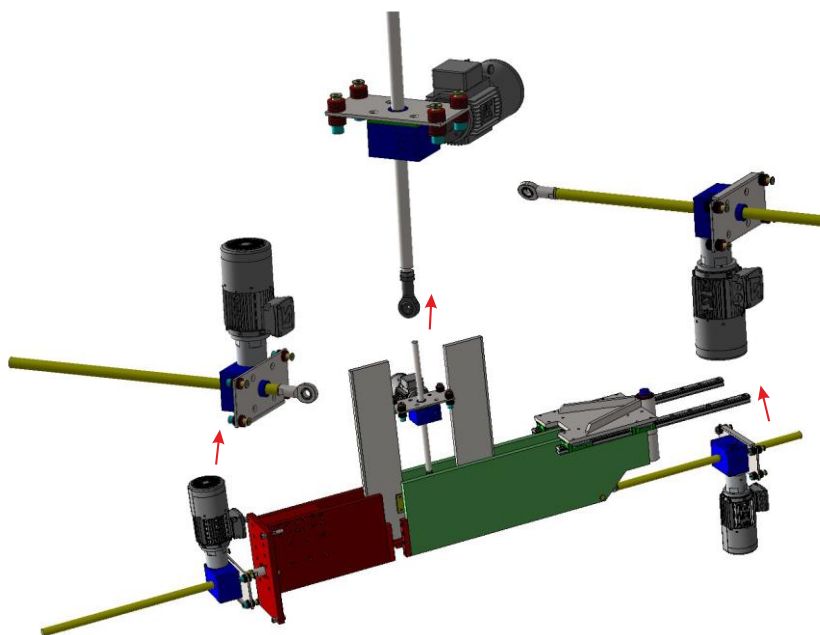
Mając na uwadze ogólne wytyczne ujęte w wymienionych wyżej założeniach, zaprojektowano model przecinarki przedstawiony na rys. 2. Model wykonano przy użyciu oprogramowania SolidWorks 2020.



Rys. 2 Model bryłowy przecinarki: a) widok od strony rolotoku wejściowego, b) widok od strony rolotoku wyjściowego

Źródło: Opracowanie własne

Do pozycjonowania i ustalenia obrabianego profilu służy zespół docisków bocznych (lewego i prawego) oraz górnego. Model tego zespołu pokazano na rys. 3.



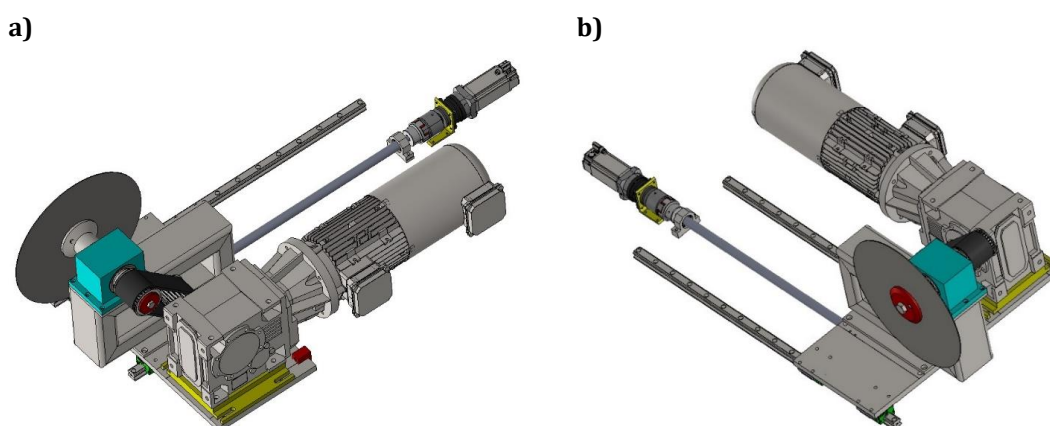
Rys. 3 Model zespołu docisków (lewego, górnego i prawego)

Źródło: Opracowanie własne

Do każdego z docisków przynależy osobny napęd złożony z silnika asynchronicznego oraz przekładni ślimakowej ze śrubą trapezową.

Aby spełnić założenia projektowe dotyczące maksymalnych wymiarów zewnętrznych obrabianego profilu, a jednocześnie ograniczyć rozmiar zewnętrzny frezu tarczowo-piłkowego, utworzono konstrukcję przecinarki umożliwiającą cięcie od dołu. Jako narzędzie zastosowano frez tarczowo-piłkowy do przecinania kształtowników i profili cienkościennych wykonanych ze stali. Napęd frezu stanowi motoreduktor z przekładnią zębatą walcowo-stożkową łączony z wałem, na którym osadzony jest frez, za pomocą przekładni pasowej. Jest to tradycyjne rozwiązanie konstrukcyjne w przecinarkach tarczowych [17, 18].

Korpus frezu przesuwany jest poprzecznie do obrabianego profilu z wykorzystaniem pary profilowanych prowadnic gwarantujących precyzyjny ruch liniowy. Posuw korpusu jest realizowany za pomocą napędu złożonego z silnika synchronicznego i jednostopniowej współosiowej przekładni planetarnej. Wydzielony model zespołu napędu przecinarki przedstawiono w dwóch widokach na rys. 4.



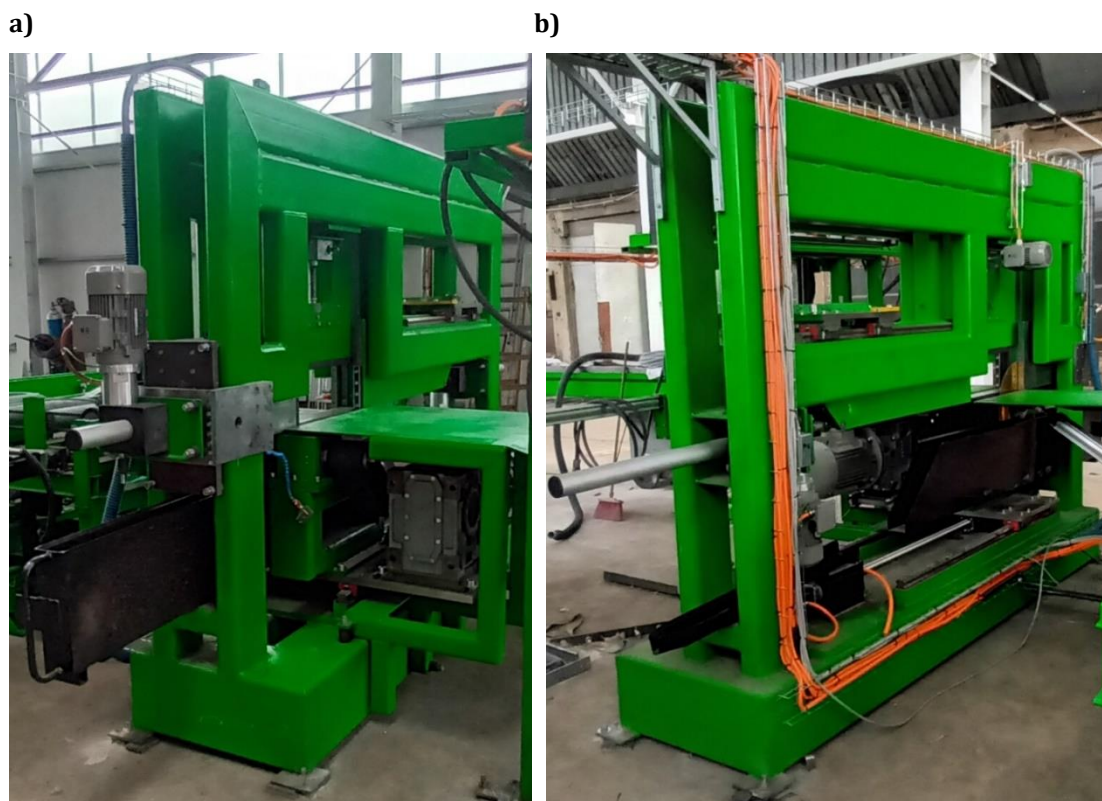
Rys. 4 Model zespołu napędu przecinarki: a) widok od strony rolotoku wejściowego, b) widok od strony rolotoku wyjściowego

Źródło: Opracowanie własne

BUDOWA PROTOTYPU PRZECINARKI

Model bryłowy opisany powyżej został wykorzystany do wykonania prototypu przecinarki, którego zdjęcia pokazano na rys. 5. Do sterowania przecinarką służy algorytm opracowany z wykorzystaniem oprogramowania Sigma TUBE. Oprogramowanie to pozwala na zdefiniowanie geometrii obrabianego profilu i miejsca cięcia oraz na przygotowanie odpowiedniego do wykonania operacji cięcia kodu maszynowego (G-CODE).

Jako napęd docisków bocznych zastosowano układ złożony z silnika asynchronicznego trójfazowego typu FCPA 90L-6/PHE firmy AC-Motoren z enkoderem, o parametrach podanych w tabeli 1 oraz przekładni ślimakowej typu N firmy NEFF-Gewindetriebe GmbH, ze śrubą trapezową o zarysie T40×7, zakończoną końcówką z przegubem kulistym.



Rys. 5 Prototyp przecinarki: a) widok od strony rolotoku wejściowego, b) widok od strony rolotoku wyjściowego

Źródło: Opracowanie własne

Tabela 1 Parametry silnika FCPA 90L-6/PHE

Parametr	Wartość	Jednostka
Moc przy częstotliwości 50 Hz	1,1	kW
Moment znamionowy	11,12	Nm
Obroty	945	1/min

Źródło: Opracowanie własne

Jako napęd docisku górnego zastosowano układ złożony z silnika asynchronicznego trójfazowego typu FCA 71B-4/HE firmy AC-Motoren z enkoderem, o parametrach zestawionych w tabeli 2 oraz przekładni ślimakowej typu N firmy NEFF-Gewindetriebe GmbH, ze śrubą trapezową o zarysie T30×6, zakończoną końcówką z przegubem kulistym.

Tabela 2 Parametry silnika FCA 71B-4/HE

Parametr	Wartość	Jednostka
Moc przy częstotliwości 50 Hz	0,37	kW
Moment znamionowy	2,56	Nm
Obroty	1335	1/min

Źródło: Opracowanie własne

Dzięki zastosowaniu enkoderów możliwe jest dokładne pozycjonowanie obrabianego profilu, czyli precyzyjny dojazd docisków do profilu bez względu na jego wymiary.

Narzędzie przecinarki stanowi frez tarczowo-piłkowy typu HSS firmy Azak Tool Technologies, o parametrach podanych w tabeli 3. Frez został wykonany ze stali narzędziowej szybko tnącej SW7M (1.3343) i powleczony azotkiem tytanu metodą *physical vapor deposition* (PVD) [19].

Tabela 3 Parametry dobranego frezu tarczowo-piłkowego

Parametr	Wartość	Jednostka
Średnica zewnętrzna	500	mm
Średnica otworu montażowego	80	mm
Grubość	3	mm
Liczba ostrzy	220	-
Uzębienie łukowe	Typ B	-

Źródło: Opracowanie własne

Jako napęd frezu dobrano motoreduktor z trzystopniową przekładnią walcowo-stożkową firmy Bonfiglioli serii A70 (A70 3 UR 21.3 P160 B3). W układzie napędowym jest on połączony z wałem frezu za pomocą przekładni pasowej z pasem zębatym. Sterowanie prędkością obrotową silnika odbywa się za pomocą falownika. Jej wartość dobierana jest w zależności od grubości ścianki ciętego profilu oraz jego wymiarów zewnętrznych. Podstawowe dane motoreduktora zebrano w tabeli 4.

Tabela 4 Parametry motoreduktora A70

Parametr	Wartość	Jednostka
Moc silnika	15	kW
Obroty synchroniczne silnika	1450	1/min
Przełożenie przekładni	1:21,3	-
Moment wyjściowy	4000	Nm

Źródło: Opracowanie własne

Posuw korpusu frezu jest realizowany za pomocą układu napędowego złożonego z silnika synchroniczny typu 8LSA46 firmy B&R Automation, o parametrach podanych w tabeli 5 oraz jednostopniowej współosiowej przekładni planetarnej typu 8GP60 firmy B&R Automation o przełożeniu 1:10. Korpus frezu przesuwany jest za pomocą pary prowadnic z szyną profilową firmy HIWIN.

Tabela 5 Parametry silnika 8LSA46

Parametr	Wartość	Jednostka
Moc nominalna	2,42	kW
Moment znamionowy	7,7	Nm
Obroty nominalne	3000	1/min

Źródło: Opracowanie własne

Planuje się rozbudowanie algorytmu sterowania przecinarką tak, aby umożliwił on optymalizację procesu cięcia według kryterium maksymalnej wydajności procesu. Aby ją osiągnąć, algorytm będzie pozwalał na cięcie z mniejszymi wartościami parametrów skrawania (prędkością skrawania i posuwem) na ściankach profilu i z większymi wartościami tych parametrów w środku profilu.

PODSUMOWANIE

Nowoczesne możliwości produkcyjne umożliwiają projektowanie zautomatyzowanych urządzeń mających na celu wykonanie kilku operacji obróbczych w jednym cyklu, obniżając koszty produkcji i zwiększając jej wydajność. Przykładem takiego postępowania jest planowanie linii technologicznej łączącej stanowiska do cięcia plazmowego, cięcia frezem tarczowo-piłkowym i spawania długich profili liniowych.

W artykule przedstawiono część tej linii w postaci przecinarki z frezem tarczowo-piłkowym, która umożliwi cięcie od spodu profili o maksymalnych wymiarach zewnętrznych do 250×150 [mm]. Przedstawiony prototyp przecinarki wyróżnia się innowacyjnością na tle innych obrabiarek tego typu [14, 15, 16]. Wyniki badań przecinarki w stanie eksploatacyjnym planuje się opublikować w osobnym artykule.

Podziękowania

Prezentowane wyniki dotyczą badań realizowanych w ramach projektu RPZP.01.01.00-32-0010/18-00 pt. „Prace badawczo-rozwojowe nad opracowaniem innowacyjnego ciągu technologicznego do produkcji liniowych podporowych lub nośnych elementów konstrukcji stalowych” finansowanego ze środków Europejskiego Funduszu Rozwoju Regionalnego w ramach Regionalnego Programu Operacyjnego Województwa Zachodniopomorskiego 2014-2020.



Fundusze Europejskie
Program Regionalny



Rzeczpospolita
Polska



Unia Europejska
Europejskie Fundusze
Strukturalne i Inwestycyjne



LITERATURA

- [1] W. Biały, P. Hąbek. “Rozwój potencjału B+R przedsiębiorstw z wykorzystaniem środków UE, sposobem na wsparcie inteligentnych specjalizacji”. *Systemy Wspomagania w Inżynierii Produkcji*, vol. 6, issue 8, pp. 9-26, 2017.
- [2] J. Duda, P. Wojakowski, Ł. Gola, D. Warzołek. “Improvement project of production system - A case study”. *Research on Enterprise in Modern Economy - theory and practice*, vol. 2, issue 21, pp. 41-52, 2017.
- [3] M. Dąbrowski, K. Białek. “Skracanie cyklu produkcyjnego na przykładzie produkcji systemów oświetlenia awaryjnego”. *Systemy Wspomagania w Inżynierii Produkcji*, vol. 6, issue 7, pp. 54-67, 2017.
- [4] T. Gustowski, W. Kurek, R. Grzejda. “Concept of an innovative technological line for the processing of linear profiles”. *Production Engineering Archives*, 2022 (w recenzji).
- [5] R. Trochimczuk, A. Lukaszewicz, R. Szczebiot, A.G. Kirillov, I. Mircheski. “Modeling, programming and simulation of robotized workcells created for industrial and service needs”. In: *Proceedings of 18th International Scientific Conference – Engineering for Rural Development*, Latvia University of Life Sciences and Technologies, Jelgava, Latvia, pp. 1313-1318, 2019.
- [6] W. Jamrozik, J. Górka, B. Wyględacz, M. Kiel-Jamrozik. “FEM-based thermogram correction for Inconel 625 joint hardness clustering”. *Materials*, vol. 15, issue 3, paper No. 1113, 2022.

- [7] L. Chybowski, D. Idziaszczyk. "O antropocentrycznym i technocentrycznym podejściu w procesie tworzenia innowacji". *Systemy Wspomagania w Inżynierii Produkcji*, z. 2(11), pp. 51-63, 2015.
- [8] A. Cerezo-Narváez, D. García-Jurado, M.C. González-Cruz, A. Pastor-Fernández, M. Otero-Mateo, P. Ballesteros-Pérez. "Standardizing innovation management: An opportunity for SMEs in the aerospace industry". *Processes*, vol. 7, issue 5, paper No. 282, 2019.
- [9] W.-T. Chang, L.-C. Chen. "Design and experimental evaluation of a circular saw blade with self-clamped cutting inserts". *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, vol. 83, issues 1-4, pp. 365-379, 2016.
- [10] W. Hintze, C. Klingelhöller, O. Langhof. "Curved sawing of thin lightweight components". *Production Engineering*, vol. 9, issue 1, pp. 51-59, 2015.
- [11] Y. Yamada, N. Osumi, A. Takasugi, H. Sasahara. "Curved-line cutting using a flexible circular saw". *Journal of Advanced Mechanical Design, Systems, and Manufacturing*, vol. 6, issue 6, pp. 971-978, 2012.
- [12] H.-C. Möhring, T. Stehle, K. Güzel, C. Zizelmann. "Numerical flow simulation of rotating circular saw blades for the investigation of sound generation mechanisms". *Journal of Machine Engineering*, vol. 18, issue 1, pp. 61-71, 2018.
- [13] Y. Lu, J. Deng, Q. Sun, D. Ge, J. Wu, Z. Zhang. "Effect of micro textures on the cutting performance of circular saw blade". *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, vol. 115, issues 9-10, pp. 2889-2903, 2021.
- [14] Y. Kashimura, D. Watanabe. "Study of vibration control of circular saw blade and recognition of cutting state". *Journal of the Japan Society for Precision Engineering*, vol. 67, issue 7, pp. 1145-1149, 2001.
- [15] I. Uzun, M. Colakoglu, S. Tasgetiren. "Crack initiation and growth in circular saw made of tool steel". *Journal of Theoretical and Applied Mechanics*, vol. 46, issue 2, pp. 291-303, 2008.
- [16] A. Zawada-Tomkiewicz, K. Zieliński, Ł. Żurawski. "Analiza mechanizmów zużycia ostrzy piły tarczowej". *Mechanik*, vol. 91, issue 10, pp. 892-894, 2018.
- [17] B. Marinov. "Deformation checks in basic links of big circular saw machines". *Journal of Theoretical and Applied Mechanics - Bulgaria*, vol. 49, issue 3, pp. 257-272, 2019.
- [18] J. Svoreň, L. Naščák, P. Koleda, Š. Barčík, M. Němec. "The circular saw blade body modification by elastic material layer affecting circular saws sound pressure level when idling and cutting". *Applied Acoustics*, vol. 179, paper No. 108028, 2021.
- [19] D.B. Lewis, S.R. Bradbury, M. Sarwar. "The effect of substrate surface preparation on the wear and failure modes of TiN coated high speed steel circular saw blades". *Wear*, vol. 197, issues 1-2, pp. 82-88, 1996.

Prototype of the cutter with a circular saw blade fixed from the bottom of the workpiece

Abstract: In the paper, a prototype of a circular saw with a tool fixed from the bottom of the workpiece is introduced. The system is intended for the processing of long linear profiles used in engineering steel structures. It enables cutting profiles with closed or open cross-sections to a given size. The system is part of an innovative technological line for automatic plasma cutting, circular saw cutting and welding with use of welding robots.

Keywords: circular saw, circular saw blade, long line profiles, high-speed steel, TiN coating

Tomasz Gustowski

GREENHOUSES AGICO Sp. z o. o. S.K.A.
ul. Miła 1, 70-813 Szczecin, Polska
email: t.gustowski@agico.com.pl

Waldemar Kurek

GREENHOUSES AGICO Sp. z o. o. S.K.A.
ul. Miła 1, 70-813 Szczecin, Polska
email: w.kurek@agico.com.pl

Krystian Samsonik

GREENHOUSES AGICO Sp. z o. o. S.K.A.
ul. Miła 1, 70-813 Szczecin, Polska
email: k.samsonik@agico.com.pl

Rafał Grzejda

Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny w Szczecinie
Wydział Inżynierii Mechanicznej i Mechatroniki
al. Piastów 19, 70-310 Szczecin, Polska
email: rafal.grzejda@zut.edu.pl