

Development of the design and processing technology of an innovative energy gate valve

Opracowanie konstrukcji i technologii obróbki innowacyjnej zasuw energetycznej

STANISŁAW ADAMCZAK
EDWARD MIKO
WŁODZIMIERZ MAKIEŁA
ŁUKASZ NOWAKOWSKI
MICHAŁ SKRZYNIARZ
MAREK JAREMA
JACEK ŚWIDERSKI
TOMASZ DOBROWOLSKI
CZESŁAW WÓJCIK*

DOI: <https://doi.org/10.17814/mechanik.2020.12.19>

The article presents the results of the research project in cooperation between Kielce University of Technology and Chemar Armatura Sp. z o.o. Project co-financed by european funds was entitled: "Putting into the production of an innovative series of energy wedge gate which is equipped with two-part wedge and swing disk, as a result of R&D works at Chemar Armatura".

KEYWORDS: wedge, gate valve, tightness, energy consumption, weight reduction, CAD/CAM

W artykule przedstawiono wyniki pracy badawczej prowadzonej przez Politechnikę Świętokrzyską w Kielcach oraz Chemar Armatura Sp. z o.o., dofinansowanej z funduszy europejskich w ramach projektu pt. „Wdrożenie do produkcji w firmie Chemar Armatura innowacyjnego typoszeregu zasuw klinowych wyposażonych w klin dwudzielny z przesuwanymi dyskami wahlowymi, jako wynik zleconych prac B+R”.

SŁOWA KLUCZOWE: kiln, zasawa, szczelność, energochłonność, redukcja masy, CAD/CAM

Wprowadzenie

Zasuw klinowe z powierzchniami uszczelniającymi klina i siedlisk metal-metal są przeznaczone do odcinania przepływu czynnika o wysokich parametrach (takich jak ciśnienie i temperatura) w odcinkach rurociągów służących do transportu czynników ciekłych i gazowych. Ze względu na zastosowanie zasuw używa

się tylko w dwóch położeniach: całkowicie otwartej lub zamkniętej. Nie nadają się one do regulacji przepływu. Przepływ czynnika przy klinie znajdującym się w położeniu pośrednim może wywoływać drgania i uderzenia klina, które z kolei mogą doprowadzić do uszkodzenia metalowych powierzchni uszczelniających, a w konsekwencji – do utraty szczelności zamknięcia zasuw.

Szczelność zamknięcia zasuw uzyskuje się przez zapewnienie odpowiedniej struktury geometrycznej powierzchni uszczelniających klina i siedlisk, takiej jak płaskość, falistość i chropowatość. Z rodzajem materiału zastosowanego na te elementy i stereometrią powierzchni związany jest współczynnik tarcia, a w konsekwencji – także siła niezbędna do zamknięcia i otwarcia zasuw. Od kinematyki procesu zamykania i otwierania zasuw zależy trwałość i niezawodność węzła klin-siedliska.

Badania stanu techniki dotyczące rozwiązań konstrukcyjnych zasuw stosowanych w przemyśle energetycznym

Powszechnie są rozwiązania zasuw z klinami dwudzielnymi (CN104832672A, CN105318025A, CN106763849A, CN204459223U, CN205260884U), w których sprężyny łączą i wywierają nacisk na przesuwne części klina, zazwyczaj w postaci dysków. Wadą takich konstrukcji klinów w zasuwach do odcinania

* Prof. dr hab. inż. Stanisław Adamczak, adamczak@tu.kielce.pl, <https://orcid.org/0000-0002-7797-6330> – Katedra Technologii Mechanicznej i Metrologii, Wydział Mechatroniki i Budowy Maszyn Politechniki Świętokrzyskiej, Kielce, Polska
Dr hab. inż. Edward Miko, prof. PŚk, emiko@tu.kielce.pl, <https://orcid.org/0000-0003-0339-2225> – Katedra Technologii Mechanicznej i Metrologii, Wydział Mechatroniki i Budowy Maszyn Politechniki Świętokrzyskiej, Kielce, Polska
Dr hab. inż. Włodzimierz Makieła, wmakieła@tu.kielce.pl, <https://orcid.org/0000-0002-5100-6184> – Katedra Technologii Mechanicznej i Metrologii, Wydział Mechatroniki i Budowy Maszyn Politechniki Świętokrzyskiej, Kielce, Polska
Dr inż. Łukasz Nowakowski, lukasn@tu.kielce.pl, <https://orcid.org/0000-0002-2425-7295> – Katedra Technologii Mechanicznej i Metrologii, Wydział Mechatroniki i Budowy Maszyn Politechniki Świętokrzyskiej, Kielce, Polska
Dr inż. Michał Skrzyniarz, mkskrzyniarz@tu.kielce.pl, <https://orcid.org/0000-0003-4590-5842> – Katedra Technologii Mechanicznej i Metrologii, Wydział Mechatroniki i Budowy Maszyn Politechniki Świętokrzyskiej w Kielcach, Polska
Mgr inż. Marek Jarema, mjarema@tu.kielce.pl – Katedra Technologii Mechanicznej i Metrologii, Wydział Mechatroniki i Budowy Maszyn Politechniki Świętokrzyskiej, Kielce, Polska
Mgr inż. Jacek Świdorski, swiderski@tu.kielce.pl – Katedra Technologii Mechanicznej i Metrologii, Wydział Mechatroniki i Budowy Maszyn Politechniki Świętokrzyskiej, Kielce, Polska
Mgr inż. Tomasz Dobrowolski, t.dobrowolski@tu.kielce.pl – Katedra Technologii Mechanicznej i Metrologii, Wydział Mechatroniki i Budowy Maszyn Politechniki Świętokrzyskiej, Kielce, Polska
Czesław Wójcik – Katedra Technologii Mechanicznej i Metrologii, Wydział Mechatroniki i Budowy Maszyn Politechniki Świętokrzyskiej, Kielce, Polska

przepływu czynnika o wysokim ciśnieniu czy temperaturze jest to, że sprężyny się rozhartowują, powodując utratę własności użytkowych zasuw.

Znane jest z literatury CN203532821A rozwiązanie klina dwudzielnego mającego korpus z gniazdem montażowym trzpienia zasuw (rys. 1). W korpusie klina jest przelotowy otwór, w którym osadzony jest trzpień w kształcie hantla, a jego końce są osadzone w gniazdach wahliwych dysków, usytuowanych symetrycznie po obu stronach klina. Wychylenia dysków są ograniczone poprzez wypusty górnej i dolnej części korpusu klina. Dyski swoimi płaskimi zewnętrznymi powierzchniami współpracują z siedliskami zasuw, otwierając lub zamykając przepływ medium.

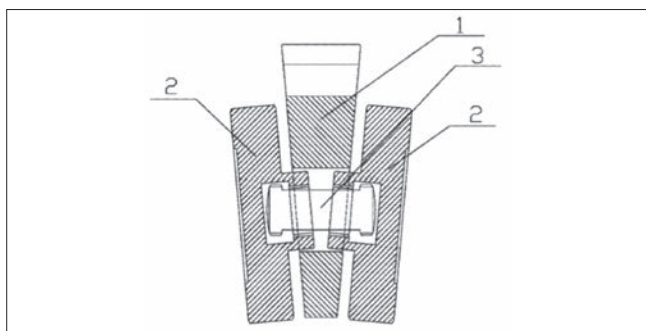


Fig. 1. A two-part wedge with a body with a mounting seat for the mandrel: 1 – wedge body, 2 – disk, 3 – mandrel

Rys. 1. Klin dwudzielny mający korpus z gniazdem montażowym na trzpień: 1 – korpus klina, 2 – dysk, 3 – trzpień

Teoretyczna analiza wybranych parametrów zaprojektowanej zasuw

Podstawowymi parametrami charakteryzującymi funkcjonalność działania armatury zaporowej są: szczelność zamknięcia, szczelność uszczelnienia dławnicowego, wytrzymałość korpusu na działanie ciśnienia wewnętrznego i obciążeń od rurociągu, trwałość i niezawodność.

Przeanalizowano wybrane elementy konstrukcyjne zasuw, tj.: kadłub, klin i trzpień.

Szczelność zamknięcia

Aby zamknięcie zasuw klinowych było szczelne, elementy węzła klin-kadłub należy wykonać zgodnie ze specyfikacją pod względem wymiarowym, by zapewnić pokrycie powierzchni uszczelniających klina i siedlisk w kadłubie. O prawidłowym działaniu tego węzła decydują kąt klina i kąt pomiędzy siedliskami w kadłubie ($\alpha = 4^\circ$) oraz wymiar w osi tych elementów ($A = 65$ mm). Powierzchnie uszczelniające klina i siedlisk powinny – według specyfikacji – charakteryzować się odchyłką płaskości mniejszą niż $5 \mu\text{m}$ oraz chropowatością $Ra \leq 0,2 \mu\text{m}$.

W ramach realizowanej pracy badawczej zmierzono kąt klina i płaskość powierzchni uszczelniających na współrzędnościowej maszynie pomiarowej. Odchyłka płaskości powierzchni uszczelniających wyniosła $4,5 \mu\text{m}$, a kąt klina: $7,999^\circ$.

W wyniku pomiarów i analizy dokumentacji stwierdzono, że odchyłka płaskości otrzymanej po docie-

raniu powierzchni uszczelniającej klina jest zgodna z wymaganiami założonymi w dokumentacji konstrukcyjnej. Odchyłka kąta klina od wymiaru nominalnego wynosi $0,001^\circ$ ($3,6''$). Przyjmując założenie tolerancji ogólnych według PN-EN 22768-1 dla klasy dokładnej odchyłki graniczne wynoszą $\pm 10'$, zatem wymaganie jest spełnione. Powierzchnia uszczelniająca klina po docieraniu ma charakter losowy izotropowy. Rozkład rzędnych powierzchni jest zbliżony do rozkładu normalnego, o czym świadczy wartość parametru $Sku = 3,77$. W rozkładzie gęstości widmowej mocy brak jednej dominującej składowej. Uzyskano zbliżone wartości parametrów $Sa = 0,560 \mu\text{m}$ dla powierzchni i $Ra = 0,534 \mu\text{m}$ dla profilu.

Szczelność uszczelnienia dławnicowego

Dla szczelności uszczelnienia dławnicowego istotna jest dokładność wymiarowo-kształtowa trzpienia oraz stan stereometrii powierzchni trzpienia współpracującej z pakietem uszczelnienia.

Pomiary chropowatości powierzchni trzpienia oraz prostoliniowości tworzących części trzpienia współpracującej z uszczelnieniem dławnicowym przeprowadzono w czterech położeniach co 90° na profilometrze stykowym.

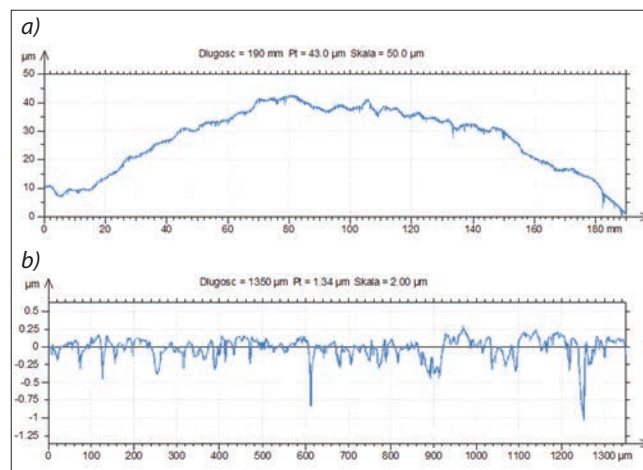


Fig. 2. An exemplary measurement result of: a) straightness of the mandrels, b) roughness of the surface of the mandrel mating with the gland packing

Rys. 2. Przykładowy wynik pomiaru: a) prostoliniowości tworzących części trzpienia, b) chropowatości powierzchni trzpienia współpracującej z uszczelnieniem dławnicowym

Otrzymana w wyniku rolowania powierzchnia trzpienia współpracująca z uszczelnieniem dławnicowym ma charakter losowy izotropowy ze składową kierunkowością wynikającą z poprzedniej operacji (toczenia). Wynik pomiaru wartości parametru $Ra = 0,076 \mu\text{m}$ jest zgodny ze specyfikacją.

Opracowanie projektu konstrukcji klina dwudzielnego

Celem badań było opracowanie dwudzielnego klina zasuw z przesuwanymi dyskami wahliwymi, usprawniającego kinematykę procesu zamykania zasuw dzięki możliwości kompensacji błędów

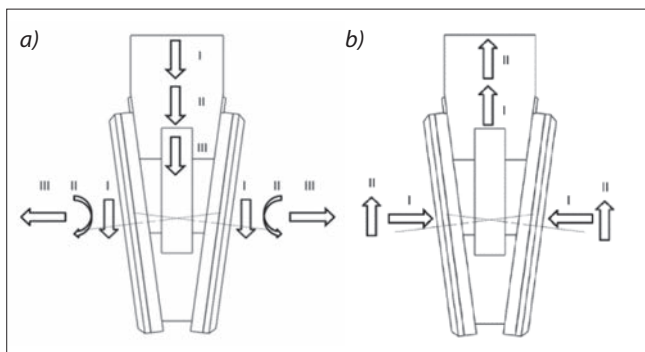


Fig. 3. Phases of: a) closing the gate valve, b) opening the gate valve
Rys. 3. Przebieg faz: a) zamykania zasuw, b) otwierania zasuw

wykonania siedłisk w kadłubie zasuw oraz otwierania pozwalającego na zmniejszenie siły osiowej niezbędnej do wyrwania klina z siedłisk kadłuba.

W trakcie zamykania zasuw (rys. 3a) klin dwudzielny wsuwa się pomiędzy siedliska korpusu zasuw (faza I). Po doprowadzeniu do kontaktu dysków z siedliskami powierzchnie czołowe dysków – w których zastosowano połączenie wahliwe – ustawiają się równoległe do powierzchni siedłisk (faza II), zapewniając lepsze dopasowanie. Następnie korpus jest wciśnany pomiędzy nieprzemieszczające się w kierunku pionowym obsady dysków i rozpięra je na boki w kierunku poziomym (faza III), co powoduje dociskanie powierzchni uszczelniających dysków do powierzchni uszczelniających siedłisk.

W trakcie otwierania zasuw (rys. 3b) korpus jest wyciągany z przestrzeni między dyskami, które pozostają nieruchome, luzując je w kierunku poziomym (faza I). To powoduje zmniejszenie siły docisku powierzchni uszczelniających dysków do powierzchni uszczelniających siedłisk i umożliwia łagodne wysunięcie klina dwudzielnego do góry w kierunku pionowym (faza II).

Klin dwudzielny zasuw ma korpus z dwiema powierzchniami ustawionymi względem siebie pod kątem. W korpusie jest gniazdo współpracujące z trzpieniem zasuw. Korpus ma po obu stronach rowki, w których zamontowano pierścienie ślizgowo-dystansowe. Po obu stronach korpusu są również gniazda z naciętymi rowkami zamka, w których montowana jest obsada. Obsada ma z przodu wklęsłą powierzchnię sferyczną, a od tyłu – rowek zawleczonego oraz owalny wypust zamka z wypukłą powierzchnią sferyczną.

W osi obsady jest otwór. Montaż obsady w korpusie jest realizowany za pomocą zamka, który składa się z owalnego rowka zamka znajdującego się po obu stronach korpusu oraz owalnego wypustu zamka na obsadzie. Zapięcie zamka odbywa się poprzez wprowadzenie owalnego wypustu zamka obsady w owalny otwór w korpusie i obrócenie obsady o 90°. Przed rozpięciem obsady z korpusem zabezpiecza zawleczka, wprowadzona w rowek w obsadzie. Zawleczka blokuje obrót obsady względem korpusu.

Obsada może się przesuwac wzdłużnie po powierzchni pierścieni w gnieździe korpusu o ok. 5 mm. Obsada ma wklęsłą powierzchnię sferyczną, współpracującą z wypukłą powierzchnią sferyczną dysku, by umożliwić

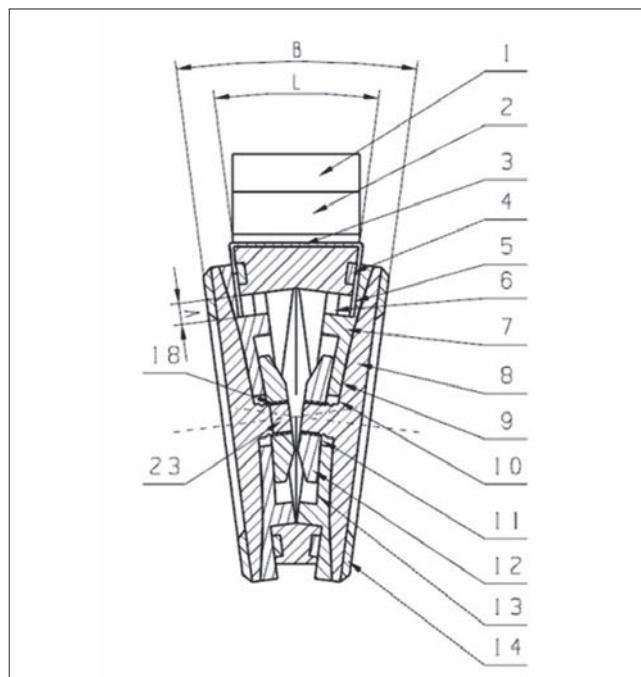


Fig. 4. Double wedge in cross-section
Rys. 4. Dwudzielny klin w przekroju

wahliwą zmianę położenia dysku względem obsady. Dysk jest przytwierdzony do obsady za pomocą gwintowanego trzpienia dysku oraz gwintowanego otworu w nakrętce, której wklęsła powierzchnia sferyczna podczas wahliwego przemieszczania się dysku współpracuje z wypukłą powierzchnią sferyczną obsady. Na zewnętrznej powierzchni dysku jest napoina.

Elementami klina dwudzielnego (rys. 4) są: 1 – korpus, 2 – gniazdo, 3 – zawleczka, 4 – pierścień, 5 – rowek zawleczki, 6 – rowek zamka, 7 – obsada, 8 – dysk, 9 – wklęsła powierzchnia sferyczna obsady (7), 10 – wypukła powierzchnia sferyczna dysku (8), 11 – wklęsła powierzchnia sferyczna nakrętki (12), 12 – nakrętka, 13 – wypukła powierzchnia sferyczna obsady (8), 14 – napoina.

Zdjęcia (rys. 5 i 6) prezentują prototyp klina dwudzielnego z przesuwalnymi dyskami wahliwymi na bazie patentu Politechniki Świętokrzyskiej i Chemar Armatura A1 423240.



Fig. 5. Components of a double wedge with sliding oscillating discs
Rys. 5. Elementy składowe klina dwudzielnego z przesuwalnymi dyskami wahliwymi



Fig. 6. Side view of the assembled double wedge with sliding oscillating discs

Rys. 6. Widok z boku zmontowanego klina dwudzielnego z przesuwymi dyskami wahliwymi

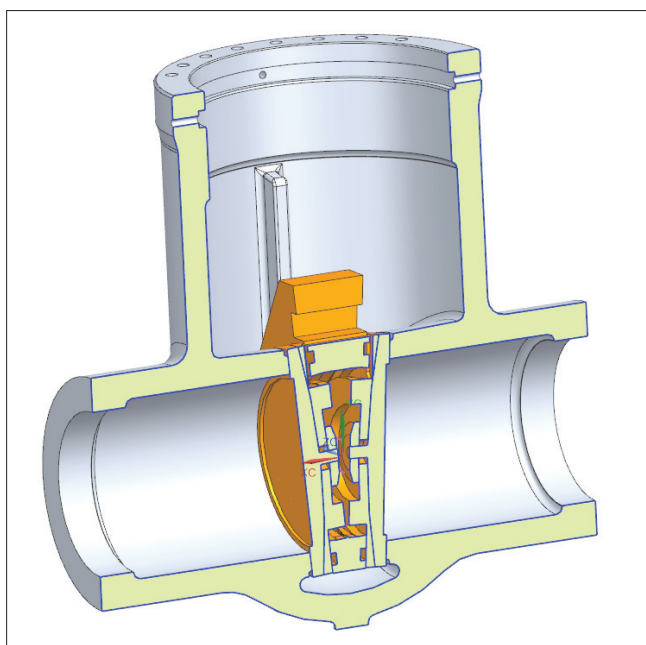


Fig. 7. Cross-section of a double wedge installed in the body of the DN150 PN100 valve

Rys. 7. Przekrój klina dwudzielnego zamontowanego w kadłubie zasuw DN150 PN100

Na rys. 7 przedstawiono projekt konstrukcyjny klina dwudzielnego do zasuw DN150 PN100. W ramach prac konstrukcyjnych opracowano modele 3D: korpusu, zawlecзки, pierścienia, obsady, dysku i nakrętki.

Opracowanie technologii obróbki części klina dwudzielnego w programie CAD/CAM

Pierwszy etap badań polegał na opracowaniu ramowego procesu technologicznego wybranych części składowych zasuw. Powstał spis operacji i zbiegów niezbędnych do wytworzenia poszczególnych elementów klina dwudzielnego. Następnie prace skupiły się na opracowaniu w systemach CAD/CAM procesu obróbki wybranych części nowej zasuw na podstawie ramowego procesu technologicznego. Prace projektowe przeprowadzono w programie MasterCAM, który jest

programem typu CAM stosowanym do tworzenia technologii obróbki na obrabiarkach CNC, na podstawie której postprocessor generuje ścieżki obróbkowe sterujące pracą maszyny. W trakcie tworzenia procesu technologicznego w systemie CAM wstępnie dobrano parametry skrawania, zalecane przez producentów narzędzi. Po wprowadzeniu wstępnych parametrów skrawania do programu MasterCAM wybrano strategię obróbki i wygenerowano ścieżki obróbkowe dla poszczególnych operacji, które następnie zweryfikowano.

Po opracowaniu i weryfikacji procesu obróbki wybranych części nowej zasuw z wykorzystaniem systemów CAD/CAM zoptymalizowano parametry skrawania oraz ścieżki obróbkowe elementów składowych klina dwudzielnego. Optymalizacja została przeprowadzona w celu: skrócenia czasu obróbki, lepszego wykorzystania krawędzi skrawającej narzędzi, poprawy produktywności i stabilności obróbki oraz uniknięcia zbyt dużych nadadatków na obróbkę wykończeniową.

Przykładowy opis technologii obróbki korpusu klina

Opisana technologia zostanie zrealizowana na pionowym centrum frezarskim Harnaś R550 w pięciu zamocowaniach.

Zamocowanie 1 (rys. 8): Półfabrykatem wyjściowym do wykonania klina będzie wałek o: średnicy $\varnothing 250$ mm i długości 80 mm, zamocowany w uchwycie trójściskowym typu 3234-315-11.

W zamocowaniu 1 zostaną wykonane operacje: planowania powierzchni czołowej, frezowania zgrubnego i wykończeniowego konturu zewnętrznego klina według rys. 8 na głębokość 65 mm, frezowania przelotowo na powierzchniach bocznych frezem teowym dwóch kanałów prowadzących klin o długości 90 mm, szerokości 15 mm i głębokości 13,5 mm oraz wykonania kieszeni o średnicy $\varnothing 100$ mm na głębokość 65 mm pod frezowanie kształtowe konturu krzywoliniowego 140 mm \times 120 mm.

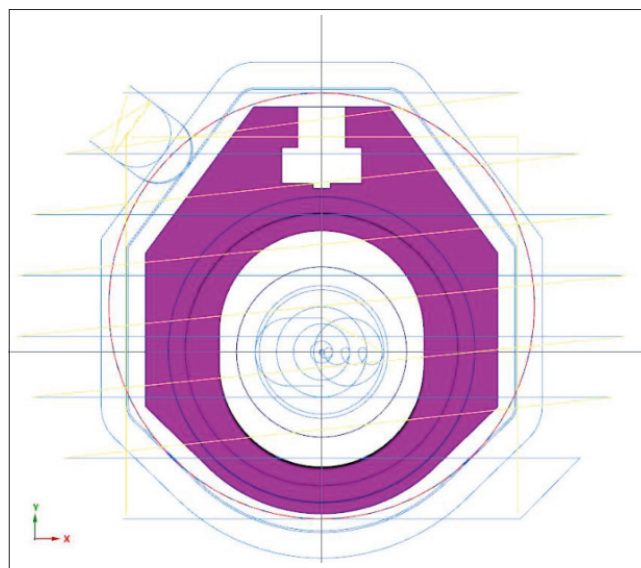


Fig. 8. Exemplary machining paths for a wedge – mounting 1
Rys. 8. Przykładowe ścieżki obróbkowe dla klina – zamocowanie 1

Zamocowanie 2: Półfabrykatem w zamocowaniu 2 będzie obrobiony z jednej strony w zamocowaniu 1 wałek o: średnicy $\varnothing 250$ mm i długości 80 mm, zamocowany za obrobiony kontur klina w imadle maszynowym z dociskiem szczęki typu 6523. Zostanie wykonana operacja planowania powierzchni czołowej na wysokość 63,5 mm.

Zamocowanie 3: Półfabrykatem wyjściowym do wykonania klina będzie obrobiony w zamocowaniu 2 korpus klina, zamocowany pionowo w imadle maszynowym z dociskiem szczęki typu 6523. Zostanie przeprowadzona obróbka rowka teowego na górnej powierzchni klina, składająca się z: frezowania kanału przelotowego o wymiarach $28 \text{ mm} \times 45 \text{ mm}$, frezowania przelotowo kanału teowego o wymiarach $47 \text{ mm} \times 21 \text{ mm}$ oraz frezowania przelotowo kanału o wymiarach $10 \text{ mm} \times 3 \text{ mm}$ pod zawleczkę zabezpieczającą.

Frezarka zamocowanie 4 (rys. 9): Półfabrykatem wyjściowym do wykonania klina będzie obrobiony w zamocowaniu 3 korpus klina, zamocowany poziomo w imadle maszynowym z dociskiem szczęki typu 6523 na specjalnych podkładkach klinowych.

Zostanie przeprowadzona obróbka powierzchni klina, nachylonej pod kątem $31,7^\circ$. Obróbka będzie się składała z: frezowania powierzchni czołowej, frezowania konturu krzywoliniowego o wymiarach $140 \text{ mm} \times 120 \text{ mm}$, frezowania rowka o wymiarach $10 \text{ mm} \times 5 \text{ mm}$ na średnicy $\varnothing 170$ mm na powierzchni czołowej oraz frezowania podcięcia pod zamek obsady $8 \text{ mm} \times 140 \text{ mm}$ na głębokość 10 mm.

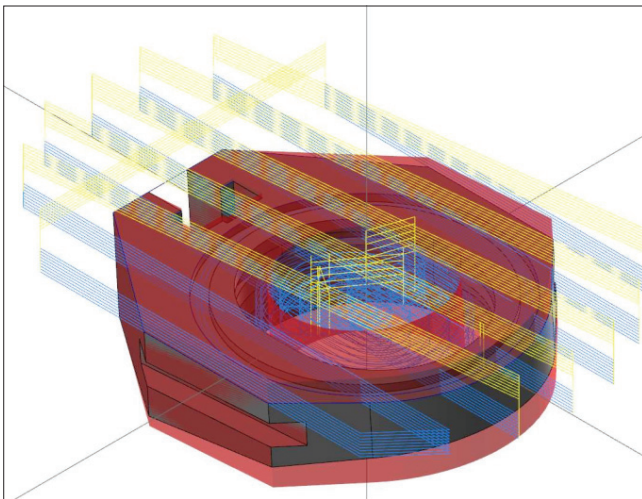


Fig. 9. Machining paths for the wedge – mounting 4
Rys. 9. Ścieżki obróbkowe dla klina – zamocowanie 4

Zamocowanie 5: Półfabrykatem wyjściowym do wykonania klina będzie obrobiony w zamocowaniu 4 korpus klina, zamocowany poziomo w imadle precyzyjnym z dociskiem szczęki typu 6523 na specjalnych podkładkach klinowych. Zostaną przeprowadzone te same operacje, co w zamocowaniu 4, tj.: frezowanie powierzchni czołowej, frezowanie konturu krzywoliniowego o wymiarach $140 \text{ mm} \times 120 \text{ mm}$, frezowanie rowka o wymiarach $10 \text{ mm} \times 5 \text{ mm}$ na średnicy $\varnothing 170$ mm na powierzchni czołowej oraz frezowanie podcięcia pod zamek obsady $8 \text{ mm} \times 140 \text{ mm}$ na głębokość 10 mm.

Podsumowanie

Rezultatem pracy badawczej przeprowadzonej wspólnie przez Politechnikę Świętokrzyską w Kielcach i zakład produkcyjny Chemar Armatura było osiągnięcie trzech wskaźników technologicznych w postaci: redukcji masy produkowanych zasuw, redukcji czasów obróbkowych, redukcji energochłonności procesu oraz zwiększenia trwałości zasuw.

Średnia obliczona procentowa wartość redukcji masy nowych zasuw wyniosła 17,1% typoszeregu DN80 do DN300 PN40, a dla typoszeregu DN80 do DN300 PN100: 17,9%.

Przykładowy wskaźnik redukcji czasów obróbki dla wybranego typu zasuw DN200, PN40 wyniósł ok. 66%. Tak dużą wartość udało się osiągnąć dzięki zastąpieniu obrabiarek konwencjonalnych przez obrabiarki specjalne, sterowane numerycznie. Czas obróbki skrócił się z 10,5 h do 3,5 h.

Redukcję czasów obróbki obliczono przez porównanie czasów obróbki starej konstrukcji zasuw w oparciu o kartę pracochłonności technologicznej i czasów obróbki nowej konstrukcji zasuw, wyznaczonych na podstawie stworzonej w programie CAM technologii obróbki oraz zweryfikowanych czasów obróbki na nowych maszynach. Analiza energochłonności starego i nowego procesu pokazuje, że zużycie energii na wytworzenie korpusu w starej technologii wynosi ok. 215,35 kWh, natomiast w nowej technologii – ok. 143,5 kWh. Redukcja zapotrzebowania energii wynosi ok. 33,4%.

LITERATURA

- [1] Adamczak S., Makiela W. „*Metrologia w budowie maszyn*”. Wyd. II. Warszawa: Wydawnictwa Naukowo-Techniczne (2007).
- [2] Adamczak S. „*Pomiary geometryczne powierzchni – zarysy kształtu, falistość i chropowatość*”. Warszawa: Wydawnictwa Naukowo-Techniczne (2009).
- [3] Adamczak S., Świderski J. „Narzędzia do analizy porównawczej stanu struktury geometrycznej powierzchni ukształtowanej toceniem”. *Mechanik*. 10 (2017): 906–908, DOI: <https://doi.org/10.17814/mechanik.2017.10.143>.
- [4] Grzesik W. „*Podstawy skrawania materiałów metalowych (Fundamentals of metal cutting)*”. Warszawa: Wydawnictwa Naukowo-Techniczne (1998).
- [5] Nowakowski Ł., Miko E. „Analiza czynników wpływających na strukturę geometryczną powierzchni poddanych obróbce skrawaniem”. *Mechanik*. 88, 8–9 (2015): 11–18, DOI: <https://doi.org/10.17814/mechanik.2015.8-9.406>
- [6] Nowakowski Ł., Skrzyniarz M., Miko E. “The analysis of relative oscillation during face milling”. *23rd International Conference ENGINEERING MECHANICS*. (2017): 730–733, https://www.researchgate.net/publication/340350548_THE_ANALYSIS_OF_RELATIVE_OSCILLATION_DURING_FACE_MILLING.
- [7] Olszak W. „*Obróbka skrawaniem*”. Warszawa: Wydawnictwa Naukowo-Techniczne (2008).
- [8] Ruszaj A. „*Niekonwencjonalne metody wytwarzania elementów maszyn i narzędzi*”. Kraków: IOS (1999).