

**Mirosława KOSMYNINA, Marcin GALARDOS, Eugenia BUKALSKA**  
Politechnika Radomska

## **ZAMKNIĘTY CYKL TECHNOLOGICZNY OSADZANIA POWŁOK KOMPOZYTOWYCH NA ELEMENTACH ZE STOPÓW ŻELAZA**

### **Słowa kluczowe**

System ekologiczny, powłoki kompozytowe, skrawanie, powłoki elektrolityczne.

### **Streszczenie**

W pracy przedstawiono zamknięty cykl technologiczny wytwarzania powłok kompozytowych, niklowofosforowych ze zdyspergowaną fazą umacniającą. Mikroziarna dyspersji wbudowywane są kolejno warstwami. Zużyte w procesie autokatalizy roztwory są wykorzystywane do nakładania powłok niklowo-fosforowych lub kompozytu metodą elektrolityczną. Oprócz ciągłego wykorzystania produktów użytych w technologii wytwarzania powłok kompozytowych, regulowana jest ilość mikroziaren wbudowywanych w mikrowarstwę i mikrowarstw w powłoce.

Przygotowanie powierzchni stopów żelaza polega na elektrolitycznym osadzeniu powłok cynkowych na etapie kształtowania elementu – podczas obróbki skrawaniem. Metoda ta nie wymaga standardowego przygotowania powierzchni, ponieważ w procesie skrawania zdejmowana warstwa wierzchnia odkrywa czyste, wolne od tlenków i wszelkich zanieczyszczeń podłoże, idealne do wydzielenia na nim warstwy metalicznej. Osadzony cynk jest usuwany z podłoża przed operacją podstawową i odzyskiwany metodą elektrochemiczną, a przy produkcji seryjnej roztwory są wykorzystywane w hydrometalurgii cynku.

Omówione procedury pozwoliły utworzyć zamknięty cykl technologiczny wytwarzania cienkowarstwowych powłok kompozytowych przyjazny dla środowiska naturalnego.

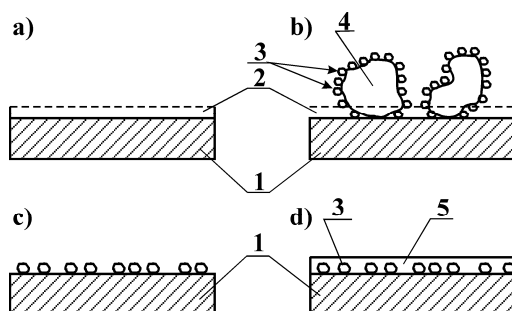
## Wprowadzenie

Technologie wytwarzania elementów maszyn z modernizacją ich właściwości metodami inżynierii powierzchni [1, 2], nazywamy przyjaznymi dla otoczenia człowieka wówczas, gdy spełniają przepisy prawne i rozporządzenia, odnośnie do rodzaju i ilości zanieczyszczeń wprowadzanych do środowiska naturalnego, poprzez odprowadzenie ich do wód gruntowych [3].

Zamknięty cykl technologiczny polega na wykorzystaniu zarówno produktów, jak i substratów użytych w operacjach technologicznych wytwarzania, co pozwala ograniczyć zanieczyszczenie środowiska naturalnego.

Istotę procesów wytwarzania powłok (rys. 1) omówiono w literaturze [2, 4–8].

W celu konstytuowania warstwy kompozytu podłoże stopu żelaza zanurza się do roztworu autokatalitycznej metalizacji. Przedmiot, wraz z warstwą roztworu, przenosi się do złoża utworzonego z mikrosfery szklanej i mikroziaren, przeznaczonych do mocowania na obrabianej powierzchni. Po zanurzeniu przedmiotu w złożu nagrzanym do temperatury 350–400°C przebiega reakcja redukcji osnowy powłoki do postaci ciała stałego z jednoczesnym mocowaniem mikroziaren, przylegających do podłoża. Po usunięciu nadmiaru mikroziaren i mikrosfer w operacji płukania przestrzeń międzyziarnową zapełnia się stopem niklowo-fosforowym, osadzającym z roztworu metalizacji. Operacja mocowania mikroziaren i zapełnienia przestrzeni międzyziarnowych powtarzana jest dowolną liczbę razy, aż do uzyskania wymaganych właściwości powłoki.



Rys. 1. Schemat osadzania warstwy kompozytu: a) nałożenie warstwy roztworu metalizacji; b) ciepłno-chemiczna obróbka z mocowaniem mikroziaren; c) podłoże z zamocowanymi mikroziarnami; d) podłoże z warstwą kompozytu. 1 – podłoże; 2 – roztwór metalizacji; 3 – mikroziarna umacniająca; 4 – sorbent – nośnik cząstek; 5 – osnowa kompozytu

Standardowy sposób przygotowania powierzchni elementów stopów żelaza stosowany w technologii osadzania powłok polega na: usunięciu z powierzchni warstw olejów i smarów metodą elektrochemiczną lub chemiczną, płukaniu w wodzie, trawieniu w roztworach kwasów i ponownym, dwukrotnym płukaniu w wodzie, dekapowaniu w słabym kwasie nieorganicznym [9]. Do przygotowania powierzchni stosowane są rozpuszczalniki organiczne, związki zasadowe, roztwory kwasowe. Substratami reakcji powierzchniowych są roztwory składników stopu żelaza w postaci cieczy i osadów o złożonych składach chemicznych, których regeneracja jest trudna i nieoptymalna.

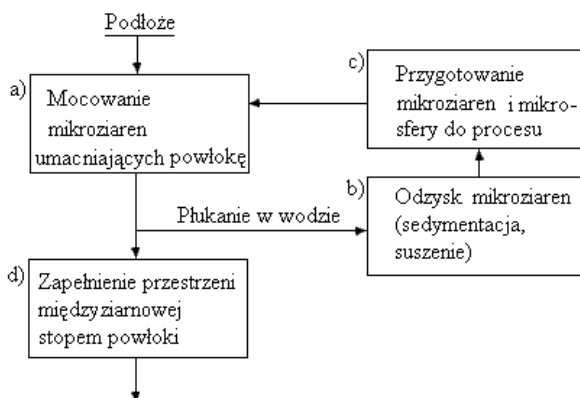
W niniejszej pracy podjęto badania zastąpienia standardowego przygotowania powierzchni przez wykorzystanie fizycznie czystej powierzchni odślaniającej w warunkach skrawania [10–13]. Uzyskaną fizycznie czystą powierzchnię zachowamy, wytwarzając na niej wybraną powłokę metaliczną, którą należy usunąć bezpośrednio przed osadzaniem powłoki kompozytowej.

Celem pracy jest opracowanie zamkniętego cyklu technologicznego obróbki powierzchniowej stali niskostopowej poprzez połączenie dwóch niezależnych technologii: osadzania powłok metalicznych w procesie skrawania i wytwarzania powłok kompozytowych. Przewiduje się regenerację substancji użytych w tych technologiach i niewykorzystanych w operacjach wytwarzania.

## 1. Wytwarzanie powłok kompozytowych

Podstawowymi operacjami w technologii wytwarzania powłok kompozytowych z regulowanym składem fazowym jest zamocowanie mikroziaren na podłożu i wypełnienie przestrzeni międzyziarnej stopem osnowy powłoki (rys. 2). Pomiedzy operacją zamocowania mikroziaren (rys. 2a) i wypełnienia przestrzeni międzyziarnej (rys. 2b) elementy są płukane w wodzie. Mikroziarna i mikrosfera zbierane są w pojemniku i pozostawione do swobodnej ich sedymentacji. Mikrosfera – szklopodobna substancja w postaci sfer (stąd nazwa mikrosfery) jest to lekka frakcja popiołów lotnych o gęstości około 0,35–0,4 g/cm<sup>3</sup> i średnim rozmiarze ziaren do 160 μm. Po usunięciu z mikrosfery zanieczyszczeń mechanicznych i chemicznych, suszeniu i segregacji metodą sitową uzyskiwano frakcje o rozmiarach: <30 μm; 50–60 μm; 60–80 μm; 80–100 μm; 100 i większych. Ciężar właściwy mikrosfery pozwala jej koncentrować się na powierzchni wody. Mikroziarna wbudowywane w powłokę to przeważnie materiał o większym od wody ciężarze właściwym. W stanie suchym są one mocowane na mikrosferze słabymi siłami adhezji, w wodzie tracą przyczepność do mikrosfery i osiadają na dnie pojemnika. Pozwala to rozdzielić mikroziarna od mikrosfery i po osuszeniu (rys. 2c) ponownie wprowadzić do operacji mocowania na podłożu (rys. 2d).

Przygotowanie mikroziaren do operacji ich mocowania na podłożu polega na adsorbowaniu ich na mikrosferze w wymaganym stosunku wagowym i nagraniu do 350–400°C. Ze złoża może (ale nie musi) być utworzone złożo fluidalne.



Rys. 2. Zamknięty cykl regulowania ilości mikroziaren mocowanych na podłożu: a) zamocowanie mikroziaren, płukanie w wodzie; b) odzysk mikroziaren; c) przygotowanie mikroziaren i mikrosfery do ponownego wykorzystania; d) zapełnienie przestrzeni międzyziarnowej stopem powłoki

Badania potwierdziły, że roztwory autokatalitycznego osadzania mogą być wykorzystywane do elektrolitycznego osadzania powłok niklowofosforowych. Podczas elektrolizy z rozpuszczalną anodą, przy gęstości prądu 0,5 A/m<sup>2</sup>, doosadzane powłoki niklu zawierają do 6–8% fosforu. Zawiesiny mikroziaren w elektrolicie mogą służyć do dalszego wytwarzania powłok kompozytowych [10, 11].

W technologii wytwarzania powłok kompozytowych modernizacji wymaga etap przygotowania powierzchni. W wyniku trawienia stalowych podłoży składniki wybranej stali (ok.15 rodzajów składników) nasycają roztwory trawiące. Są to związki jonów metali oraz cząstki strukturalne (szlam). Regeneracja takich roztworów z rozdzieleniem produktów jest nieopłacalna.

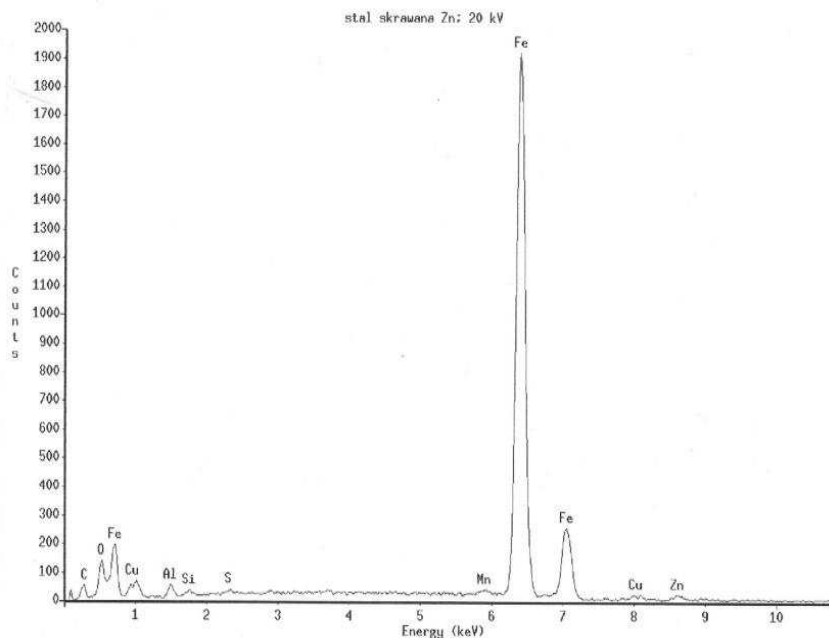
## 2. Przygotowanie powierzchni elementów stalowych przed osadzeniem powłok

W publikacjach [1, 2, 11–17] omówiono osadzanie powłok cynku podczas obróbki skrawaniem w warunkach toczenia i wiercenia.

Do osadzania powłok w procesie skrawania wykorzystano ciecz chłodzącą, będącą elektrolitem. Zastosowanie dodatkowego obwodu elektrolitycznego pozwala osadzać powłoki cynku w węźle skrawania. Proces osadzania wymuszany jest napięciem elektrycznym występującym pomiędzy obrabianym elementem

i elektrodą pomocniczą. W badanym układzie i warunkach prowadzenia procesu napięcie to mieści się w zakresie: 0,5–1,0 V.

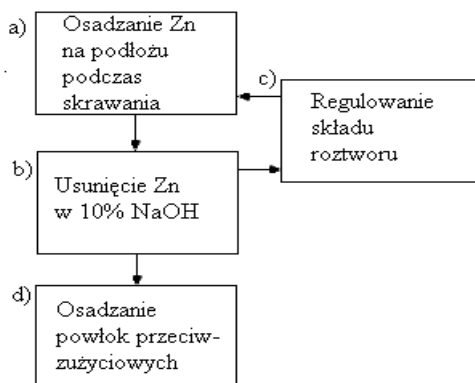
Badania rentgenograficzne, prowadzone za pomocą mikroskopu elektronowego S-2460N firmy Hitachi przy 20 kV potwierdzają obecność warstewki cynku na powierzchni stalowego podłoża (rys. 3).



Rys. 3. Widmo promieniowania rentgenowskiego powierzchni stali skrawanej z równoczesnym osadzaniem powłoki cynku (zawartość cynku w elektrolicie 200–300 g/dm<sup>3</sup>)

Osadzony na powierzchni elementów obrabianych cynk może być usunięty w roztworach zasadowych lub kwaśnych bez naruszenia podłoża – rdzenia stopów żelaza. Produktem reakcji są wodne roztwory związków cynku, których metody regeneracji są znane [9].

Przygotowanie powierzchni stalowego podłoża przed wytworzeniem powłok przeciwwżyciowych (rys. 4) polega na usunięciu warstwy cynku osadzonego w procesie kształtowania w 10% roztworze wodorotlenku sodu. Uzyskane roztwory (z zawartością jonów cynku) są korygowane pod względem stężenia jonów podstawowych i innych składników, a następnie ponownie kierowane do wykonania operacji osadzania cynku w węzłach skrawania. Taka forma usuwania cynku nie narusza mikrochropowatości podłoża stalowego.



Rys. 4. Zamknięty cykl przygotowania powierzchni podłoża przed osadzeniem powłok przeciwzużyciowych: a) osadzenie cynku podczas skrawania; b) usunięcie cynku z powierzchni ukształtowanego elementu; c) regulowanie składu chemicznego elektrolitu; d) osadzenie powłok metodami inżynierii powierzchni

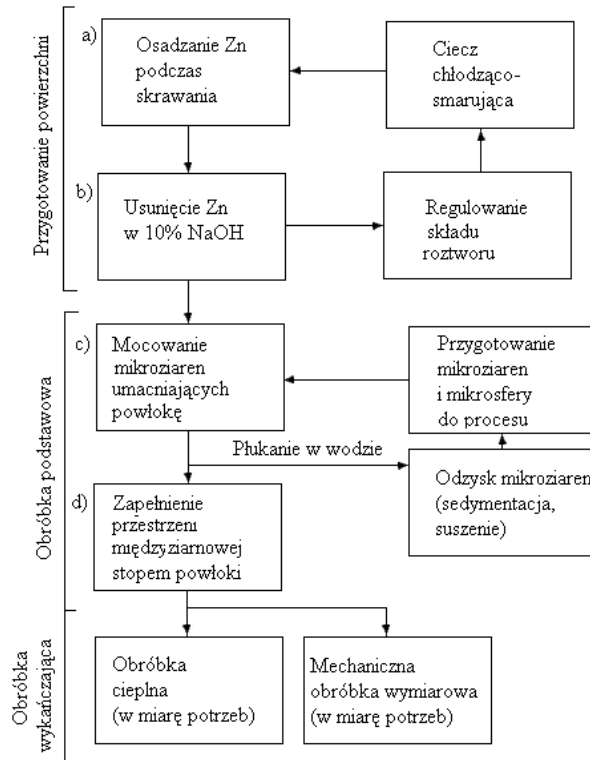
Sposób przygotowania powierzchni rdzenia poprzez osadzenie powłoki cynku i usunięcie tej warstwy eliminuje stosowanie wielu środków myjących, trawiących i smarów stosowanych w celu zabezpieczenia detali przed korozją (ochrona międzyoperacyjna).

Z cieczy chłodząco-smarujących (elektrolitów), używanych w procesie elektrochemicznego osadzania powłok podczas skrawania, można odzyskiwać jony metali, które służą do ponownego uzupełniania stężenia jonów w elektrolicie. Jest to zaletą tej technologii, ponieważ obecnie odpady pogalwaniczne są powodem zanieczyszczeń środowiska naturalnego człowieka. Problemem jest także nadmierne zużycie wody w galwanotechnice [9]. Poszukiwanie i wdrażanie nowych, ekologicznych i ekonomicznych rozwiązań technologicznych jest wyzwaniem stawianym projektantom i konstruktorom urządzeń technicznych.

### 3. Zamknięty cykl technologiczny osadzania powłok kompozytowych z regulowanym składem fazowym

Pełny, zamknięty cykl technologiczny wytwarzania powłok kompozytowych pokazano na rysunku 5. Składa się on z trzech podstawowych etapów: przygotowania powierzchni, obróbki podstawowej i wykańczającej.

Efektem końcowym każdego z etapów jest wykorzystanie produktów wyjściowych i substratów użytych podczas obróbki. Każdy z etapów pełnej technologii tworzy oddzielny, zamknięty cykl. Pozwala to zastosować pełny, zamknięty cykl technologiczny, przyjazny dla środowiska naturalnego i równocześnie zwiększyć wskaźniki jakościowe elementu z powłoką kompozytową.



Rys. 5. Zamknięty cykl technologiczny wytwarzania powłok kompozytowych z regulowanym składem fazowym

Zamknięty cykl technologiczny procesu podstawowego wytwarzania wielofunkcyjnych powłok kompozytowych pozwala na zwiększenie dokładności regulowania rozkładu i stężenia mikroziaren wbudowanych w osnowę kompozytu.

Natomiast zastosowanie zamkniętego cyklu przygotowania powierzchni na etapie kształtowania elementu (metodą elektrolityczną w czasie obróbki skrawaniem) daje wymierne efekty. Osadzanie cynku bezpośrednio podczas obróbki wiórowej powoduje obniżenie oporów skrawania, przez co zmniejsza się (o około 12%) energochłonność procesu, wydłuża się okres eksploatacji narzędzi skrawających oraz zmniejsza się współczynnik chropowatości obrabianej powierzchni, stanowiącej podłoże dla wytwarzanych powłok kompozytowych [12, 17].

Osadzanie powłok metalicznych w procesie kształtowania elementu nie wymaga standardowego przygotowania powierzchni, metoda ta nie pozostawia substancji chemicznych ani odpadów degradujących naturalny system ekologiczny.

Zamknięty cykl technologiczny powstaje poprzez połączenie dwóch niezależnych procesów technologicznych: osadzania powłok w procesie kształtowania elementu oraz wytwarzania powłok kompozytowych.

### **Wnioski**

Opracowano zamknięty cykl technologiczny, przyjazny dla środowiska naturalnego oraz zwiększający wskaźniki jakościowe elementu z wytworzoną powłoką. Zasady konstruowania zamkniętego cyklu technologicznego pokazano na przykładzie wytwarzania wielofunkcyjnych, gradientowych powłok kompozytowych.

Pełny, zamknięty cykl technologiczny powstaje poprzez połączenie dwóch niezależnych procesów technologicznych: przygotowania powierzchni poprzez osadzania powłok cynkowych w procesie kształtowania elementu oraz wytwarzania powłok kompozytowych. Każdy z etapów pełnej technologii tworzy oddzielny, zamknięty cykl wykorzystujący produkty wyjściowe i substraty użyte w obróbce.

### **Bibliografia**

1. Burakowski T., Wierzchoń W.: *Surfact engineering of metals – principle, equipment, technologies*. CRC Press, Boca Raton-London-New York-Washington. D.C., 1999.
2. Kosmynina M.: *Razrobotka tychnologii powyszenia i znosostojkosti detalej maszyn c pomoszczu kontrola i uprawlenia i strukturoj elektrochemicznym metodom*. Sankt-Petersburg. Wyd. S-PPTU, 2005.
3. Ustawa z dn.18 lipca 2001 r. oraz Dz.U.Nr 115,2001, poz. 1229.
4. Kosmynina M.: *Autokatalityczne, cienkowarstwowe powłoki metaloceramiczne*. Inżynieria Powierzchni nr 1/97, Wyd. IMP, Warszawa 1997.
5. Kosmynina M.: *Osiągnięcia w dziedzinie wytwarzania powłok kompozytowych bezprądowym lub elektrochemicznym sposobem*. Politechnika Świętokrzyska, Kielce 1994, s. 196–198.
6. Космынина М.: *Композиционные покрытия с регулируемым фазовым составом*. Физическая мезомеханика. Т. 2, ч. 2, s. 2004, с. 153–156.
7. Kosmynina M.: *Формирование композиционных покрытий химическим или электрохимическим способом*. ЖПХ. т. 70 вып. 9, 1997, стр. 1483–1486.
8. Kosmynina M., Hoffman J.: *Zużycie powłok kompozytowych w procesie tarcia*, Tribologia nr 4/95(142), s. 439–446.
9. *Poradnik galwanotechnika*. Praca zbiorowa. Wyd. WNT, Warszawa 2003.
10. Сайфулин Р.С.: *Неорганические композиционные материалы*. Химия, Москва 1983.



11. Kosmynina M.: Triboelektrolityk deposition of metallic coatings. *Materials Protection*. Vol. 32. No. 10B, Wuchan, Chiny, 1999, s. 231–234.
12. Kosmynina M.: Układ elektrolityczny zabezpieczający nóż tokarski przed zużyciem tribologicznym. *Tribologia* nr 4, 2009, s. 89–102.
13. Kosmynina M.: Wpływ warstw cynkowych na opory wiercenia. *Tribologia* nr 4, 2010, s. 157–171.
14. Kosmynina M., Chałko L.: Wytwarzanie powłok elektrolitycznych w procesie skrawania. *Inżynieria Materiałowa*, nr 5/2002, 2002, s. 368–370.
15. Patent Politechniki Radomskiej (Kosmynina M., Mirzowej R., Chałko L.) nr 345374 od 29.01.2008. Sposób zabezpieczenia przed zużyciem współpracujących ze sobą powierzchni metalowych i układ elektryczny do stosowania tego sposobu.
16. Kosmynina M.: Mechanizm przemian fazowych w układach triboelektrolitycznych. *Tribologia*, 2/2000(170), s. 177–186.
17. Kosmynina M.: Kształtowanie tribologicznych własności węzłów tarcia poprzez konstytuowanie technologicznej warstwy powierzchniowej. *Tribologia*, nr 6, 1999, s. 839–847.

Recenzent:  
**Ryszard MARCZAK**

### **Closed technological cycle of deposition of composite coatings on the elements of ferro alloys**

#### **Key words**

Ecological system, composite coatings, machining, electrolytic coating.

#### **Summary**

In this work a closed technological cycle of producing composite covers was described. The covers are nickel- phosphoric with the dispersed strengthening phase. The particles strengthening the warp are built with microlayers. Solutions consumed in the process of the automatic catalysis are used for putting nickel- phosphoric or composite coatings with an electrolytic method. Being connected with weak power of adhesion, microsphere and boron nitride in the process of fixing them on a steel base in the next operation are divided and again led into the technological circulation. Apart from constant using the products which are used in the technology of producing composite covers, the amount of particles built in the microlayer and the amount of microaspects of the coating are being regulated.

Preparing the surface of alloys of iron consists of planting zinc-plated covers at the stage of shaping the element - during the machining. Zinc that was left is removed from the ground before the basic operation and regained with an electrochemical method and at the serial production solutions are used in the zinc hydrometallurgy.

Discussed procedures allowed to create the closed technological cycle of producing thin-layered composite covers for the natural environment.

**Maciej KUCHAR, Władysław PODSIEDLIK,  
Jerzy SŁODOWY, Marek WIŚNIEWSKI**

Instytut Technologii Eksploatacji – Państwowy Instytut Badawczy,  
Politechnika Łódzka

## **METODA TWORZENIA NOWYCH BEZSPLOTOWYCH STRUKTUR TEKSTYLNYCH**

### **Słowa kluczowe**

Płaski wyrób włókienniczy, struktura bezspłotowa, rowing szklany, powłoka PCV, osnowa, wątek, konsolidowanie termiczne, stanowisko badawcze

### **Streszczenie**

Przedstawiono realizację idei nowego systemu wytwarzania płaskich bezspłotowych wyrobów włókienniczych przy ciągłym ruchu organów wykonawczych urządzenia wytwórczego – bez tworzenia przesmyku. Brak splotu wyrobu tekstylnego uzyskano przez zaplatanie nitki wątkowej (rowingu szklanego z powłoką PCV) na wynoszonych lokalnie kołkach na obwodzie bębna pobierającego z ramy natykowej nitki osnowowe (takie same jak nitka wątkowa) i dociskanie nimi przez opasanie wątku do powierzchni bębna. Przewidziano konsolidację termiczną wyrobu płaskiego w postaci siatki budowlanej.

Dla uzyskania postępu zaplatania rowingu wątkowego zaplanowano wysuwanie po jednej stronie bębna pojedynczego kołka, a po drugiej – dwóch jednocześnie. Jako mechanizm wodzący wątek przewidziano przekładnię ciągnową o stałej prędkości obwodowej z wodzikiem przymocowanym do cięgna.

Wykonano projekt stanowiska badawczego do tworzenia bezspłotowych wyrobów płaskich składającego się z posadowionych na ramie następujących zespołów:

- bębna z układem napędowym,
- zespołu wodzenia nitki wątkowej,
- zespołu odbioru wyrobu,
- dwóch kulowych popychaczy obrotowych.

Kulowe popychacze obrotowe realizują ruchy wynoszenia kołków, a napęd otrzymują od bębna – poprzez zazębianie kulek z wgłębieniami w czołach wysuwanych kołków. Zgłoszenie patentowe tego wynalazku (nr P.394865) zostało zarejestrowane w Urzędzie Patentowym RP. Wykonano część mechaniczną stanowiska badawczego oraz zbudowano na bazie sterowników PLC i falowników prądowych układy sterowania.

Badania wytwarzania tekstylnych wyrobów bezspłotowych przeprowadzono wg planu ujmującego 2 rodzaje rowingu w osłonie PCV, prędkość obwodową bębna do 1,5 m/min, napięcie nitek do 80 N i temperatury podczas procesu zgrzewania do 600°C. Określono optymalne dla stanowiska badawczego parametry procesu wytwórczego.

Uzyskany płaski bezspłotowy wyrób włókienniczy poddano ocenie geometrycznej (regularności podziałki siatki) i wytrzymałościowej. Stwierdzono pozytywne własności wytworzonego wyrobu bezspłotowego, wysoką wytrzymałość na rozrywanie i bardzo mały rozrzut wyników, co świadczy o dobrej powtarzalności procesu technologicznego.

## Wprowadzenie

Idea bezspłotowego tworzenia płaskich struktur włókienniczych w ruchu ciągłym jest całkowicie nowa w skali światowej. Istnieją powstałe w ostatnich latach nowe metody wytwarzania tekstylnych wyrobów płaskich przy ruchu ciągłym organów wykonawczych maszyny, za pomocą krosna rotacyjnego [1, 2] czy płaszczkowego [3, 4]. Dotyczą one jednak nowego sposobu produkcji konwencjonalnego wyrobu tekstylnego – tkaniny ze strukturą spłotową. Nowością w tym projekcie jest bezspłotowe generowanie płaskiego wyrobu włókienniczego.

W badaniach wstępnych [5, 6] rozpoznano możliwość konsolidacji dwóch prostopadłych układów nitek metodą udaru termicznego i zbadano wytrzymałość na rozciąganie i wypychanie tak powstałej siatki. Wyniki były obiecujące. Były to jednak siatki wykonane statycznie na stelażu, a w niniejszym projekcie należało poddać ocenie siatkę wykonywaną na modelu funkcjonalnym urządzenia w trakcie jego ciągłej pracy.

Założono, iż możliwe jest wytworzenie bezspłotowego płaskiego wyrobu włókienniczego realizowane przy ruchu ciągłym organów wykonawczych maszyny produkcyjnej dla dających się zgrzewać filamentów szklanych z powłoką z tworzywa termoplastycznego. Celem pracy było eksperymentalne wykazanie możliwości produkowania bezspłotowych struktur tekstylnych wykazujących