

(19)



URZĄD  
PATENTOWY  
RZECZYPOSPOLITEJ  
POLSKIEJ

(10) **PL 244315 B1**

(12)

## Opis patentowy

(21) Numer zgłoszenia: **438667**

(22) Data zgłoszenia: **2021.08.02**

(43) Data publikacji o zgłoszeniu: **2023.02.06 BUP 06/2023**

(45) Data publikacji o udzieleniu patentu: **2024.01.08 WUP 02/2024**

(51) MKP:

**B29C 64/106** (2017.01)

**B33Y 10/00** (2015.01)

**B29C 67/00** (2017.01)

- (73) Uprawniony z patentu:  
**POLITECHNIKA RZESZOWSKA IM. IGNACEGO  
ŁUKASIEWICZA, Rzeszów, PL**
- (72) Twórca(-y) wynalazku:  
**GRZEGORZ BUDZIK, Rzeszów, PL  
ŁUKASZ PRZESZŁOWSKI, Dąbrówki, PL  
MARIUSZ DĘBSKI, Lipa, PL**
- (74) Pełnomocnik:  
**rzecz. pat. Ilona Szuba, Rzeszów, PL**

(54) Tytuł:

**Sposób wytwarzania trójwymiarowych przedmiotów o zwiększonej wytrzymałości**

**PL 244315 B1**

## Opis wynalazku

Przedmiotem wynalazku jest sposób wytwarzania trójwymiarowych przedmiotów o zwiększonej wytrzymałości.

Z opisu patentowego PL231574B1 znany jest sposób wytwarzania inteligentnych struktur kompozytowych metodą druku 3D, w którym uprzednio wygenerowany komputerowo program zawierający dane potrzebne do ruchu głowicy wprowadza się do drukarki 3D, która poprzez głowicę z osobnych dysz podaje najpierw materiał osnowy a następnie wytrenowane w tej głowicy, w temperaturze od 300 do 600°C włókno SMA w postaci ścieżek podanych przez program, gdzie następnie podawana jest kolejna warstwa osnowy przykrywającej poprzednią warstwę włókien SMA.

W opisie zgłoszeniowym wynalazku PL426178A1 został ujawniony sposób i urządzenie do otrzymywania wielowarstwowych obiektów o zdefiniowanym kształcie i własnościach powstały jako połączenie technologii elektrospiningu i technologii druku 3D. Ten znany sposób otrzymywania wielowarstwowych obiektów o zdefiniowanym kształcie i własnościach prowadzi się tak, że roztwór polimerowy lub kompozytowy nanosi się w procesie elektrospiningu z wykorzystaniem pola elektrostatycznego w celu otrzymania mikro i nanowłókien na kolektor cylindryczny lub płaski tworząc warstwę o określonej grubości i własnościach. Na tę warstwę, za pomocą osobnej głowicy ekstrudera, nanosi się materiał polimerowy lub kompozytowy, który przekształcony w ciecz o określonej lepkości jest następnie wytłaczany w obiekt o określonej geometrycznie/przestrzennie konstrukcji szkieletowej.

Z opisu zgłoszeniowego wynalazku PL427340A1 znane jest zastosowanie cieczy zagęszczanych ścinaniem (STF) w technologii druku 3D polegającej na ekstruzji materiału przez dyszę. Celem takiego działania jest wymuszenie szczególnego rozmieszczenia cieczy w objętości struktury wykonanej w tym samym procesie technologicznym poprzez ekstruzję materiału termoplastycznego stanowiącej rusztowanie dla cieczy zagęszczanej ścinaniem. Wymuszenie takiego rozmieszczenia cieczy możliwe jest jedynie poprzez ekstruzję, która pozwala na uzyskanie maksymalnego wypełnienia przestrzeni struktury porów otwartych lub zamkniętych będącej częścią wewnętrzną układu o podwyższonej zdolności pochłaniania energii.

Z opisu zgłoszeniowego wynalazku CN108164736A znany jest sposób wytwarzania wysoko-wytrzymałej trójwymiarowej wydrążonej hydrożelowej bryły, który obejmuje następujące etapy: zaprojektowanie odpowiedniego modelu elementu bryłowego zgodnie z charakterystycznymi wymaganiami hydrożelowej bryły konstrukcyjnej, mieszanie katalizatora metalicznego z termoplastycznym polimerem lub światłoutwardzalnym materiałem żywicy, drukowanie trójwymiarowego polimerowego korpusu strukturalnego zawierającego katalizator metalowy za pomocą drukarki 3D, moczenie polimerowej kształtki strukturalnej w roztworze monomeru hydrożelowego, przeprowadzenie polimeryzacji inicjowanej powierzchniowo i umożliwienie na powierzchni polimerowej kształtki strukturalnej wyrastania in situ warstewki hydrożelu o regulowanej grubości, nasączenie polimerowego korpusu strukturalnego warstwą żeli w roztworze jonów i przeprowadzenie wzmocnienia wytrzymałości sieci oraz usunięcie polimerowej kształtki strukturalnej tak, aby móc otrzymać trójwymiarową wydrążoną hydrożelową kształtkę strukturalną o wysokiej wytrzymałości, podobną do modelu projektowego. Poprzez modelowanie za pomocą oprogramowania komputerowego i w oparciu o platformę techniczną do druku 3D o wysokiej precyzji, można przygotować trójwymiarowy, pusty w środku hydrożelowy materiał konstrukcyjny korpusu o dowolnym kształcie i rozmiarze.

Znanym ze stosowania sposobem wytwarzania przyrostowego, stosowanym do wytwarzania części maszyn lub prototypów, jest metoda ekstruzji warstwowej, która polega na przetłaczaniu termoplastycznego polimeru przez dyszę, który to polimer w postaci uplastycznionej jest nakładany warstwowo na platformę roboczą i model. Ten znany sposób umożliwia otrzymywanie skomplikowanych elementów niemożliwych lub nieekonomicznych do wytworzenia innymi metodami. Ograniczeniami jednak techniki druku 3D jest zmiana wytrzymałości wytwarzanych elementów w stosunku do orientacji modeli w komorze roboczej urządzenia. Wytrzymałość elementów obniża się w kierunkach obciążeń zbliżonych do kierunku budowanego modelu, przeważnie osi Z. W związku z tym należy dążyć do tego, aby obciążenia przebiegały równoległe do kierunku występowania najdłuższych włókien konturu, a jednocześnie nie były równoległe do kierunku wytwarzania. Dokładność wymiarowa natomiast, szczególnie w przypadku elementów obrotowych, jest najwyższa w kierunku budowanego modelu – osi Z. Większa dokładność w kierunku pionowym wynika również z braku konieczności stosowania struktur podporowych. W przypadku wytwarzania brył obrotowych

w płaszczyźnie poziomej w miejscu w którym generowane podpory stykają się z geometrią części dochodzi do zniekształcenia modelu, a tym samym obniżenia dokładności wymiarowej.

Celem wynalazku jest opracowanie nowego sposobu wytwarzania trójwymiarowych przedmiotów o zwiększonej wytrzymałości, który pozwoli na zachowanie dokładności wymiarowej przy wytrzymałości we wszystkich osiach, większej albo porównywalnej z wytrzymałością modeli wytwarzanych przyrostowo wyłącznie metodą ekstruzji warstwowej.

Sposób wytwarzania trójwymiarowych przedmiotów o zwiększonej wytrzymałości, według wynalazku charakteryzuje się tym, że w pierwszym etapie, sposobem ekstruzji warstwowej z polimeru termoplastycznego, wytwarza się cienkościenny element mający kształt wytwarzanego przedmiotu, następnie w drugim etapie pomiędzy ścianami tego cienkościennego elementu, pod obniżonym ciśnieniem, umieszcza się wypełnienie w postaci polimeru chemoutwardzalnego, po czym w trzecim etapie ten cienkościenny element z wypełnieniem wygrzewa się do czasu zakończenia sieciowania polimeru.

Korzystnie cienkościenny element sposobem ekstruzji warstwowej wytwarza się z poli(akrylonitrylu-co-butadienu-co-styrenu) – ABS albo z polilaktydu – PLA albo z poli(tereftalanu etylenu) – PET albo z polieteroeteroketonu – PEEK.

Dalsze korzyści uzyskiwane są, jeżeli w drugim etapie jako polimer chemoutwardzalny stosuje się żywicę chemoutwardzalną, korzystnie jako żywicę chemoutwardzalną stosuje się żywicę epoksydową albo w drugim etapie jako polimer chemoutwardzalny stosuje się materiał kompozytowy, a ponadto w drugim etapie polimer chemoutwardzalny stosuje się ze wzmocnieniem, przy czym jako wzmocnienie w polimerze chemoutwardzalnym stosuje się włókno szklane albo włókno węglowe.

Następne korzyści uzyskuje się, jeśli w pierwszym etapie, wewnątrz cienkościennego elementu umieszcza się żebra, przy czym w drugim etapie polimer chemoutwardzalny umieszcza się pomiędzy ścianami zewnętrznymi cienkościennego elementu albo w drugim etapie polimer chemoutwardzalny umieszcza się pomiędzy ścianą zewnętrzną a ścianą wewnętrzną cienkościennego elementu.

Zaletą nowego sposobu wytwarzania trójwymiarowych przedmiotów o zwiększonej wytrzymałości jest wytworzenie trójwymiarowych obiektów o zwiększonej wytrzymałości, szczególnie w kierunku osi budowanego warstwowo modelu – osi Z. Dzięki zastosowaniu tego nowego sposobu możliwe jest łączenie hybrydowe polimerowych materiałów termoplastycznych wykorzystywanych w sposobie ekstruzji warstwowej z polimerami chemoutwardzalnymi odlewany pod zmniejszonym ciśnieniem. Zastosowanie tego nowego sposobu umożliwia wytwarzanie elementów o różnych kształtach bez konieczności przygotowywania formy odlewniczej stosowanej w technologii odlewania pod zmniejszonym ciśnieniem. Pozwala on również na minimalizację czasu wytwarzania modeli. Podczas wygrzewania cienkościennego elementu, podczas sieciowania polimeru chemoutwardzalnego, dochodzi do zmiany struktury polimeru ze struktury amorficznej – chaotycznej na strukturę semikrystaliczną – częściowo uporządkowaną. Sposób według wynalazku umożliwia również wypełnienie polimerem chemoutwardzalnym cienkościennych elementów nie mających struktury brył obrotowych wytwarzanych przyrostowo w płaszczyźnie poziomej, zaś umieszczenie w ich wnętrzu żeber pozwala na uzyskanie górnej powłoki zewnętrznej wytwarzanego modelu przy zachowaniu dokładności wymiarowej.

Przedmiot wynalazku jest bliżej wyjaśniony w przykładach wykonania na rysunku, na którym fig. 1 przedstawia wał z wielowypustem równoległym w widoku aksonometrycznym, fig. 2 – ten sam wał w przekroju wzdłużnym, fig. 3 – sprzęgło zębate w przekroju wzdłużnym, fig. 4 – to samo sprzęgło w przekroju poprzecznym w rzucie prostokątnym, natomiast fig. 5 – kształtkę do rozciągania z żebrami w przekroju wzdłużnym.

Sposób wytwarzania trójwymiarowych przedmiotów o zwiększonej wytrzymałości, według wynalazku, w pierwszym przykładzie realizacji, prowadzi się tak, że wytwarza się wał z wielowypustem równoległym pokazany na fig. 1 i fig. 2. W pierwszym etapie, sposobem ekstruzji warstwowej z polimeru termoplastycznego, którym jest poli(akrylonitryl-co-butadien-co-styren) – ABS wytwarza się cienkościenny element 1 mający kształt wytwarzanego wału z wielowypustem równoległym. W drugim etapie, wewnątrz tego elementu 1, pomiędzy jego ścianami zewnętrznymi 2, pod zmniejszonym ciśnieniem, umieszcza się wypełnienie 3 w postaci polimeru chemoutwardzalnego, będącego żywicą epoksydową. Następnie w trzecim etapie, element 1 z wypełnieniem 3 wygrzewa się w celu

usieciowienia polimeru chemoutwardzalnego, prowadząc do zmiany struktury amorficznej na semikrystaliczną polimeru termoplastycznego.

Sposób wytwarzania trójwymiarowych przedmiotów o zwiększonej wytrzymałości, według wynalazku, w drugim przykładzie realizacji, prowadzi się tak, że wytwarza się sprzęgło zębate pokazane na fig. 3 i fig. 4. W pierwszym etapie, sposobem ekstruzji warstwowej z polimeru termoplastycznego, którym jest polilaktyd – PLA wytwarza się cienkościenny element 1 mający kształt wytwarzanego sprzęgła, który posiada ścianę zewnętrzną 2 i ścianę wewnętrzną 4. W drugim etapie, wewnątrz tego elementu 1, pomiędzy jego ścianą zewnętrzną 2 i ścianą wewnętrzną 4, pod zmniejszonym ciśnieniem, umieszcza się wypełnienie 3 w postaci polimeru chemoutwardzalnego, będącego żywicą epoksydową, która zawiera wzmocnienie w postaci włókna szklanego. Następnie w trzecim etapie, element 1 z wypełnieniem 3 wygrzewa się w celu usieciowienia polimeru chemoutwardzalnego, prowadząc do zmiany struktury amorficznej na semikrystaliczną polimeru termoplastycznego.

Sposób wytwarzania trójwymiarowych przedmiotów o zwiększonej wytrzymałości, według wynalazku, w trzecim przykładzie realizacji, prowadzi się tak, że wytwarza się kształtkę do rozciągania z żebrami 5 pokazaną na fig. 5. W pierwszym etapie, sposobem ekstruzji warstwowej z polimeru termoplastycznego, którym jest poli(tereftalan etylenu) – PET wytwarza się cienkościenny element 1 mający kształt wytwarzanej kształtki, która posiada ścianę zewnętrzną 2 i ścianę wewnętrzną 4. W drugim etapie, wewnątrz tego elementu 1, pomiędzy jego ścianą zewnętrzną 2 i ścianą wewnętrzną 4, pod zmniejszonym ciśnieniem, umieszcza się wypełnienie 3 w postaci polimeru chemoutwardzalnego, będącego żywicą epoksydową, która zawiera wzmocnienie w postaci włókna węglowego. Wewnątrz cienkościennego elementu 1, pomiędzy tym elementem 1 a wypełnieniem 3 umieszcza się żebra 5. Następnie w trzecim etapie, element 1 z wypełnieniem 3 wygrzewa się w celu usieciowienia polimeru chemoutwardzalnego, prowadząc do zmiany struktury amorficznej na semikrystaliczną polimeru termoplastycznego.

Sposób wytwarzania trójwymiarowych przedmiotów o zwiększonej wytrzymałości, według wynalazku, w czwartym przykładzie, realizacji, taki jak w przykładzie pierwszym, z tym, że jako polimer termoplastyczny do wytworzenia elementu 1 stosuje się polieteroeteroketon – PEEK, zaś jako wypełnienie 3 stosuje się materiał kompozytowy.

### Zastrzeżenia patentowe

1. Sposób wytwarzania trójwymiarowych przedmiotów o zwiększonej wytrzymałości, **znamienny tym**, że w pierwszym etapie, sposobem ekstruzji warstwowej z polimeru termoplastycznego, wytwarza się cienkościenny element (1) mający kształt wytwarzanego przedmiotu, następnie w drugim etapie pomiędzy ścianami tego cienkościennego elementu (1), pod obniżonym ciśnieniem, umieszcza się wypełnienie (3) w postaci polimeru chemoutwardzalnego, po czym w trzecim etapie ten cienkościenny element (1) z wypełnieniem (3) wygrzewa się do czasu zakończenia sieciowania polimeru.
2. Sposób według zastrz. 1, **znamienny tym**, że cienkościenny element (1), sposobem ekstruzji warstwowej, wytwarza się z poli(akrylonitrylu-co-butadienu-co-styrenu) – ABS.
3. Sposób według zastrz. 1, **znamienny tym**, że cienkościenny element (1) sposobem ekstruzji warstwowej wytwarza się z polilaktydu – PLA.
4. Sposób według zastrz. 1, **znamienny tym**, że cienkościenny element (1) sposobem ekstruzji warstwowej wytwarza się z poli(tereftalanu etylenu) – PET.
5. Sposób według zastrz. 1, **znamienny tym**, że cienkościenny element (1) sposobem ekstruzji warstwowej wytwarza się z polieteroeteroketonu – PEEK.
6. Sposób według jednego z zastrz. od 1 do 5, **znamienny tym**, że w drugim etapie jako polimer chemoutwardzalny stosuje się żywicę chemoutwardzalną.
7. Sposób według zastrz. 6, **znamienny tym**, że jako żywicę chemoutwardzalną stosuje się żywicę epoksydową.
8. Sposób według jednego z zastrz. od 1 do 5, **znamienny tym**, że w drugim etapie jako polimer chemoutwardzalny stosuje się materiał kompozytowy.
9. Sposób według jednego z zastrz. od 1 do 8, **znamienny tym**, że w drugim etapie polimer chemoutwardzalny stosuje się ze wzmocnieniem.

10. Sposób według zastrz. 9, **znamienny tym**, że jako wzmocnienie w polimerze chemoutwardzalnym stosuje się włókno szklane.
11. Sposób według zastrz. 9, **znamienny tym**, że jako wzmocnienie w polimerze chemoutwardzalnym stosuje się włókno węglowe.
12. Sposób według jednego z zastrz. od 1 do 11, **znamiennie tym**, że w pierwszym etapie, wewnątrz cienkościennego elementu (1) umieszcza się żebra.
13. Sposób według jednego z zastrz. od 1 do 12, **znamienny tym**, że w drugim etapie polimer chemoutwardzalny umieszcza się pomiędzy ścianami zewnętrznymi (2) cienkościennego elementu (1).
14. Sposób według jednego z zastrz. od 1 do 12, **znamienny tym**, że w drugim etapie polimer chemoutwardzalny umieszcza się pomiędzy ścianą zewnętrzną (2) a ścianą wewnętrzną (4) cienkościennego elementu (1).

## Rysunki

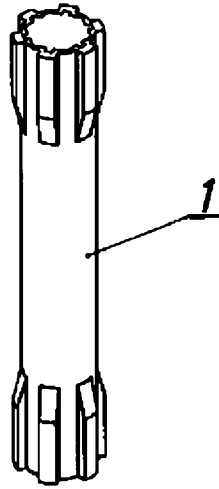


Fig. 1

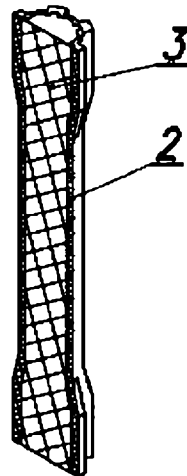
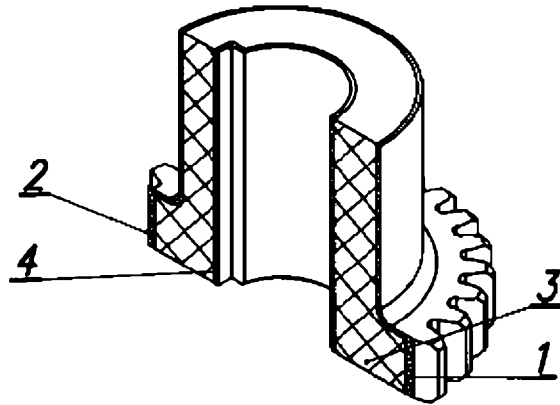
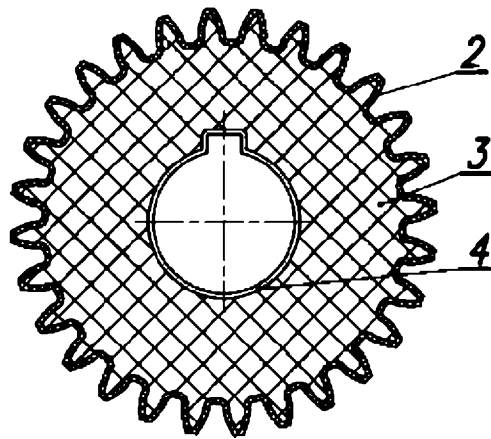


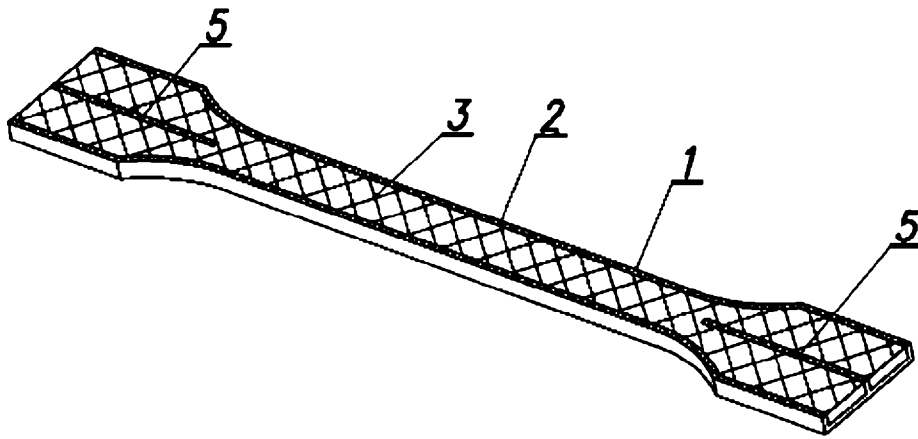
Fig. 2



*Fig. 3*



*Fig. 4*



*Fig. 5*