

Paweł MAĆKOWIAK, Bogdan LIGAJ

**ROZWIĄZANIE KONSTRUKCYJNE MASZyny
DO WYTWARZANIA ODLEWANYCH PRÓBEK
TWORZYW ADHEZYJNYCH**

Streszczenie: Do przeprowadzenia obliczeń analitycznych, jak i numerycznych połączeń adhezyjnych niezbędna jest znajomość właściwości mechanicznych zastosowanego tworzywa adhezyjnego. Wyznaczenie wykresu naprężenie – odkształcenie dostarcza informacji o module Younga, doraźnej wytrzymałości, granicy plastyczności, maksymalnym odkształceniu, a także danych do przeprowadzenia analiz dla zakresu odkształceń plastycznych. Odlewanie próbek do badań wymaga zastosowania specjalnych metod ze względu na dużą adhezję odlewanego materiału, egzotermiczny charakter procesu sieciowania i konieczność uzyskania powtarzalnych produktów niezawierających wad. Celem pracy jest przedstawienie konstrukcji nowej maszyny, która łączy zalety dwóch sposobów uzyskiwania próbek z tworzyw adhezyjnych.

Słowa kluczowe: tworzywa adhezyjne, testowanie właściwości mechanicznych, maszyna do odlewania próbek, wirówka

1. WSTĘP

Połączenia klejone są powszechnie stosowane w konstrukcjach maszyn i urządzeń. Metody obliczeniowe stosowane przez konstruktorów, celem określenia wytrzymałości i trwałości, wymagają znajomości właściwości mechanicznych tworzyw adhezyjnych [1, 6]. Ze względu na wysoką adhezję, często bardzo szybki egzotermiczny proces sieciowania tych tworzyw, wykonanie próbek do badań, wymaga zastosowania specjalnych urządzeń [2, 3]. Badania właściwości mechanicznych tworzyw adhezyjnych można dokonywać na próbkach odlewanych i na próbkach z cienką warstwą spoiny imitującej rzeczywiste połączenie [4, 5]. Metody i różnice badań wyznaczania krzywych naprężenie – odkształcenie na obu rodzajach próbek podano w [7].

Istnieje wiele sposobów uzyskiwania odlewów z tworzyw adhezyjnych. W każdej metodzie występuje forma, najczęściej wykonana z materiału, który nie łączy się z odlewającym tworzywem [5]. Wśród materiałów na formy wielorazowe dominuje teflon i silikon. Formy jednorazowe mogą być wykonane z polietylenu, wosku lub innych tworzyw, które łatwo usunąć, stosując obróbkę

mgr inż. Paweł MAĆKOWIAK, Uniwersytet Technologiczno-Przyrodniczy,
Wydział Inżynierii Mechanicznej, Al. prof. S. Kaliskiego 7, 85-796 Bydgoszcz,
e-mail: pawel.mackowiak@utp.edu.pl

dr hab. inż. Bogdan LIGAJ, prof. nadzw. UTP, Uniwersytet Technologiczno-Przyrodniczy,
Wydział Inżynierii Mechanicznej, Al. prof. S. Kaliskiego 7, 85-796 Bydgoszcz,
e-mail: bogdan.ligaj@utp.edu.pl

mechaniczną. Formy metalowe i tworzywowe, celem oddzielenia od nich odlewów, pokrywa się rozdzielaczami, zawierającymi alkohol poliwinylowy, woski lub rozdrobnione silikony. Rozdzielacz nanosi się na powierzchnię gniazda formującego formy sprayem bądź pędzlem. Maszyny i urządzenia do odlewania próbek można podzielić na takie w których:

- a) tworzywo adhezyjne jest odlewane grawitacyjnie do otwartej formy, bez wywierania dodatkowego docisku [4],
- b) tworzywo adhezyjne jest odlewane do formy zamkniętej, gdzie wywierana jest dodatkowa siła docisku [2, 3],
- c) tworzywo adhezyjne jest odlewane rotacyjnie w zamkniętej wirującej formie, a na materiał odlewany oddziałuje siła odśrodkowa powodująca powstanie w nim ciśnienia [2].

Tworzywo adhezyjne w połączeniu klejonym utwardza się podczas docisku dwóch łączonych elementów. W literaturze i wskazaniach producentów zalecana wartość docisku wynosi 2 MPa [8]. Takie warunki utwardzania odzwierciedla druga grupa wymienionych wyżej maszyn i urządzeń.

Podczas odlewania istnieje problem dokładnego wypełnienia formy i odprowadzenia z niej powietrza. Niektóre tworzywa adhezyjne cechują się większą lepkością w stanie przed utwardzeniem, przyjmując konsystencję plastycznej masy. Wydzielająca się duża ilość ciepła oraz zbędne produkty w egzotermicznym procesie sieciowania mogą powodować powstawanie w odlewie pęcherzy gazowych. Ponadto, w odlewanej próbce znajduje się większa objętość tworzywa adhezyjnego niż w próbkach imitujących rzeczywiste połączenia klejone, co przyczynia się do większej ilości wytworzonego ciepła i trudniejszego jego odprowadzenia. Sprawia to, że zasadnym staje się stosowanie maszyn z trzeciej wymienionej wyżej grupy, wykorzystujących siłę odśrodkową do równomiernego rozprowadzenia i odpowietrzenia odlewanych materiałów.

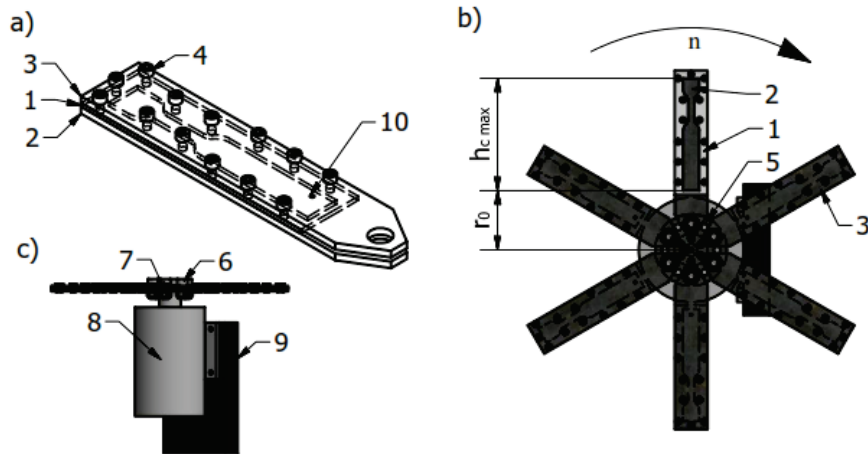
Celem pracy jest przedstawienie konstrukcji nowego urządzenia do wytwarzania odlewanych próbek tworzyw adhezyjnych, łączącego zalety maszyn z grupy drugiej i trzeciej.

2. ISTNIEJĄCE ROZWIĄZANIE KONSTRUKCYJNE

2.1. Budowa maszyny

Rozwiązanie konstrukcyjne wirówki do wykonywania odlewanych próbek typu wioselko z tworzyw adhezyjnych zostało przedstawione w książce da Silva *Testing Adhesive Joints* [2]. Na rysunku 1 zaprezentowano urządzenie zaprojektowane na wzór istniejącego rozwiązania konstrukcyjnego. Formę (1) z wyciętym kształtem odlewanej próbki typu wioselko, umieszczono pomiędzy podstawą formy (2) a zamknięciem formy (3). Kształt wyciętej próbki w formie (1) ma dłuższą część chwytową celem zmagazynowania większej ilości tworzywa adhezyjnego. Szczelne przyleganie formy (1) do podstawy (2) i zamknięcia (3) jest realizowane poprzez śruby (4), wkręcane w gwintowane otwory w podstawie (2).

Tak złożone zespoły formy mocowano do tarczy z piastą (5) (rys. 1b), za pośrednictwem śrub (6) (rys. 1c) i nakrętek samohamownych (7). Tarczę z piastą (5) zamontowano na wale silnika (8). Całość zawieszono na podstawie (9).



Rys. 1. Budowa rozwiązania konstrukcyjnego maszyny do odlewania próbek opartego na schematach istniejących rozwiązań: a – podzespół formy, b – widok od góry, c – widok od boku
Fig. 1. The construction of device for casting specimens, based on the patterns of the existing solutions: a – subassembly of form, b – a top view, c – a side view

2.2. Zasada działania maszyny

Do otwartej od góry formy (1), położonej na podstawie (2), wprowadza się maksymalną ilość tworzywa adhezyjnego. Następnie dokręca się zamknięcie formy (3) śrubami (4). Podzespoły montuje się do tarczy z piastą (5). Całość jest napędzana silnikiem (8) do prędkości obrotowej n . W wyniku wirowania na makrocząstki tworzywa adhezyjnego oddziałuje siła odśrodkowa, która powoduje, że warstwy leżące zewnątrz są dociskane z ciśnieniem p_{hi} przez warstwy leżące bliżej osi obrotu.

Ciśnienie hydrostatyczne p_{hi} powstające w odlewanym materiale jest zależne od wysokości słupa cieczy h_c nad rozpatrywanym przekrojem, przyspieszenia odśrodkowego a_{od} oraz gęstości cieczy ρ_c :

$$p_{hi} = h_c \cdot a_{od} \cdot \rho_c \quad (1)$$

Wartość gęstości cieczy ρ_c jest znana dla danego materiału. Wysokość słupa cieczy nad rozpatrywanym przekrojem h_c wynika bezpośrednio z długości formy i położenia rozpatrywanego przekroju. Wartość przyspieszenia odśrodkowego a_{od} zmienia się wraz z odległością od osi obrotu r_i i określa ją zależność:

$$a_{od} = \frac{v^2}{r_i} \quad (2)$$

gdzie: v – prędkość liniowa,
 r_i – odległość od osi obrotu.

Z racji, że prędkość kątowna ϖ określona jest wzorem:

$$\varpi = \frac{v}{r_i} \quad (3)$$

Podstawiając powyższe równanie do równania (2), otrzymujemy:

$$a_{od} = \omega^2 r_i \quad (4)$$

Pomiędzy prędkością kątowną a prędkością obrotową n wyrażoną w obr/min występuje zależność:

$$\varpi = \frac{2\pi n}{60} \quad (5)$$

Podstawiając powyższe równanie do równania (4), otrzymujemy:

$$a_{od} = \left(\frac{2\pi n}{60}\right)^2 \cdot r_i \quad (6)$$

Przyjmując układ współrzędnych, którego początek mieści się w osi obrotu, można przyjąć początek odlewu na odległości r_0 . Wysokość słupa cieczy h_c będzie określona więc wzorem:

$$h_c = r_i - r_0 \quad (7)$$

Podstawiając powyższe równanie do równania (1), otrzymujemy:

$$p_{hi} = (r_i - r_0) \cdot \left(\frac{2\pi n}{60}\right)^2 \cdot r_i \cdot \rho_c \quad (8)$$

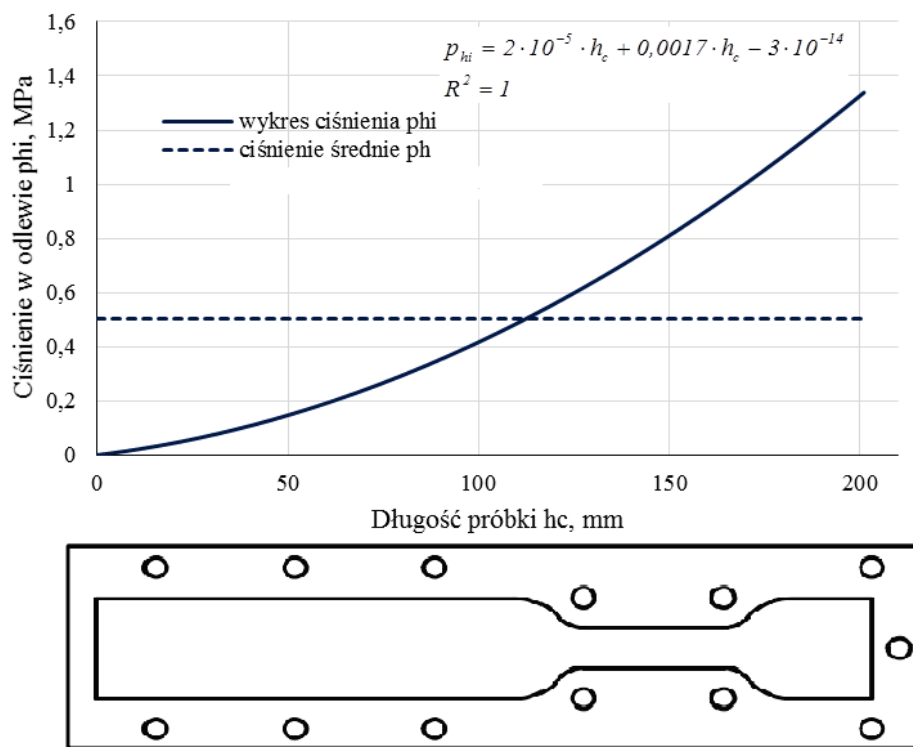
2.3. Wyznaczenie rozkładu ciśnienia w odlewanej próbce

W celu wyznaczenia rozkładu ciśnienia w odlewany materiał przyjęto wartości zaprezentowane w tabeli 1 i dokonano obliczeń zgodnie ze wzorem (8).

Tabela 1. Dane do obliczeń rozkładu ciśnienia w odlewany materiał – P1
Table 1. Data for calculating the pressure distribution in the cast material – P1

Wielkość	Oznaczenie	Wartość
odległość początku odlewu od osi obrotu	r_0	0,069 m
odległość końca odlewu od osi obrotu	r_{max}	0,201 m
prędkość obrotowa urządzenia	n	1500 obr/min
gęstość materiału adhezyjnego	ρ_c	1000 kg/m ³

Dokonano interpolacji długości formy. Punkty pomiarowe przyjęto oddalone od siebie o 0,1 mm. Wyliczony rozkład ciśnienia wraz z wyznaczonym wzorem równania przedstawiono na wykresie (rys. 2). Wartość ciśnienia rośnie od 0 MPa do 1,32 MPa. W samej części pomiarowej, odlewanej próbki ciśnienie zmienia swoją wartość od 0,5 do 1 MPa.



Rys. 2. Teoretyczny rozkład ciśnienia w odlewanym materiale w istniejącym rozwiązaniu konstrukcyjnym

Fig. 2. The theoretical pressure distribution in the cast material in the existing structural solution

2.4. Wnioski dotyczące istniejącego rozwiązania konstrukcyjnego

W istniejącym rozwiązaniu konstrukcyjnym uzyskuje się nierównomierny rozkład ciśnienia, imitujący docisk elementów sklepanych w rzeczywistym połączeniu klejonym. Stwarza to inne warunki utwardzania się tworzywa w różnych fragmentach formy, co może wpłynąć na wyniki późniejszych doświadczeń.

Aplikacja materiału odlewanego do formy, jej zamknięcie, zmontowanie oraz rozpędzenie części wirujących zajmują znaczną ilość czasu. W przypadku tworzyw adhezyjnych o długim czasie sieciowania, istnieje zagrożenie wystąpienia różnic w odlanych za jednym razem próbkach. Wynika to z różnicy czasów pomiędzy odlaniem materiału w kolejnych formach a rozpędzeniem ich do prędkości obrotowej n . W przypadku tworzyw szybkowiązających, nawet poniżej 3 minut, problem ten staje się znaczący. Ponadto, istnieje dość duże prawdopodobieństwo, wystąpienia trudności w rozpędzeniu maszyny do zadanej prędkości obrotowej przed utwardzeniem się odlewanego materiału.

3. WŁASNE ROZWIĄZANIE KONSTRUKCYJNE

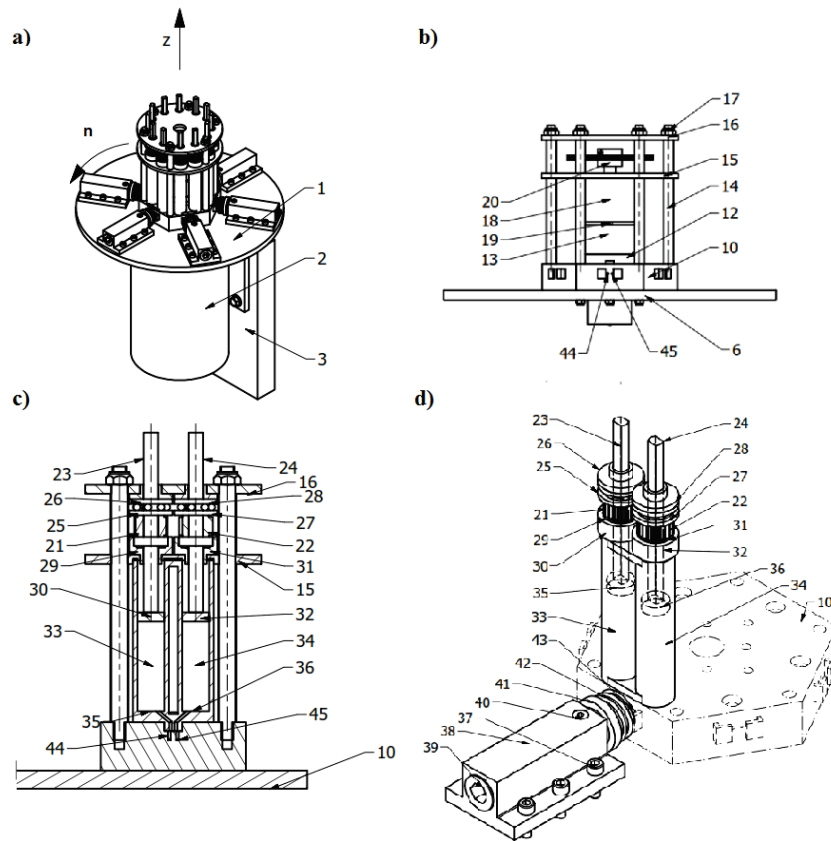
Własne rozwiązanie konstrukcyjne jest próbą wyjścia naprzeciw problemom omówionym we wnioskach w podrozdziale 2.4. W celu odlewania tworzyw adhezyjnych o krótkim czasie sieciowania, postanowiono umieścić w części wirującej osobne zbiorniki z dwoma składnikami, których zmieszanie następuje już w trakcie osiągnięcia wymaganej prędkości obrotowej. Po to, aby wyrównać rozkład ciśnienia w odlewany materiał, przyjęto możliwość zmniejszenia prędkości obrotowej silnika. Wymaganą wartość ciśnienia postanowiono uzyskać za pomocą wtlaczania tworzywa do gniazda formy pod dodatkowym ciśnieniem.

3.1. Budowa maszyny

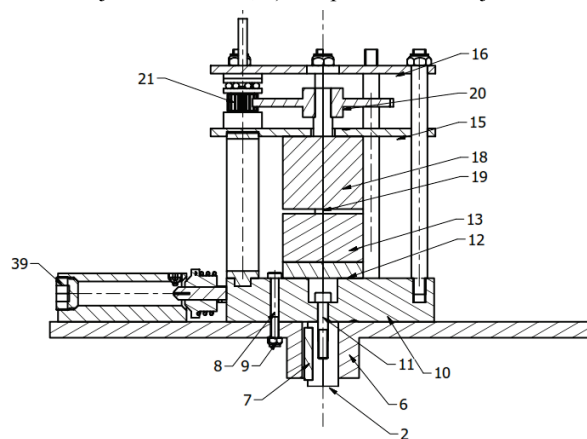
Maszyna (rys. 3a) składa się z części wirującej (1) zamontowanej na wale silnika (2) zamocowanego do postawy (3). Część wirująca (1) składa się z części centralnej (rys. 3b) oraz z sześciu podzespołów (rys. 3c i 3d) o identycznej budowie rozmieszczonych równomiernie na obwodzie części wirującej (1) (rys. 4).

Do części centralnej należy płyta z piastą (6), która jest połączona wpustem (7) z wałem silnika (2). Do płyty z piastą (6) jest zamontowany za pomocą czterech śrub (8) i nakrętek (9) rozdzielacz (10), który dokręcony jest do czoła wału silnika (2) za pomocą śruby (11). Do rozdzielacza przykręcony jest sterownik (12) i akumulator (13) oraz wkręcone jest sześć przewodnic (14), które przechodzą przez płytę dolną (15) oraz płytę górną (16). Płyta górna (16) jest od góry zabezpieczona nakrętkami (17), które nakręcone są na końce przewodnic (14). Do płyty dolnej (15) przykręcony jest silnik (18), połączony przewodami (19) z akumulatorem (13) i sterownikiem (12). Na wale silnika (18) zamontowane jest koło centralne (20).

Do podzespołów (rys. 3c, 3d) rozmieszczonych kołowo-symetrycznie należą koła zębate (21) napędzane kołem centralnym (20). Koła zębate obwodowe (21) i (22), mają centralny otwór nagwintowany do współpracy ze śrubami (23) i (24). Koła zębate obwodowe (21) łożyskowane jest od góry za pomocą łożyska wzdłużnego (25), ustalonego w płycie górnej (16) za pomocą tulei (26). Koło zębate (22) łożyskowane jest od góry za pomocą łożyska wzdłużnego (27), ustalonego w płycie górnej (16) za pomocą tulei (28). Koło zębate (21) łożyskowane jest od dołu za pomocą łożyska (29), ustalonego w płycie dolnej (15) za pomocą tulei (30). Koła zębate (22) łożyskowane jest od dołu za pomocą łożyska (31), ustalonego w płycie dolnej (15) za pomocą tulei (32). Tuleje (30) i (32) blokują dodatkowo możliwość obrotu śrub (23) i (24). Pomiędzy płytą dolną (15) a rozdzielaczem (10) znajdują się zasobniki (33) i (34), z oddzielnymi dwoma składnikami kleju. O tłok zasobnika (35) oparta jest śruba (23) a o tłok zasobnika (36) śruba (24). Do płyty z piastą (6) przykręcone są za pomocą śrub (37) formy (38). Formy (38) zaślepione są od zewnątrz dokręcanymi korkami (39). W górnej powierzchni formy występuje korek odpowietrzający (40) z otworem odpowietrzającym.



Rys. 3. Budowa nowego rozwiązania konstrukcyjnego: a) całe urządzenie, b) część centralna, c) podzespół do włączania tworzywa, d) podzespół do włączania tworzywa z formą
Fig. 3. Construction of a new structural solution: a) the entire device, b) the central portion, c) component of the injection material, d) component of the injection material with form



Rys. 4. Budowa części centralnej nowego rozwiązania konstrukcyjnego
Fig. 4. The construction of the central part of the new constructional solution

Do wewnętrznych otworów form są dociśnięte elementy dociskające (41). Elementy dociskające (41) są dociskane do form (38) za pośrednictwem sprężyny (42), opierającej się drugim końcem o rozdzielacz. W otworach elementów dociskających (41) znajdują się miksery (43), które są połączone kształtowo z rozdzielaczem (10). W rozdzielaczu (10) występują kanały (44) i (45) prowadzące od zasobników z oddzielnymi składnikami kleju do dwóch wejść mikserów (43). Mikser (43) posiada na drugim końcu pojedynczy kanał wylotowy (4) dla zmieszanego kleju.

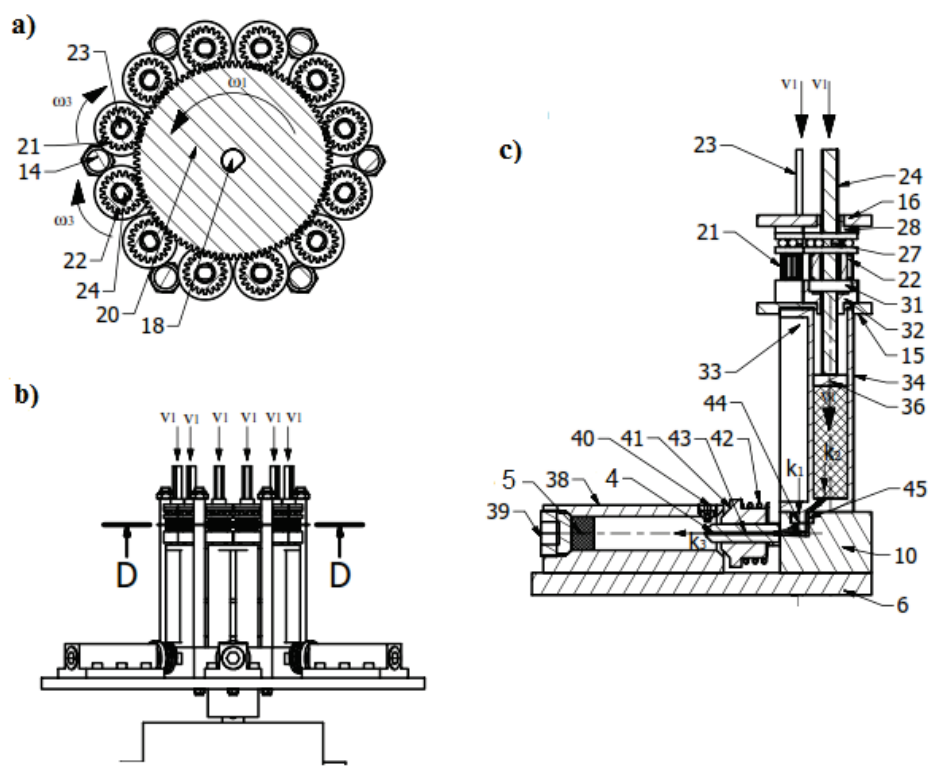
3.2. Zasada działania maszyny

Oczyszczoną formę (38), korek (39), korek odpowietrzający (40), docisk (41), pokrywa się ręcznie rozdzielaczem do form na wszystkich powierzchniach mających kontakt z klejem. Na rozdzielacz (10) nakłada się miksery (43). Na dociski (41) nakłada się sprężyny (42), a następnie nasuwa na miksery (43). Formę (38) z przykręconym korkiem (39) oraz korkiem odpowietrzającym (40) przyciska się do docisku (41) i wkręca śruby (37) mocujące formę do płyty z piastą (6). W otwory w rozdzielaczu (10) montuje się połączone z sobą zasobniki (33) i (34) z oboma składnikami kleju. Następnie montuje się płytę dolną (15) i górną (17) z resztą osprzętu, poprzez dokręcenie nakrętek (17) do prowadnic (14).

Silnik z enkoderem (2) napędza część wirującą (1) urządzenia, która wykonuje ruch obrotowy względem swojej długiej osi z , z prędkością kątową ω_1 . Sterownik (12) po czasie t_1 od uruchomienia włącza silnik (18) zasilany z akumulatora (13). Silnik (18) wprowadza w ruch obrotowy koło centralne, które wykonuje ruch obrotowy względem swojej długiej osi z , z prędkością kątową ω_2 . Koło centralne (20) zazębia się ze wszystkimi kołami zębatymi obwodowymi (21) i (22), wprowadzając je w ruch z prędkością kątową ω_3 (rys. 5a). Koła zębate obwodowe (21) i (22) stanowią jednocześnie „nieruchome” nakrętki w mechanizmach śrubowych powodując przemieszczenie się śrub (23) i (24) w dół z prędkością v_1 (Rys. 5b). Śruby (23) i (24), przemieszczając się w dół naciskają na toki zasobników (35) i (36), powodując oddzielne wyciskanie dwóch składników kleju k_1 i k_2 do kanałów (44) i (45) a następnie do mikserów (43) (rys. 5c). W mikserach (43) następuje zmieszanie obu składników kleju a następnie wytłoczenie ich mieszanki k_3 do wnętrza formy (38). Pod wpływem siły odśrodkowej klej osiada na obwodowej stronie formy (5), wypierając powietrze do środkowej części formy (38) i następnie przez korek odpowietrzający (40) na zewnątrz urządzenia. Po zapełnieniu całej formy (38) klej w wyniku zbyt małej średnicy korka odpowietrzającego (40) nie jest w stanie wypłynąć z formy, co powoduje wzrost ciśnienia we wnętrzu formy (38). Ostatecznie ciśnienie wewnątrz formy jest sumą ciśnienia hydrostatycznego kleju i ciśnienia wywołanego naciskiem śrub (23) i (24) na tłoki zasobników (35) i (36).

W momencie przeciążenia silnika (18), wynikającego z przekroczenia maksymalnej mocy, jaką może pobierać silnik (18), następuje jego zatrzymanie.

Wysłany zostaje sygnał radiowy ze sterownika (12) do silnika (2) i jego wyłączenie. Po zatrzymaniu rozmontowuje się układ w odwrotnej kolejności i po odczekaniu czasu do całkowitego związania kleju wyciąga próbki z form.



Rys. 5. Schemat działania urządzenia: a) mechanizm kół zębatach, b) ruch tłoków, c) mechanizm wtrysku tworzywa

Fig. 5. Diagram of operation: a) the mechanism gears, b) the movement of the piston, c) a mechanism for plastic injection

3.3. Wyznaczenie rozkładu ciśnienia w odlewanej próbce

W proponowanym rozwiązaniu ciśnienie całkowite w formie p_{ci} będzie sumą ciśnienia hydrostatycznego p_{hi} , wynikającego z działania siły odśrodkowej oraz z dodatkowego ciśnienia p_t zadawanego przez tłok w zasobniku:

$$p_{ci} = p_{hi} + p_t \quad (9)$$

Tłok musi wywierać na ciecz większe ciśnienie niż p_t ze względu na straty w kanałach i mikserze.

W celu wyznaczenia rozkładu ciśnienia w odlewany materiał przyjęto wartości zaprezentowane w tabeli 2 i dokonano obliczeń zgodnie ze wzorem (8) i (9).

Tabela 2. Dane do obliczeń rozkładu ciśnienia w odlewanym materiale – P2
Table 2. Data for calculating the pressure distribution in the cast material – P2

Wielkość	Oznaczenie	Wartość
odległość początku odlewu od osi obrotu	r_0	0,069 m
odległość końca odlewu od osi obrotu	r_{max}	0,201 m
prędkość obrotowa urządzenia	n	1500 obr/min
gęstość materiału adhezyjnego	ρ_c	1000 kg/m ³
ciśnienie dodatkowe tłoka	p_t	1,27 MPa

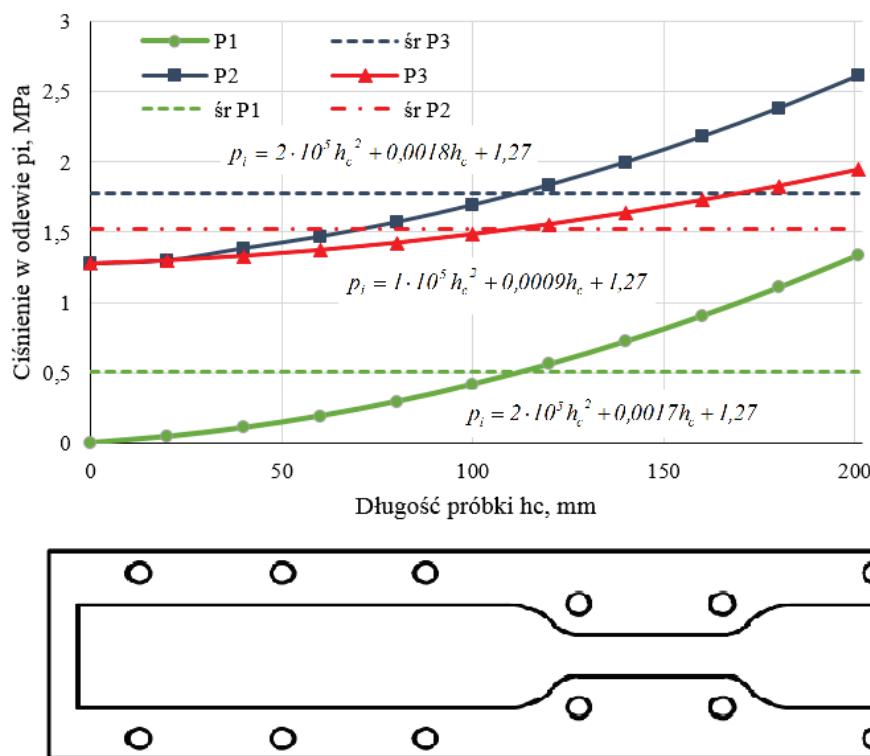
Dokonano interpolacji długości formy. Punkty pomiarowe przyjęto oddalone od siebie o 0,1 mm. Wyliczony rozkład ciśnienia P2 wraz z wyznaczonym wzorem równania przedstawiono na wykresie (rys. 6). Wartość ciśnienia rośnie od 1,27 MPa do 2,61 MPa. W części pomiarowej, odlewanej próbki ciśnienie zmienia swoją wartość od 1,87 do 2,37 MPa. Różnica pomiędzy maksymalnym a minimalnym ciśnieniem nie uległa zmianie w stosunku do zwykłego odlewania rotacyjnego (P1), następuje jednak podwyższenie ciśnienia w części pomiarowej do zakresu zalecanej wartości docisku 2 MPa.

Celem zmniejszenia gradientu ciśnień w próbce, można zmniejszyć prędkość obrotową, pozostawiając lub zwiększając ciśnienie wytłaczania tworzywa. W celu pokazania różnicy wykonano symulację dla parametrów podanych w tabeli 3, przy 3-krotnym zmniejszeniu prędkości wirowania.

Tabela 3. Dane do obliczeń rozkładu ciśnienia w odlewanym materiale – P3
Table 3. Data for calculating the pressure distribution in the cast material – P3

Wielkość	Oznaczenie	Wartość
odległość początku odlewu od osi obrotu	r_0	0,069 m
odległość końca odlewu od osi obrotu	r_{max}	0,201 m
prędkość obrotowa urządzenia	n	500 obr/min
gęstość materiału adhezyjnego	ρ_c	1000 kg/m ³
ciśnienie dodatkowe tłoka	p_t	1,27 MPa

Wyliczony rozkład ciśnienia P3 wraz z wyznaczonym wzorem równania przedstawiono na wykresie (rys. 6). Wartość ciśnienia rośnie od 1,27 MPa do 1,87 MPa. W stosunku do wyników z poprzedniej symulacji, nastąpiło zmniejszenie średniego ciśnienia w zakresie od 1,7 do 1,5 MPa. Celem uzyskania zbliżonych wartości średnich w obu symulacjach należałoby podnieść ciśnienie wytłaczania tworzywa o 0,2 MPa. W części pomiarowej, odlewanej próbki ciśnienie zmienia swoją wartość z około 1,5 do 1,7 MPa. Różnica pomiędzy maksymalnym a minimalnym ciśnieniem w części pomiarowej próbki uległa zmianie z 0,5 MPa do 0,2 MPa.



Rys. 6. Porównanie teoretycznych rozkład ciśnienia w odlewanym materiale w istniejącym rozwiązaniu konstrukcyjnym i nowym rozwiązaniu przy zastosowaniu różnych parametrów
Fig. 6. Comparison of the theoretical pressure distribution in the cast material in the existing and the new solution using various parameters

4. PODSUMOWANIE

Stosowane dotychczas maszyny i urządzenia do wytwarzania odlewanych próbek z tworzyw adhezyjnych mają wady i zalety. W artykule przedstawiono nową maszynę, która łączy zalety wirujących form z formami, które zapewniają statyczny docisk odlewanego materiału.

Maszyna zmniejsza nierównomierny rozkład ciśnienia w odlewanym tworzywie adhezyjnym. Odzwierciedla to w większym stopniu docisk elementów sklejanych w rzeczywistym połączeniu klejonym.

Ze względu na rozpoczęcie napełniania formy, po uprzednim ich rozpędzeniu do wymaganej prędkości obrotowej, możliwe jest odlewanie tworzyw adhezyjnych o krótkim czasie sieciowania. Dzięki jednoczesnemu napełnieniu form, uzyskuje się jednakowe warunki wytwarzania wszystkich próbek.

Zwiększenie ciśnienia w wirującej formie poprzez wtłaczanie do niej tworzywa adhezyjnego pod ciśnieniem, umożliwia zmniejszenie prędkości obrotowej, co przekłada się na wzrost bezpieczeństwa użytkowania maszyny.

Wadami proponowanego rozwiązania konstrukcyjnego jest skomplikowana budowa, wymagająca zastosowania precyzyjnej obróbki mechanicznej i konieczność wywarzenia części wirującej maszyny.

LITERATURA

- [1] da SILVA L.F.M., das NEVES P.J.C., ADAMS R.D., SPELT J.: Analytical models of adhesively bonded joints. Part I: Literature survey. *International Journal of Adhesion and Adhesives*, 29, 3, 2009, 319-330.
- [2] da SILVA L.F.M., DILLARD D.A., BLACKMAN B., ADAMS R.D. *Testing Adhesive Joints*. John Wiley & Sons, 2012.
- [3] da SILVA L.F.M., ÖCHSNER A., ADAMS R.D.: *Handbook of Adhesion Technology*. Springer Berlin Heidelberg, 2011.
- [4] GODZIMIRSKI J., KOMOREK A., SMAL T.: Badania właściwości wytrzymałościowych tworzyw adhezyjnych. *Problemy eksploatacji*, 2007, 157-165.
- [5] GODZIMIRSKI J., SMAL T., TKACZUK S., ROŚKOWICZ M., KOMOREK A.: *Tworzywa adhezyjne. Zastosowanie w naprawach sprzętu wojskowego*. Wydawnictwa Naukowo-Techniczne Warszawa, 2010.
- [6] KUCZMASZEWSKI J.: *Podstawy konstrukcyjne i technologiczne oceny wytrzymałości adhezyjnych połączeń metali*. Wydawnictwa Uczelniane Politechniki Lubelskiej, 1995.
- [7] MAĆKOWIAK P., LIGAJ B.: Metody wyznaczania krzywych naprężenie – odkształcenie tworzyw adhezyjnych. *Postępy w Inżynierii Mechanicznej/Developments in Mechanical Engineering* 7(4), 2016.
- [8] PN-EN 1465:2009 Kleje – Oznaczanie wytrzymałości na ścinanie przy rozciąganiu połączeń na zakładkę.

STRUCTURAL SOLUTION OF DEVICE FOR MANUFACTURING SPECIMENS OF ADHESIVES MATERIALS

Summary: To carry out the analytical and numerical calculations of adhesive bonded joints is necessary to know the mechanical properties of the adhesive material. Determination of stress-strain diagram provides information on the modulus emergency strength, yield strength, maximum deformation, and data to perform the analyzes for a range of plastic deformation. Casting specimens requires the use of special methods due to the high adhesion of the cast material, the exothermic nature of the crosslinking process and the need to achieve reproducible products are not short-circuiting defects. Currently existing equipment for the manufacture of molded specimens of adhesive has advantages and disadvantages. This article presents the design of a new machine, which combines the advantages of two methods for casting specimens of adhesive materials.

Key words: adhesive materials, testing mechanical properties, casting machine, casted specimens, centrifuge