

# Zastosowanie tworzyw sztucznych w narzędziach do obróbki plastycznej

MICHAŁ STYP-REKOWSKI, IVAN L. OBORSKY, OLEG POLISHCHUK

Przedstawiono analizę możliwości i czynników warunkujących stosowanie tworzyw sztucznych w narzędziach do obróbki plastycznej (tłoczników i wykrojników). Dokonano przeglądu własności tworzyw sztucznych, które determinują możliwości ich zastosowania na elementy tłoczników i wykrojników. Przeprowadzono także analizę cech materiałowych i użytkowych tworzyw niemetalo- wych stosowanych na elementy tłoczników i wykrojników.

## Wprowadzenie

Tworzywa sztuczne są interesującym tworzywem konstrukcyjnym z kilku względów. Jednym z najistotniejszych jest fakt, że w dziedzinie inżynierii materiałowej w zakresie tworzyw sztucznych obserwuje się bardzo duży i szybki rozwój ilościowy a przede wszystkim jakościowy. Z tego też względu istotna jest łączna znajomość zagadnień z dziedziny obróbki plastycznej, a ściślej zagadnień narzędziowych w obróbce plastycznej, i w zakresie tworzyw sztucznych [2, 5].

Celem niniejszej pracy nie była szczegółowa identyfikacja przedstawicieli tej grupy tworzyw konstrukcyjnych, lecz jedynie wskazanie tych zagadnień, które należy uwzględnić w procesie projektowania tłoczników i wykrojników, co w efekcie powinno pozwolić na udoskonalenie ich postaci konstrukcyjnych.

## Oczekiwane cechy materiałów stosowanych na elementy narzędzi

Aby proces obróbki plastycznej przynosił oczekiwane rezultaty, zarówno w kategoriach technicznych jak i ekonomicznych, narzędzia w nim stosowane muszą spełniać dwa podstawowe warunki:

- wytrzymałości,
- trwałości.

Spełnienie pierwszego z nich zapewnia się już na etapie projektowania. W tym celu niezbędna jest identyfikacja stanu

obciążenia. Matryca i stempel – podstawowe i najbardziej obciążone elementy składowe tłoczników, obciążane są siłami o dużych wartościach, a przy tym o zmiennym ich charakterze. Nacisk wywierany na powierzchnię obrabianego materiału musi spowodować w nim plastyczne odkształcenie, a reakcja nie może wywoływać odkształcenia plastycznego samego narzędzia.

Ze względu na obciążenie i warunki współpracy muszą one charakteryzować się dużą wytrzymałością na ściskanie i zginanie, dużą udarnością i twardością. Cechy te zapewniają odporność na ścieranie a więc i właściwą trwałość [1, 4].

Z analizy obciążenia i warunków pracy wynika, że trwałość determinowana jest dwiema formami procesu zużywania:

- ściernym,
- zmęczeniowym.

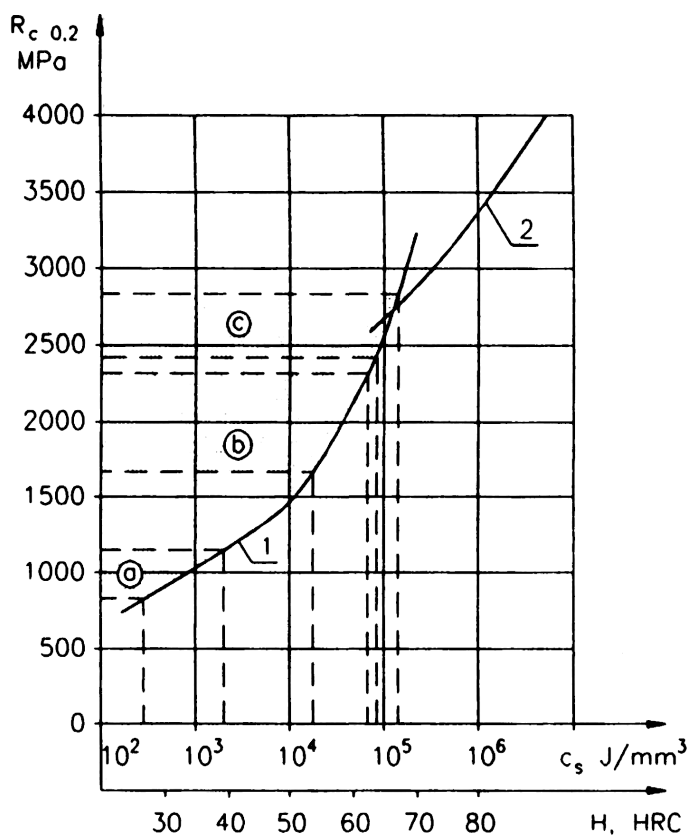
Wymienionych form zużywania nie da się wyodrębnić i dlatego trwałość przyrządu należy rozpatrywać jako łączny skutek obydwo- ch form procesu.

## Tradycyjne materiały konstrukcyjne

Do wytwarzania standardowego oprzyrządowania procesu obróbki plastycznej najczęściej stosowane są:

- stale narzędziowe (do pracy na zimno i na gorąco),
- stale szybko tnące,
- węgliki spiekane.

Są to tworzywa konstrukcyjne powszechnie znane i z tego powodu nie będą tutaj szerzej omawiane. Na rysunku 1 przedstawiono jedynie charakterystyczne dla tej grupy tworzyw konstrukcyjnych zależności pomiędzy ich cechami wytrzymałościowymi a użytkowymi.



Rys. 1. Relacje pomiędzy wytrzymałością na rozciąganie  $R_{c,0.2}$  a cechami użytkowymi: odpornością na ścieranie  $c_s$  i twardością  $H$  wybranych materiałów narzędziowych: 1 – stale narzędziowe, 2 – węgliki spiekane; a) stale ulepszone, b) stale hartowane, c) stale szybko tnące [7]

Z wykresu tego wynika wyraźnie, że nie zawsze wymagana jest maksymalna, możliwa do uzyskania twardość elementów oprzyrządowania. Rozszerzając ten tok rozumowania dojdź można do wniosku, że w pewnych przypadkach możliwe jest zastosowanie tworzyw o jeszcze mniejszych wartościach parametrów wytrzymałościowych. Jeżeli uwzględnimy w tym rozumowaniu dodatkowo zagadnienie ekonomicznego okresu trwałości tłoczników [6, 9] takie ujęcie cech materiałowych będzie w pełni uzasadnione.

## Materiały niekonwencjonalne

Pomimo tego, że tworzywa sztuczne wykorzystywane są w budowie oprzyrządowania już od wielu lat ciągle jeszcze można uznać je za tworzywa nietypowe w tego rodzaju obróbce [2, 5]. Szybki ich rozwój, zarówno w zakresie powstawania nowych tworzyw (nowe gatunki o lepszych parametrach wytrzymałościowych i eksploatacyjnych) jak również ich przetwórstwa, powodują, że zbiór tego rodzaju tworzyw konstrukcyjnych wciąż zmienia się i powiększa [8, 10].

## Cechy charakterystyczne tworzyw sztucznych stosowanych w oprzyrządowaniu

Cechami charakterystycznymi, które spowodowały duże i różnorodne wykorzystanie tworzyw sztucznych w budowie oprzyrządowania do obróbki plastycznej są:

- łatwość formowania,
- możliwość zmian własności i właściwości,
- odporność na środowiska agresywne,
- mała gęstość,
- łatwość naprawy i regeneracji elementów.

Cechy te występują w poszczególnych tworzywach z różną istotnością. W każdym jednak przypadku są one na tyle istotne, że projektując tłocznik należy je uwzględnić.

**Łatwość formowania elementów tłoczników z tworzyw sztucznych.** Elementy oprzyrządowania do obróbki plastycznej wykonuje się najczęściej przez odlewanie w temperaturze otoczenia i ciśnieniu atmosferycznym. Stosowane tworzywa charakteryzują się w większości przypadków małymi lepkością i skurczem, co umożliwia dokładne odwzorowywanie nawet bardzo złożonych kształtów. Dzięki tym cechom odlane elementy tłoczników nie wymagają najczęściej dalszej obróbki mechanicznej. Powierzchnia odlewów odznacza się dużą gładkością (małe wartości parametrów chropowatości) nie ma więc konieczności stosowania pracochłonnej i kosztownej obróbki wykończeniowej.

Większość tworzyw sztucznych stosowanych do wytwarzania elementów oprzyrządowania metodą odlewania charakteryzuje się dobrą przyczepnością do metali. Umożliwia to łączenie fragmentów metalowych z tworzywem, przez co można uzyskać elementy narzędzia o bardzo zróżnicowanych miejscowo cechach użytkowych, odpowiednio do potrzeb.

Istotną cechą w omawianym zakresie jest brak konieczności użycia specjalnego wyposażenia procesu wytwórczego elementów tłoczników. Odlewanie jest zazwyczaj grawitacyjne, bezciśnieniowe a ewentualną obróbkę mechaniczną prowadzi się używając typowych obrabiarek i narzędzi.

**Możliwość modyfikowania własności i właściwości tworzyw sztucznych.** Cechy wytrzymałościowe i eksploatacyjne większości tworzyw sztucznych stosowanych w budowie tłoczników można zmieniać w pożądanym kierunku stosując odpowiednie napełniacze. Tym sposobem można zwiększyć, np. odporność na ścieranie, zmniejszyć skurcz odlewniczy itp.

Modyfikowanie cech wytrzymałościowych jest także możliwe przez zastosowanie wypełniaczy włóknistych w formie maty lub tkaniny (szklanej, azbestowej lub metalowej).

Stosowanie tworzyw kompozytowych to również metoda poprawy cech użytkowych elementów tłoczników. Przeprowadzone badania wykazały, że zastosowanie tego rodzaju tworzyw konstrukcyjnych pozwoliło na znaczące zwiększenie trwałości [3].

**Odporność na środowiska agresywne.** Stosowane w obróbce plastycznej środki smarujące, chłodziwa i inne płyny technologiczne powodują powstawanie w strefie obróbki

warunków zwiększonej aktywności chemicznej stąd też pożądanym jest aby elementy przyrządów wykonane były z tworzyw konstrukcyjnych o odpowiedniej odporności chemicznej. Takimi właśnie cechami charakteryzuje się większość tworzyw sztucznych wykorzystywanych w budowie oprzyrządowania tej techniki obróbki. Cecha ta stanowi więc ich cenną zaletę, przyczyniając się do zwiększenia trwałości na ogół drogiego przyrządu.

**Gęstość tworzyw sztucznych.** Tworzywa sztuczne wykorzystywane w budowie tłoczników charakteryzują się gęstością w zakresie  $1,2 \div 3,2 \text{ g/cm}^3$ , a więc kilkakrotnie mniejszą niż stal narzędziowa. Po dodaniu napelniaczy ich gęstość zwiększa się, lecz zawsze jest ona znacznie mniejsza od stali. Fakt ten powoduje zmniejszenie ciężaru tłoczników, zależnego od stopnia ich nasycenia elementami z tworzyw sztucznych.

**Łatwość naprawy elementów wykonanych z tworzyw sztucznych.** Zaletą elementów wykonanych z tworzyw sztucznych lub mocowanych za ich pomocą jest duża podatność naprawcza lub/ oraz regeneracyjna. Zużyte elementy z tworzyw można naprawić poprzez powtórne wylanie w miejscach ubytków lub poprzez ich wymianę. Należy jednak o takiej potrzebie pamiętać już na etapie projektowania przyrządu.

Cechą charakterystyczną elementów tłoczników wykonanych z tworzyw sztucznych jest ich mniejsza odporność na ścieranie niż elementów stalowych. Pary kinematyczne tłoczników powinno się więc tak projektować aby w przypadku zużycia możliwa była łatwa wymiana prostych, a tym samym tanich elementów z tworzyw sztucznych.

### **Rodzaje tworzyw sztucznych stosowanych w budowie wykrojników i tłoczników**

Podstawową cechą tworzywa konstrukcyjnego decydującego o jego przydatności w budowie oprzyrządowania obróbki plastycznej jest zdolność do przenoszenia obciążeń. Parametry wytrzymałościowe tworzyw sztucznych mają mniejsze wartości dla niż dla stali, jednak w pewnych warunkach mogą one nie dyskwalifikować przydatności tworzywa. Takim przypadkiem może być tłocznik do produkcji małoseryjnej, którego trwałość z założenia nie musi być duża. Obniżka kosztów wytwarzania tłocznika może być tak duża, że użycie go w procesie technologicznym może być opłacalne.

Rodzaj procesu wytwarzania oprzyrządowania do obróbki plastycznej również limituje wykorzystywane w tym celu tworzywa konstrukcyjne. Ponieważ tym procesem jest najczęściej odlewanie są to różnego rodzaju żywice. Poniżej przedstawiono krótkie charakterystyki najczęściej wykorzystywanych żywic, a także gumy.

**Żywice epoksydowe.** Jest to rodzaj żywic chemoutwardzalnych. Odznaczają się małym skurczem odlewniczym oraz bardzo dobrą przyczepnością do innych tworzyw sztucznych a także do metali i szeroko pojętej ceramiki. Jak na ten rodzaj tworzywa konstrukcyjnego wartości ich parametrów wytrzymałościowych są duże. Są odporne na czynniki chemiczne i atmosferyczne.

**Żywice poliestrowe.** Należą one także do grupy żywic chemoutwardzalnych. Charakteryzują się dużym, bo w gra-

nicach  $6 \div 9\%$  skurczem odlewniczym a ich parametry wytrzymałościowe są porównywalne z żywicami epoksydowymi. Odznaczają się dobrą zwilżalnością, dzięki czemu są one często wykorzystywane łącznie z włóknem szklanym w formie laminatów.

**Żywice metakrylowe.** Są to żywice termoplastyczne o własnościach wytrzymałościowych zbliżonych do dwóch wyżej omówionych rodzajów żywic. Wykorzystanie ich w budowie narzędzi jest mniejsze ze względu na zależność cech użytkowych i wytrzymałościowych od temperatury. Stosuje się je na mniej odpowiedzialne elementy tłoczników.

**Żywice fenolowo-formaldehydowe.** Jest to tworzywo konstrukcyjne z grupy termoutwardzalnych o dobrych cechach wytrzymałościowych (porównywalnych z żywicami epoksydowymi) i podobnym również zastosowaniu.

**Żywice poliuretanowe.** Należą do grupy żywic chemoutwardzalnych. Charakteryzują się bardzo dużymi wartościami parametrów wytrzymałościowych, przede wszystkim udarnością, co ma szczególne znaczenie dla tworzyw na elementy robocze oprzyrządowania do obróbki plastycznej. Istotnymi ich cechami są: duża odporność na ścieranie oraz na starzenie.

**Guma.** Jest to tworzywo konstrukcyjne o charakterystycznie dobrych własnościach sprężystych. Z tego też powodu wykorzystywane jest w budowie tłoczników do wytwarzania elementów sprężystych – zamiast sprężyn metalowych.

Wszystkie wymienione wyżej tworzywa konstrukcyjne można mieszać z wypełniaczami, modyfikując w pożądanym kierunku ich cechy. Zmiany te niekiedy są bardzo znaczne, co można zaobserwować analizując dane na rysunku 2.

Dodatki spowodowały z jednej strony zmniejszenie ścieralności, wyrażonej ubytkiem masy – w przypadku grafitu bardzo duże, bo ponad 40-krotne, z drugiej zaś – wzrost po dodaniu wypełniacza kwarcowego. W tym drugim przypadku obserwuje się równocześnie bardzo duży wzrost parametrów wytrzymałościowych.

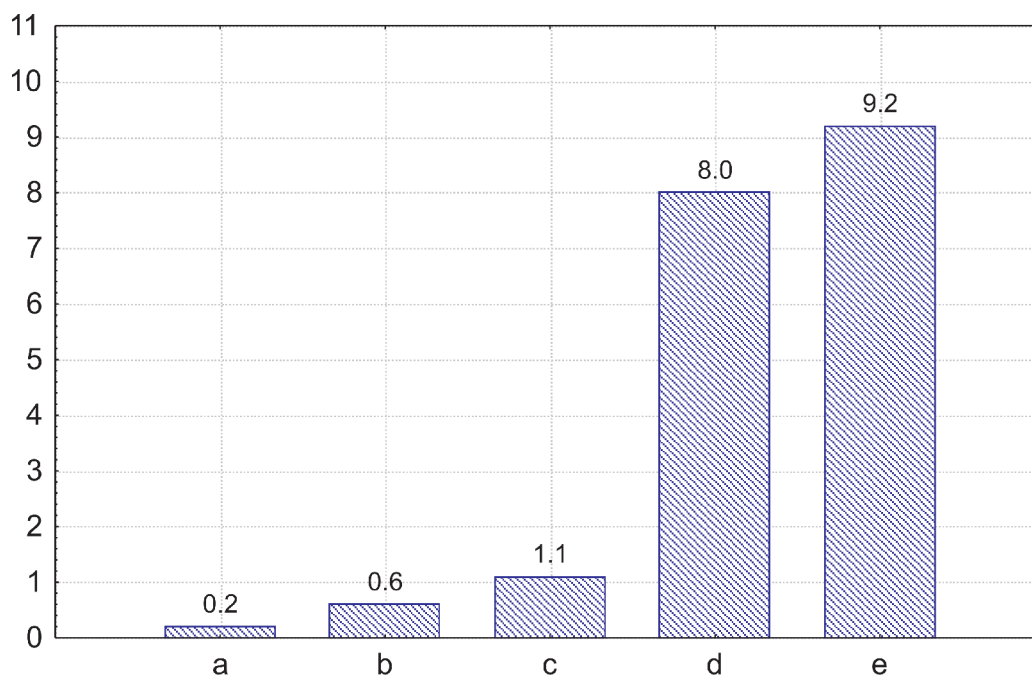
Żywice wykorzystywane są także do wytwarzania materiałów konstrukcyjnych w formie płyt lub prętów. Do takich można zaliczyć np. tekstolit, czyli laminat składający się z tkaniny bawełnianej nasączonej żywicą fenolową, lub lignofol, w którym warstwę nośną tworzy nasączony żywicą cienki fornir drewniany.

Drugą grupą tworzyw sztucznych wykorzystywanych w budowie tłoczników są tworzywa sztuczne występujące jedynie jako: płyty, pręty lub kształtowniki. Są one przewidziane do obróbki kształtującej skrawaniem. W tej grupie są, m.in.:

– **polieteroeteroketon (PEEK)** – tworzywo o bardzo dobrych własnościach mechanicznych, charakteryzujące się także dużą odpornością cieplną i chemiczną. Stosowane dodatki modyfikujące: grafit, włókno szklane lub węglowe, pył ceramiczny, teflon, poprawiają jeszcze cechy eksploatacyjne;

– **policzterofluoroetylen (PTFE)** – tworzywo o dużym zakresie pracy, dobrej odporności chemicznej i bardzo małym współczynniku tarcia. Niezbyt dobre własności mechaniczne poprawiają dodatki modyfikujące: włókno szklane, grafit, brąz;





Rys. 2. Wpływ różnych wypełniaczy na ścieralność żywicy epoksydowej: a) grafit, b) włókno szklane, c) proszek aluminiowy, d) bez wypełniacza, e) proszek kwarcowy [5]

– **ABS** – tworzywo z grupy półkryształicznych poliolefinów. Charakteryzuje się odpornością na uderzenia, stabilnością wymiarową w szerokim zakresie temperatur oraz dużą sztywnością;

– **politereftalan etylenu (PET)** – tworzywo o bardzo dobrych cechach wytrzymałościowych, małym współczynniku tarcia, dobrej odporności chemicznej. Modyfikowany środkiem smarującym charakteryzuje się bardzo dużą odpornością na zużywanie ściernie;

– **poliamid (PO)** – tworzywo o bardzo dobrej skrawalności. Dodatek dwusiarczku molibdenu poprawia odporność na zużywanie ściernie a modyfikowanie przez dodanie włókna szklanego powoduje wyraźne zwiększenie cech wytrzymałościowych, większą sztywność i stabilność wymiarową;

– **polietylen (PE)** – tworzywo o małym współczynniku tarcia, dużej odporności na zużywanie ściernie, a także bardzo dobrej skrawalności. Elementy z polietylenu modyfikowane dwusiarczkiem molibdenu nie wymagają smarowania podczas pracy.

Jest to bardzo liczna grupa tworzyw konstrukcyjnych, na dodatek bardzo dynamicznie rozwijająca się. Cechy wytrzymałościowe niektórych tworzyw sztucznych z tej grupy dorównują materiałom metalowym, a ich cechy użytkowe często nawet je przewyższają.

#### Elementy oprzyrządowania wykonywane z tworzyw sztucznych

Ze względu na własności tworzyw sztucznych ich wykorzystanie w budowie oprzyrządowania do obróbki plastycznej jest duże, ale mimo wszystko – ograniczone. Opisane wyżej ich cechy charakterystyczne powodują jednak, że mają one

istotny udział w budowie narzędzi do obróbki plastycznej. Udział ten jest zależny przede wszystkim od rodzaju realizowanych procesów obróbki plastycznej.

W przyrządach używanych w procesach wykrawania i cięcia tworzywa sztuczne stosuje się do:

- mocowania stempli i tulejek tnących,
- prowadzenia stempli i słupów prowadzących,
- wytwarzania płyt spychających,
- jako blaty pod wykrojniki.

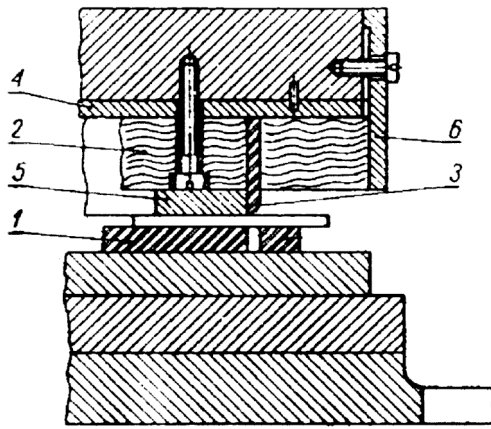
W procesach gięcia tworzywa sztuczne wykorzystywane są do wytwarzania elementów roboczych, z tym, że trwałość takich elementów jest znacznie mniejsza niż stalowych.

W przypadku ciągnięcia blach wykorzystanie tworzyw sztucznych jest podobne jak w przypadku cięcia, z tym że wykonuje się z nich także:

- stemple,
- matryce,
- dociskacze matryc.

W wielu przypadkach w celu zwiększenia głównie dopuszczalnych nacisków powierzchniowych stosuje się metalizowanie powierzchni roboczych elementów wykonanych z tworzyw sztucznych.

Przykłady praktycznego wykorzystania tworzyw sztucznych w budowie tłoczników przedstawiono na rysunkach 3 i 4. Na pierwszym z nich przedstawiono rozwiązanie konstrukcyjne wykrojnika, w którym zastosowano materiały z grupy tworzyw sztucznych. Elementy mocujące sekcje tnące (2) wykonano z płyty lignofolowej, a funkcje spychaczy spełniają elementy wykonane z gumy (5).



Rys. 3. Postać konstrukcyjna wykrojnika z elementami z tworzyw sztucznych: 1 – płyta tnąca, 2 – płyta mocująca, 3 – sekcje tnące, 4 – przekładka stalowa, 5 – wyrzutnik, 6 – płyta dociskająca [2]

nia do tego rodzaju obróbki. Zastosowanie tworzyw sztucznych w tym zakresie zmniejsza w znaczny sposób te koszty.

Przedstawione w niniejszej pracy rozważania dotyczą zagadnienia bardzo obszernego i rozwojowego. Ze względu na objętość tego opracowania poruszone problemy potraktowano jedynie skrótowo. Zasygnalizowano jednak najistotniejsze, zdaniem autorów, aspekty, które należy uwzględnić w procesie projektowo-konstrukcyjnym oprzyrządowania do obróbki plastycznej, o których należy pamiętać opracowując procesy technologiczne nowych wytworów.

Dzięki szybkim postępom w dziedzinie inżynierii materiałowej zbiór tworzyw konstrukcyjnych, które mogą być wykorzystywane w budowie oprzyrządowania do obróbki plastycznej ulega ciągle powiększaniu i to zarówno w grupie tworzyw sztucznych jak również i innych, jak na przykład szeroko pojęta ceramika techniczna, węgliki, materiały kompozytowe itp.

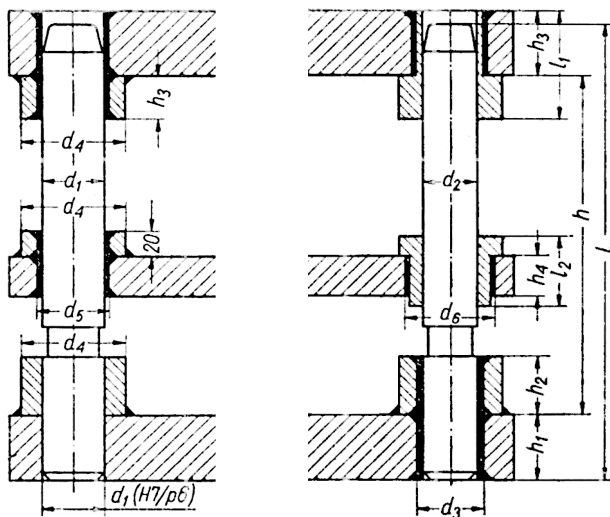
Poruszone zagadnienia wytrzymałości, trwałości a także aspekty technologiczne i ekonomiczne dotyczą jednak każdego zbioru tworzyw konstrukcyjnych. Można zatem podjęte działania uznać za wskazówki przydatne w procesie optymalizacji tworzywowych cech konstrukcyjnych oprzyrządowania do obróbki plastycznej.

**Literatura**

1. Anochin A.A., Evstratov V.A., Evstratova T.L., Kuzmenko V.I.: Metodika eksperimentalno-analityčeskogo issliedovanija naprjazenno-deformirovannogo sostojanija detalej štampov. Kuznienično-Štampovočnoje Proizvodstvo, t.41, No. 11/1999, s. 9-13.
2. Axentowicz M.: Zastosowanie tworzyw sztucznych w budowie wykrojników. Mechanik nr 12/1967, s. 456- 459.
3. Budiennyj M.M., Movsovič I.J, Kuzniecova L.G.: Issliedovanije stojkosti razdielitelnych štampov iz kompozicionnych matierialov. Kuznienično-Štampovočnoje Proizvodstvo, t. 40, No. 11/1998, s. 6-8.
4. Czarnecki R.: Przyrządy do obróbki plastycznej – tłoczniaki. Wydawnictwo Politechniki Częstochowskiej, Częstochowa 1996,
5. Grześkowiak J.: Zastosowanie tworzyw w tłocznikach. WNT, Warszawa 1971.
6. Lenard J.G.: Tribology in Metal Rolling. CIRP Annals, 2000, vol. 49/2/2000, s. 567-590.
7. Marciniak Z.: Obciążenie stempli i matryc występujące w typowych operacjach obróbki plastycznej. Materiały Sympozjum Technicznego „Obróbka plastyczna metali”. Ośrodek Techniczny A.Marciniak sp. z o.o., Warszawa 1996, s. 39-47.
8. Saechtling H.: Tworzywa sztuczne: poradnik. WNT, Warszawa 2000.
9. Stankiewicz Z.: Ekonomiczny okres trwałości tłoczników. Materiały VI Konferencji N-T „Problemy narzędziowe w obróbce plastycznej”. ATR, Bydgoszcz 1997, s. 67-73.
10. Ziemiański K.: Zastosowanie tworzyw sztucznych w budowie maszyn; wybrane zagadnienia. Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, Wrocław 1995. ■

Typ I

Typ II



Rys. 4. Rozwiązanie konstrukcyjne zespołu prowadzącego tłoczniaka z wykorzystaniem tworzyw sztucznych: typ I – tworzywo jako element prowadzący, typ II – tworzywo jako element mocujący [5]

Na rysunku 4 pokazano zasady prowadzenia i mocowania słupów z wykorzystaniem do tego celu tworzyw sztucznych.

Na rysunku wyróżniono dwa podstawowe sposoby wykorzystania tworzyw sztucznych w zakresie prowadzenia i mocowania elementów tłoczniaka:

- do wykonania elementów prowadzących,
- do mocowania elementów prowadzących (tulejek i słupów).

Elementy robocze narzędzi używanych w obróbce plastycznej są wytwarzane są z tworzyw sztucznych jedynie w przypadkach ich wykorzystania w produkcji małoseryjnej lub jednostkowej.

**Podsumowanie**

Obróbkę plastyczną wykorzystuje się przede wszystkim w produkcji seryjnej (wielkoseryjnej i masowej). Powodowane jest to stosunkowo dużymi kosztami wykonania oprzyrządowa-