

Kształtowanie na gorąco (c.d.)

Gięcie

W praktyce najwygodniej stosować dwie metody gięcia. Pierwsza, to gięcie na metalowej, ogrzanej pryzmie, np. kątowniku aluminiowym lub mosiężnym, w sposób pokazany na rysunku 1. Górna krawędź pryzmy powinna być lekko zaokrąglona, a cała pryzma ogrzana do temperatury od kilku do kilkunastu stopni wyższej od temperatury kształtowania (naturalna utrata ciepła podczas kształtowania). Przyrząd można ogrzać w piekarniku, lub bezpośrednio palnikiem. Na ogrzaną pryzmę nakłada się płytę z zaznaczoną krawędzią gięcia i lekko dociska do metalu aż do zmięknięcia tworzywa i przejścia w stan uplastyczniony. W tym stanie, nawet niewielki nacisk umożliwia wygięcie płyty. Sposób ten można stosować do wyginania płyt z PCW, PMMA i PS.

Drugi sposób (rys. 2) należy stosować przy gięciu płyt z polietylenu (PE) i polipropylenu (PP). Stalową listwę zeszlifowaną na kształt przecinaka, o kącie zaostrenia około 70° , ogrzewa się do temperatury $200-250^\circ$ w przypadku polietylenu i nieco niższej w przypadku polipropylenu. Następnie listwę ustawia się pionowo, ostrzem na płycie. Listwa wtapia się w materiał (górna część rysunku), w płycie wytapia się rowek (część środkowa), którego ścianki nagrzewają się do temperatury zgrzewania tworzywa. Rowek ten powinien mieć głębokość co najmniej $2/3$ grubości płyty. Po wyjęciu listwy, płytę wygina się na całej długości i przytrzymuje zgiętą aż do ostygnięcia i zgrzania obu powierzchni rowka.

Trzeci, znacznie trudniejszy sposób, wymagający wykonania specjalnych przyrządów, to gięcie ogrzanego tworzywa wg drewnianych wzorników. Zaletą tego sposobu jest możliwość wyginania wg nawet bardzo skomplikowanych linii krzywych, a więc w tych wszystkich przypadkach, gdy chcemy uzyskać ściśle określony kształt, np. bocznych ścianek naczynia, pojemnika itp. Przy tym sposobie gięcia ogrzewamy całą kształtowaną płytę (najłatwiej sposób ten stosować przy wyginaniu płyt z PCW i PMMA),

lub tylko obszar gięcia pamiętając, że minimalny promień gięcia powinien być dwukrotnie większy od grubości płyty, a obszar uplastyczniony – sześciokrotnie większy od grubości płyty. W przypadku, gdy ogrzewamy tylko strefę zginania, stosować można gorące metalowe listwy przyłożone bezpośrednio do płyty, lub nadmuch ogrzanym powietrzem, albo spalinami z palnika wyposażonego w tubus kierunkowy. Gdy ogrzewamy całą płytę, najlepiej stosować grzanie w piekarniku, w kąpeli, lub na powierzchni ogrzanej metalowej płycie. Zasady budowy wzorników kształtujących są identyczne jak przy zginaniu rur (rys. 3) z zastrzeżeniem, że pojęcie „średnica rury” należy zastąpić pojęciem „grubość płyty”.

Kształtowanie rur

W kształtowaniu rur wyróżniamy trzy operacje możliwe do wykonania w domowych warunkach: gięcie, rozpęcznie i spęcznie rur z PCW₂ i PMMA.

Przed wyginaniem rurę należy napęczyć piaskiem nagrzanym do temperatury 120°C, zamykając oba końce rury korkami do butelek, korkami z gumy, lub w ostateczności kołkami wystruganymi z drewna. Wypełnienie to zabezpiecza przed tworzeniem się fałd w miejscu zginania rury.

Rurę ogrzaną ciepłym piaskiem od wewnątrz należy dogrzać w miejscu gięcia od zewnątrz. Dogrzewanie powinno trwać tak długo, aż rura zaczyna się zginać pod własnym ciężarem. Ponieważ przyrostowi temperatury towarzyszy zwiększenie wymiarów długości i średnicy rury, przed rozpoczęciem zginania konieczne jest dosypanie piasku, lub głębsze wbcie korków zamykających oba końce rury.

Zamiast ogrzanego piasku można stosować również zimny piasek (dłuższy czas potrzebny na uplastycznienie rury), wióry pozostałe ze skrawania PCW, rozdrobnione korki do butelek, lub odporny na działanie temperatury, gumowy wąż ciśnieniowy o średnicy zewnętrznej równej wewnętrznej średnicy zginanej rury.

Gdy zginamy rury z tworzyw sztucznych przezroczystych (np. PMMA) i zależy nam na zachowaniu przezroczystości w miejscu gięcia, stosowanie piasku jest niedopuszczalne. Ostre krawędzie ziarn piasku wbijają się

w powierzchnię tworzywa w miejscu zginania, tworzywo matowieje i staje się nieprzezroczyste.

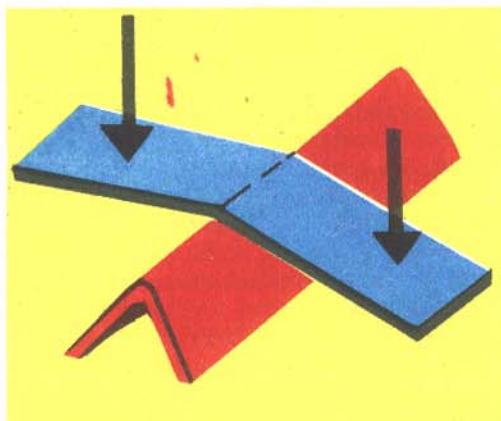
W przypadku gdy chcemy wyginać skomplikowane kształty rur, o wielu różnych promieniach zaginania, konieczne jest wykonanie prostych szablonów z drewna jak pokazano na rys. 3. Rurę uplastyczniamy na odcinku dłuższym o kilka centymetrów od długości odcinka odkształcanego, wkładamy między klocek oporowy 1 a klocek kształtujący 2 i zginamy zawijając rurę wokół krzywizny aż do oparcia rury o klocek oporowy 3. Istotne jest takie umocowanie klocków do podłoża (drewniana płyta), aby odległość między stycznymi do klocka 1 i 2 oraz klocka 3 i 2 równe były średnicy zginanej rury (lub grubości zginanej płyty).

Gdy liczba przegięć jest większa budujemy bardziej skomplikowany szablon z większą liczbą klocków kształtujących (2), ogrzewamy rurę na całej długości i układamy w przestrzeniach między klockami szablonu. Można również ogrzewać i kształtować kolejno każde zagięcie.

Zmiana średnicy rur

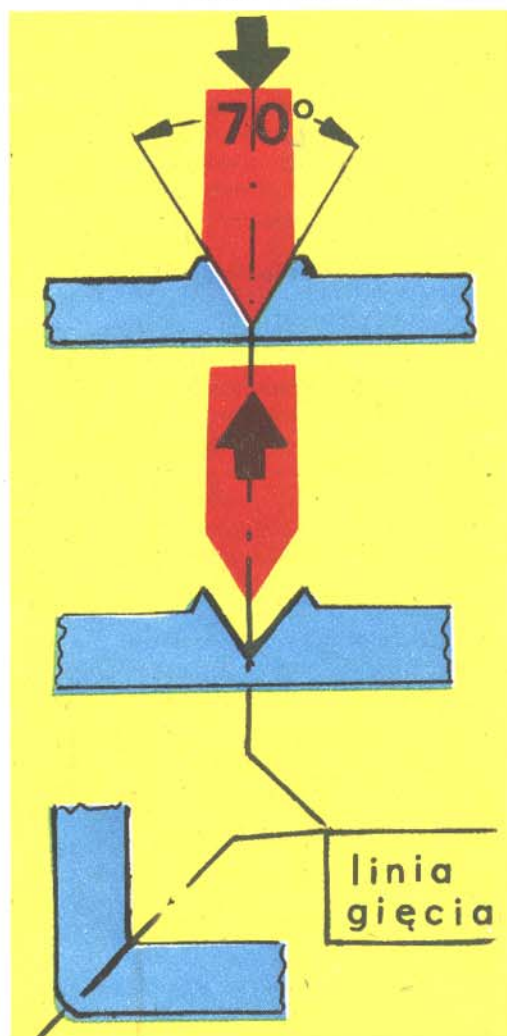
Najprostszym i najczęściej stosowanym sposobem zmiany średnicy rury jest rozpęcznie jej końca, konieczne szczególnie wówczas, gdy mamy połączyć ze sobą dwa odcinki rury o tej samej średnicy. Operację tę dla wielu tworzyw można przeprowadzić na zimno, choć łatwiej przeprowadzić ją na gorąco, ogrzewając końcówkę rury w gorącej wodzie, oleju lub w łaźni piaskowej. Ogrzaną rurę wciskamy na cylindryczny stempel o kształcie pokazanym na rys. 4 i grubości równej zewnętrznej średnicy rury. Dla ułatwienia procesu rozpęczania stempel również powinien być ogrzany, a jego powierzchnia pokryta smarem, np. olejem silikonowym. Po ostygnięciu, rozpęconą rurę zdejmujemy z narzędzia metalowym pierścieniem nałożonym wcześniej na stempel.

Gdy chcemy wykonać pojedyncze połączenie dwóch odcinków rury o tej samej średnicy, a nie mamy stempla o potrzebnej średnicy, czynność rozpęczania możemy przeprowadzić bez narzędzi kształtujących. W zamian koniec jednego z odcinków rury musimy zukosować pilnikiem lub na tokarce, następnie zaokrąglić zukosowanie i na



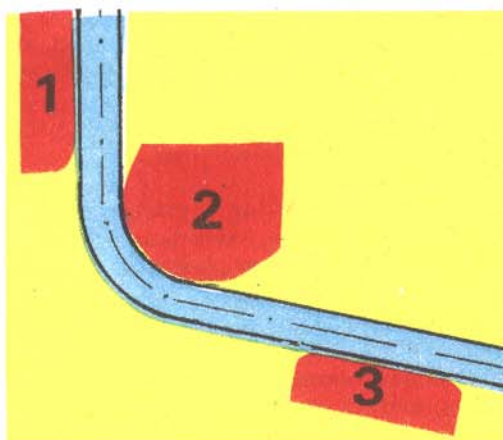
Rys. 1. Gięcie na ogrzanej przymie

Rys. 2. Gięcie z wytapianiem rowka



tak przygotowany koniec wcisnąć ogrzany koniec drugiej rury (rys. 5).

Rzadko stosowane spęczanie polega na doprowadzeniu do lokalnego zgrubienia średnicy rury w jednym, lub w kilku miejscach, np. przy formowaniu króćców do węży przy naczyniach, wanienkach laboratoryjnych itp. W tym celu rurkę z twardego PCW najlepiej podgrzać na całym obwodzie, ale w wąskim pierścieniu, np. w wąskim strumieniu ogrzanego powietrza, aż do stanu plastyczności, a następnie silnie ścisnąć wzdłuż osi. W efekcie na zewnętrznej średni-



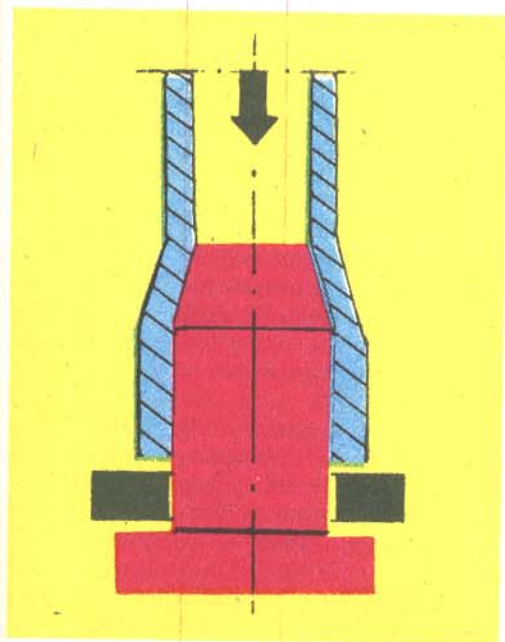
Rys. 3. Fragment szablonu do gięcia rur

cy rury uzyskamy niewielkie zgrubienie, jakby pierścienki przyklejone do powierzchni rurki, zabezpieczające przed zsunieniem się elastycznego węża.

Zwijanie spiral

W wielu przypadkach, zwłaszcza w domowych laboratoriach chemicznych celowe jest stosowanie instalacji wodnych, lub pneumatycznych z giętkich rurek z tworzyw sztucznych, np. rurek poliamidowych, dostępnych w handlu. Często wygodniej jest, gdy rurki te mają kształt sprężynujących spiral podobnych do spiralnych przewodów łączących słuchawkę z korpusem aparatu telefonicznego. Wykonanie takich spiral i to zarówno z rurek jak i z przewodów elektrycznych możliwe jest pod warunkiem wykonania prostego urządzenia pokazanego na rysunku 6.

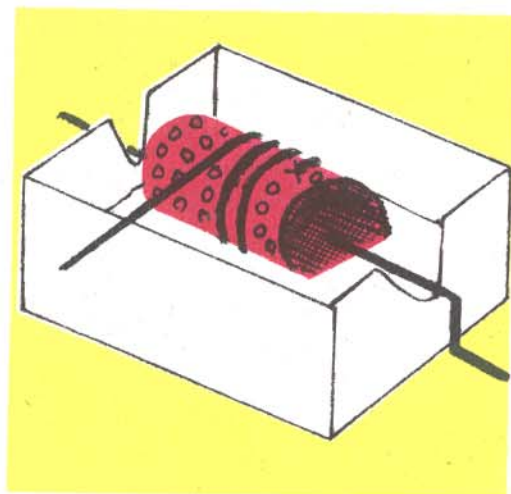
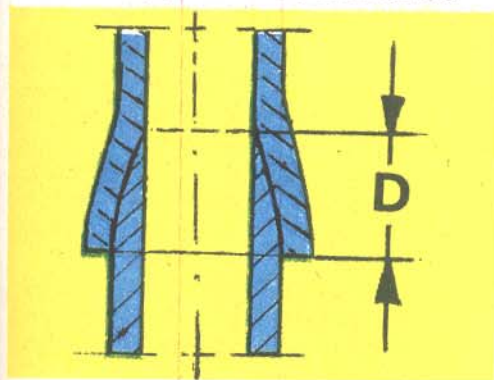
Przyrząd ten składa się z metalowej wanielki oraz metalowego bębna osadzonego



Rys. 4. Rozpęczanie rur na stemplu metalowym

na wykorbionej z jednej strony ośce. Do walcowatej powierzchni bębna – na obu jego końcach powinny być przymocowane uchwyty do krępowania zwijanej w spiralę rurki lub przewodu elektrycznego. Przed rozpoczęciem formowania spirali, waniankę napełniamy wodą lub olejem, do takiego poziomu aby dolna powierzchnia walca była zanurzona, ustawiamy nad palnikiem i ogrzewamy aż do uzyskania temperatury kształtowania. Do jednego z zacisków mocujemy koniec zwijanej rurki lub przewodu elektrycznego i pokręcając walcem (wykorbieńnię osi) nawijamy spiralę aż do końca –

Rys. 5. Rozpęczanie rur na rurce zukosowanej



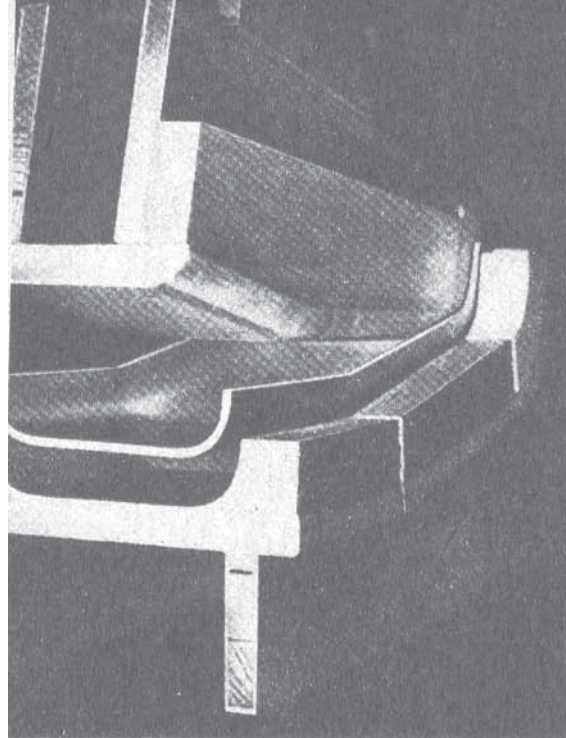
Rys. 6. Przyrząd do zwijania spiral z rurek i elektrycznych przewodów w otulinie z tworzyw sztucznych

mocując również jej drugi koniec. Po czasie niezbędnym do wyrównania temperatury w całej zwiniętej spirali (stałe obracamy walec), wyjmujemy walec z nawiniętą spiralą z gorącej kąpeli i szybko zanurzamy w zimnej wodzie na czas niezbędny do zamrożenia kształtu.

W przypadku zwijania rurek poliamidowych, kąpiel powinna uzyskać temperaturę $165 \pm 5^\circ\text{C}$ (konieczne stosowanie oleju). W przypadku przewodów elektrycznych najczęściej wystarcza kąpiel wodna, a w wielu przypadkach woda ogrzana do temperatury $80-90^\circ\text{C}$. Z tego względu możliwe jest zwijanie spiral z przewodów elektrycznych metodą uproszczoną, przez nawinięcie przewodu na mosiężną lub aluminiową rurkę (dobra przewodność cieplna – szybkie grzanie i szybkie chłodzenie) i zanurzenie jej w wannie z gorącą wodą, a następnie zahartowanie w zimnej wodzie. Gdy nawijamy przewód na rurkę metalową zimną, a potem całość ogrzewamy w kąpeli wodnej – przewód się wydłuża aż do luźnego zwisu na rurce. W celu uzyskania równych średnic wszystkich zwojów spirali, konieczne jest powtórne nawinięcie rozluźnionej spirali na rurce w sposób zapewniający ścisłe przyleganie.

Prasowanie i tłoczenie

Wszystkie dotychczas omówione procesy należą w zasadzie do jednej odmiany procesów kształtowania – zginania. Umożliwiają



Rys. 7. Przykład drewnianej matrycy (dół) i stempla (górnica) do tłoczenia przestrzennych kształtów z płyt

one zmianę kształtu formowanego materiału w jednym tylko kierunku – wokół promienia gięcia, a więc pozwalają na ukształtowanie stosunkowo prostych elementów, lub stwarzają konieczność łączenia kilku metod przetwórstwa tworzyw – obróbki skrawaniem, kształtowania na gorąco i klejenia, zgrzewania lub spawania wytworzonych elementów, w celu uzyskania finalnego wyrobu o bardziej skomplikowanych kształtach, np. naczyń, pojemników, zabawek itp. Znacznie bardziej skomplikowane kształty, np. kształt karoserii modelu samochodu lub statku można wykonać z tworzyw sztucznych metodą tłoczenia z płyt lub folii. Warunkiem jest wcześniejsze wykonanie odpowiednich narzędzi – matrycy i stempla do tłoczenia i dobór optymalnych warunków procesu.

W procesie tłoczenia i wszystkich innych procesach kształtowania przestrzennego (z wyjątkiem procesu prasowania) najdogodniej jest ogrzewać kształtowane tworzywo przy zimnej matrycy i stemple. Umożliwia to wykonywanie narzędzi z łatwych do obróbki tworzyw, jak drewno czy tworzywa sztuczne laminowane (o wytwarzaniu przedmiotów, w tym również narzędzi metodą laminowa-

nia napiszemy w jednym z następnych numerów „MT”).

Przykład konstrukcji drewnianej matrycy i stempla do tłoczenia kształtowego wyrobu z płaskiej płyty, pokazano na rys. 7. Najważniejsze zasady przy wykonywaniu takich narzędzi to:

- należy unikać ostrych krawędzi, promienie krzywizny matrycy, a więc i kształtowanego materiału, nie powinny być mniejsze od dwukrotnej grubości materiału; im większy promień krzywizny tym pewniej i łatwiej uzyskamy wyrób finalny;
 - wszystkie wymiary kształtującej powierzchni stempla powinny być mniejsze od odpowiadających im wymiarów matrycy o wymiar równy grubości kształtowanej płyty powiększony o 10 do 15%;
 - powierzchnie kształtujące matrycy a szczególnie stempla, powinny być możliwie gładkie, bez rys, pęknięć itp. – w łatwy sposób można to uzyskać przez nasycenie powierzchni lakierem z żywic, np. epoksydowych i następnie wypolerowanie;
 - w warunkach domowych łatwiej jest kształtować płyty o wymiarach większych niż konieczna powierzchnia wyrobu finalnego, a nadmiar materiału obciąć po wyjęciu gotowego wyrobu z matrycy;
 - gdy kształtujemy metodą tłoczenia wyroby z cienkich płyt, folii lub tworzyw, które można ciąć nożem, matrycę i stempel można wykonać w sposób pokazany na rys. 8a – gdy chcemy mieć wyrób bez kołnierza, lub 8b – gdy wyrób powinien być wzmocniony kołnierzem; na obu rysunkach trójkątem oznaczono płaszczyznę, wzdłuż której obcinamy zbędny kształt wytłoczki;
 - w przypadku, gdy zależy nam na dokładnym odwzorowaniu kształtów wyrobu oraz na zwiększeniu trwałości narzędzi, stempel powinien być prowadzony względem matrycy metalowymi kołkami mocowanymi do matrycy i metalowymi tulejkami mocowanymi w stemple.
- Podstawowym parametrem procesu tłoczenia jest odpowiednio dobrana temperatura nagrzania kształtowanego tworzywa, tj. temperatura, w której tworzywo ma naj-

większą ciągliwość. Dla PCW optymalną temperaturą jest jak wiemy 130°C. Gdy materiał rwie się i pęka podczas tłoczenia, należy obniżyć temperaturę kształtowania nawet do 100°C. W tej temperaturze PCW wykazuje największe wydłużenie (380%), choć traci temperaturową trwałość kształtu.

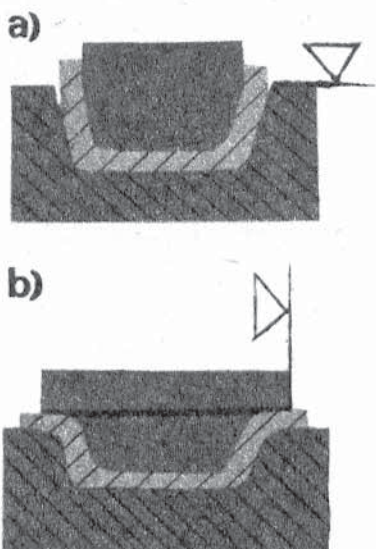
Drugim parametrem jest nacisk, lub prościej, siła z jaką musimy naciskać na stempel właczający tworzywo w matrycę. Jej wartość wzrasta z grubością i powierzchnią tłoczonego materiału oraz głębokością tłoczenia. Siłę tłoczenia możemy zmniejszyć przez dobór temperatury kształtowania.

Tą samą metodą, stosując stempel rzeźbiony we wzory lub napisy oraz układając płytę z tworzywa sztucznego na płaszczyźnie możemy wytłaczać w tworzywach sztucznych powierzchniowe wzory, własne znaki firmowe, inicjały lub teksty. Wzory dekoracyjne możemy wykonać we własnym zakresie, rzeźbiąc bezpośrednio w drewnianym stemple, lub wykorzystując gotowe elementy, np. czcionki drukarskie osadzone w stemple i wciskane w uplastycznione tworzywo.

Pewną odmianą omówionych procesów kształtowania przestrzennego jest prasowanie tworzywa z postaci rozdrobnionej. Metodą tą można wytwarzać, np. przestrzenne wyroby z poliamidu, tj. tworzywa, o którym wcześniej pisaliśmy, że jest praktycznie nieobrabilne w warunkach domowych. Również i w tym przypadku, konieczne jest specjalne oprzyrządowanie – dwudzielna forma metalowa skonstruowana podobnie jak forma do tłoczenia pokazana na rys. 8b. Metalową matrycę takiej formy napełniamy rozdrobnionym poliamidem, przykrywamy stemplem, wkładamy do piekarnika silnie obciążając i ogrzewamy do temperatury około 130°C. Pod wpływem temperatury i nacisku skrawki tworzywa łączą się ze sobą tworząc gotowy wyrób. Jego jakość zależy od równomiernego ogrzania, wielkości nacisku, konstrukcji formy oraz sposobu ułożenia rozdrobnionego tworzywa w matrycy, a więc od wielu czynników trudnych do skontrolowania w warunkach jakimi dysponujemy.

Formowanie podciśnieniowe

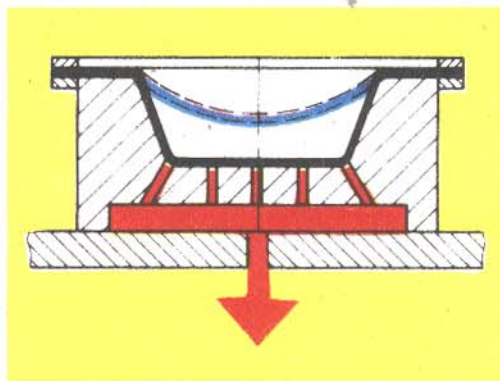
Gdy chcemy kształtować przestrzenne wyroby z cienkich folii o grubości mniejszej od 1 mm, zamiast formowania stemplem



Rys. 8. Dwie wersje konstrukcji stempla

wciskającą płytę w matrycę możemy stosować tylko samą matrycę. Istota procesu polega na wykonaniu w korpusie matrycy kanalików o niewielkim przekroju, które pod matrycą łączą się we wspólną komorę, zakończoną króćcem połączonym z pompą próżniową. Zasadę procesu oraz budowę matrycy ilustruje rys. 9. Cienka folia z miękkiego polietylenu (PE₁), szkła organicznego (PMMA), polistyrenu (PS) lub polichlorku winylu (PCW) ogrzana do temperatury największego wydłużenia, nakładana jest na górną powierzchnię matrycy i dociśnięta do matrycy ramką. W wyniku ogrzania, pod własnym ciężarem zwisa w głąb matrycy w sposób pokazany kolorem niebieskim. Po włączeniu pompy próżniowej, pompki wodnej lub nawet domowego odkurzacza, kanałami zaznaczonymi czerwonym kolorem wypompowywane jest powietrze z wnętrza matrycy, zamkniętej folią, a folia pod działaniem ciśnienia atmosferycznego, działającego na jej górną powierzchnię, odkształca się przyjmując kształt wnętrza matrycy.

Zaletą formowania podciśnieniowego jest możliwość wytwarzania matrycy z dowolnego materiału, w tym również z gipsu, a więc łatwość wykonania matrycy metodą odlewania. Otwory odpowietrzające powinny mieć możliwie małą średnicę, szczególnie w przypadku formowania PMMA (poniżej 1



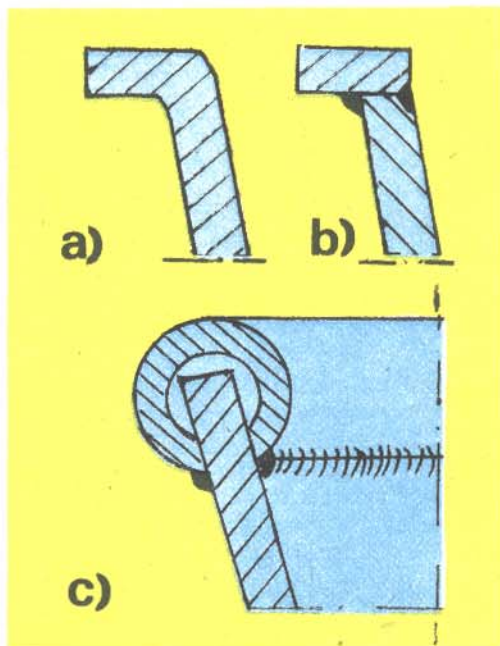
Rys. 9. Zasada formowania podciśnieniem

mm). W gipsie łatwo wykonać je, np. przez zalanie żyłek nylonowych, które możemy wyciągnąć po zakończonej reakcji utwardzania gipsu.

★

Na zakończenie jeszcze raz uwagi o charakterze ogólnym. Uwaga pierwsza dotyczy wyboru tworzywa. Wszystkim początkującym proponujemy polichlorek winylu (PCW). W stanie ogrzanym wykazuje on doskonałą plastyczność, daje się bardzo łatwo kształtować i to zarówno w wysokich jak i niskich temperaturach – nawet w zwykłej, łatwo

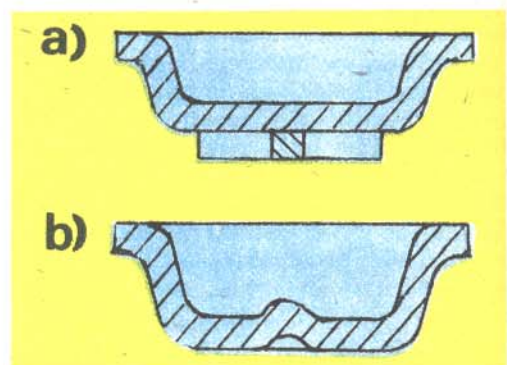
Rys. 10. Sposoby wzmocnienia brzegów naczyń



dostępnej kąpieli wodnej. Każdy błąd łatwo jest naprawić przez ponowne ogrzanie odkształconego tworzywa, co powoduje jego powrót do pierwotnego kształtu.

Uwaga druga dotyczy spraw zupełnie odmiennych – wytrzymałości naszego wyrobu. W części „Tworzywa sztuczne – własności i ich wykorzystanie” mówiliśmy o wytrzymałości zależnej od tworzywa z jakiego wykonano wyrób i sposobu obciążenia wyrobu.

Kształtowanie przestrzenne to m.in. wykonywanie różnych zbiorników, często znacznie obciążonych p. wlaną do nich cieczą. Duże obciążenie zwłaszcza zbiorników



Rys. 11. Sposoby wzmocnienia dna naczynia

o płaskich powierzchniach, może stać się przyczyną znacznych odkształceń, wybrzuszeń itp. Zwiększenie wytrzymałości można jak wiemy uzyskać stosując materiały o dużym przekroju, a więc w przypadku zbiorników formowanych z płyt – grubych ścianek. Sposób ten ograniczony jest jednak grubością materiału jakim dysponujemy, prowadzi do nadmiernego zużycia tworzywa i zbędnego wzrostu ciężaru wyrobu.

Górną ściankę otwartego naczynia można wzmocnić przez dodatkowe zagięcie brzegu, jak na rys. 10a, lub przyspawanie listwy jak na rys. 10b, gdy ścianki są płaskie, albo usztywnienie rozciętą rurką nałożoną na górną krawędź i przyspawaną, jak na rys. 10c – gdy ścianka ma kształt cylindryczny. Celowym jest również usztywnianie dna naczyń o dużych wymiarach poziomych (np. kuwety fotograficzne). Stosunkowo prostym sposobem jest przyspawanie pod dnem naczynia krzyżujących się listew, jak na rys. 11a. Znacznie większą sztywność zapewnia wytłoczenie na dnie rowków, jak na rys. 11b.

Krzysztof Błaszowski