

Kształtowanie na gorąco

W jednym z poprzednich numerów, w artykule pt. „Tworzywa sztuczne – własności i ich wykorzystanie” zamieściliśmy tabelkę zatytułowaną: „Gotowe elementy konstrukcyjne z tworzyw sztucznych”, a w niej takie tytuły rubryk jak: części wtryskowe, części prasowane, pojemniki dmuchane itp. Tytuły te mówią m.in. o sposobach wytwarzania części maszyn i wyrobów rynkowych z tworzyw sztucznych – oczywiście w warunkach przemysłowych, w warunkach produkcji wielkoseryjnej a nawet masowej. Materiałem wyjściowym w takich warunkach przetwórstwa są tworzywa w postaci granulatu w formie rozdrobnionej lub w postaci tabletek, wymieszane ze środkami modyfikującymi własności tworzyw, z plastyfikatorami, barwnikami itp. Po wstępnym ogrzaniu do stanu plastyczności lub po nadaniu im postaci upłynnionej nadaje im się kształt wyrobu finalnego przez ich wtrysnięcie lub wtłoczenie do specjalnych form o kształtach odpowiadających kształtom żadanego wyrobu.

Wszystkie przemysłowe metody przetwórstwa tworzyw sztucznych mają jedną podstawową zaletę – umożliwiają szybkie wytwarzanie części o praktycznie dowolnie skomplikowanych kształtach. Przykład przemysłowego kształtowania tworzyw sztucznych ilustruje rys. 1. Tworzywo oznaczone kolorem czerwonym, uplastycznione przez ogrzanie specjalnymi elementami grzejnymi wtłaczane jest do chłodzonej formy, w której ulega zestaleniu w wyniku oziębienia. Wystarczy teraz otworzyć formę, wyjąć gotowy wyrób, formę ponownie zamknąć i powtórzyć cały cykl produkcyjny. W taki właśnie prosty sposób, co kilka sekund otrzymujemy gotową część samochodu, wiadro, mydelniczkę lub dowolny wyrób spośród licznych widywanych w sklepach z artykułami gospodarstwa domowego.

Niestety, przemysłowe metody przetwórstwa tworzyw sztucznych mają jedną, ale za to bardzo poważną wadę – wymagają bardzo drogich maszyn i równie drogich narzędzi – form kształtujących gotowy wyrób. Sama tylko forma może kosztować kilkadziesiąt a w przypadku bardzo skomplikowanych

kształtów nawet kilkaset tysięcy zł. Tymczasem, jak wynika z rysunku 1 forma ta jest niewielka w porównaniu z całą maszyną a więc maszyna musi kosztować wielokrotnie więcej. Z tego i z wielu innych powodów żadnej z tych metod nie można adaptować do celów amatorskiej obróbki, do kształtowania tworzyw sztucznych w warsztacie majsterkowicza. Musimy radzić sobie inaczej, stosować metody prostsze, łatwiejsze i nie wymagające skomplikowanego oprzyrządowania. Ograniczy to nasze możliwości, zmusi do stosowania wielu różnych metod obróbki, do wykonywania wielu elementów składowych wyrobu a następnie ich połączenia w całość, ale przy dobrych chęciach i pomysłowości umożliwi wykonywanie prawie tak samo skomplikowanych części jak wykonywane metodami przemysłowymi (rys. 2).

Zacznijmy od wyjaśnienia tytułu. Kształtowaniem nazywamy wytwarzanie przedmiotów z tworzyw sztucznych polegające na wywołaniu odkształceń plastycznych w zimnym tworzywie, lub na wywołaniu odkształceń sprężystych w ogrzanim tworzywie, a następnie ich utrwaleniu przez wolne lub szybkie studzenie odkształconego tworzywa.

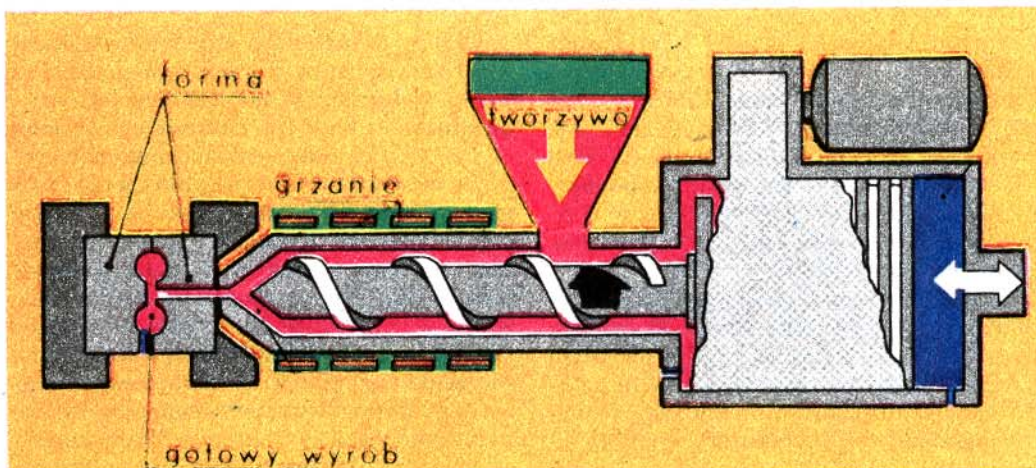
Podstawowe metody kształtowania jakie można stosować w warsztacie majsterkowicza to gięcie, tłoczenie, kształtowanie ciśnieniowe, kształtowanie podciśnieniowe i... prawie przemysłowe – prasowanie. Kształtowanie na zimno (w temperaturze pokojowej) możemy stosować tylko dla tych tworzyw, które charakteryzują się dużą plastycznością (zdolność do znacznych odkształceń plastycznych tj. zmiany kształtu bez zmiany objętości – jak plastelina) i małą elastycznością (tworzywa, które wykazują małą sprężystość).

Najprostszym, nie wymagającym specjalnego oprzyrządowania jest kształtowanie na zimno. W praktyce majsterkowicza stosowanie tej prostej metody możliwe jest jednak tylko w przypadku twardego PCW, który można wyginać podobnie jak kawałki blachy w zwykłym imadle lub na krawężnicy. Gdy zginana płyta jest gruba, w miejscu zagięcia pojawia się jasne, białawe odbarwienie PCW – dowód silnego przeciążenia zewnętrznej, rozciąganej warstwy tworzy-

wa. Ze względu na możliwość nadmiernego osłabienia konstrukcji, bezpieczniejsze jest ograniczenie kształtowania na zimno, zwłaszcza przy małym promieniu gięcia twardego PCW do folii o grubości nie większej niż 0,5 mm. Jeżeli zagięcie wykonaliśmy w nieodpowiednim miejscu, nie należy go prostować metodami mechanicznymi. Prostowana płyta prawie zawsze pęka w takich przypadkach w miejscu pierwotnego zagięcia. Zagięte miejsce należy podgrzać. W temperaturze powyżej 45°C rozpoczyna się samoistny powrót poodkształceniowy do kształtu pierwotnego.

Bez podgrzewania można kształtować również niektóre inne tworzywa (polipropylen – PP) ale pod warunkiem dużego promienia krzywizny, np. rury o dużej średnicy przy wytwarzaniu pojemników, wiader itp.

Podstawowe dla majsterkowicza jest jednak, zgodnie z tytułem niniejszego materiału, kształtowanie na gorąco – po ogrzaniu tworzywa sztucznego powyżej temperatury mięknięcia, do temperatury zależnej od tworzywa i warunków w jakich wykonywany przez nas przedmiot będzie pracował. Przykładem niech będzie kształtowanie twardego PCW. Temperatura mięknięcia tego tworzywa wynosi jak wiemy 70°C. Już w tej temperaturze twarde PCW mięknie, przechodzi w stan plastyczny, maleje jego wytrzymałość a rośnie wydłużenie, a w niewiele wyższej temperaturze łatwo nadać mu dowolny kształt. Temperatura mięknięcia jest również temperaturą „zamarzania”, a więc po ochłodzeniu poniżej tej temperatury PCW traci własności plastyczne a nadany mu kształt zostaje jakby „zamrożony”, utrwalony. Niestety, powtórne podgrzanie gotowego już wyrobu do temperatury mięknięcia powoduje wyzwolenie zamrożonych naprężeń powstałych podczas odkształcenia i powrót materiału do jego pierwotnej postaci. Nie można więc kształtować taką metodą np. naczynia przeznaczonego do pracy z gorącą wodą. Na nasze szczęście trwałość kształtu wzrasta wraz z temperaturą kształtowania. Im wyższa temperatura kształtowania, tym mniejsze są naprężenia i mniejsze niebezpieczeństwo powrotu do pierwotnego kształtu. Temperatury nie możemy jednak podwyższać dowolnie, grozi to termicznym rozkładem materiału, depolimeryzacją lub nawet samozapłonem. Dla twardego PCW przezna-



Rys. 1. Schemat maszyny do przemysłowego kształtowania wyrobów z tworzyw sztucznych

czonego do pracy „na gorąco” optymalna temperatura kształtowania to 130°C, ale można również bez szkody dla tworzywa i wyrobu kształtować go w temperaturze 145°C.

Podobnie jak twardy PCW zachowuje się również PCW miękki i szkło organiczne (PMMA).

Zupełnie inaczej zachowują się tworzywa, w których podwyższona temperatura prowadzi do zmian ich budowy (np. polietylen). W przypadku kształtowania tych tworzyw, temperatura musi ściśle odpowiadać temperaturze mięknięcia co bardzo utrudnia obróbkę w warunkach warsztatu majsterko-

wicza. Jeszcze trudniej kształtować w warunkach amatorskich poliamid. Temperatura mięknięcia jest niewiele niższa od temperatury topnienia poliamidu, a dłuższe oddziaływanie ciepła w temperaturze powyżej 100°C prowadzi do powierzchniowego utlenienia poliamidu, zmiany barwy a nawet jego rozkładu termicznego. W celu zapobiegnięcia tym niekorzystnym zjawiskom, poliamid należy ogrzewać do temperatury 120°C, ale w wilgotnej atmosferze tj. przegrzaną parą wodną co jest prawie niemożliwe w warunkach warsztatowych. W szczególnych przypadkach można przeprowadzić próby kształtowania poliamidu ogrzanego

Rys. 2. Przykłady części samochodowych z tworzyw sztucznych kształtowanych metodami przemysłowymi



w kąpeli wodnej. Wartości temperatury kształtowania niektórych tworzyw zebrano w tabelce. Niezależnie od tej tabelki celowe jest dokonanie własnych doświadczeń przez przeprowadzenie prób kształtowania próbek tworzywa jakim aktualnie dysponujemy, dobór optymalnej temperatury w konkretnych warunkach, sposobu ogrzewania i sposobu kształtowania.

Ważny dla majsterkowicza jest dobór sposobu ogrzewania kształtowanego tworzywa. Sposobów tych jest kilka. Najłatwiejszym w realizacji jest zanurzenie materiału przeznaczonego do kształtowania w gorącej wodzie ogrzanej do temperatury wyższej od temperatury mięknięcia tworzywa. Równie proste jest zastosowanie komory grzejnej – np. piekarnika w domowej kuchence gazowej lub elektrycznej, wyposażonej w termometr umożliwiający kontrolę i regulację temperatury. Ogrzewaną płytę możemy w komorze położyć (PCW) lub zawiesić (PMMA). W niektórych przypadkach, zwłaszcza gdy podgrzewamy tworzywo, np. rurkę tylko w miejscu gięcia, możemy zastosować nadmuch gorącego powietrza (suszarka do włosów) lub otwarty płomień palnika gazowego albo benzynowego (tzw. lutlampa – ale uwaga na niebezpieczeństwo pożaru). Otwarty płomień może spowodować zapalenie się ogrzewanego tworzywa. Z tego względu celowe jest nałożenie na palnik nasadki rurowej o takiej długości aby ogrzewane tworzywo nie stykało się bezpośrednio z płomieniem, a było tylko odmuchiwane gorącymi spalinami. Gdy chcemy ogrzać tworzywo do wysokiej temperatury, możemy zastosować tzw. łaźnię piaskową – płaski

pojemnik wypełniony czystym piaskiem kwarcowym ustawiony nad ogniem. Piasek trzeba stale mieszać, kontrolować jego temperaturę (termometr o zakresie co najmniej do 300°C) a płomień pod zbiornikiem wyregulować w taki sposób, aby piasek nie przegrzewał się nadmiernie. Znacznie prostsze jest stosowanie ogrzewania przez zanurzenie w gorącym, ogrzanym do żądanej temperatury oleju. W tym przypadku konieczne jest jednak stosowanie ciężkich lub umocowanych na stałe naczyń na olej w celu zabezpieczenia się przed ewentualnym wywróceniem naczynia i wylaniem oleju co może być przyczyną ciężkich poparzeń. Wadą kąpeli olejowej jest również konieczność odfuszczenia gotowych wyrobów przez mycie w detergentach.

W pewnych przypadkach, zamiast kształtowanych tworzyw, podgrzewać możemy metalowe narzędzia kształtujące – pryzmy, kliny, płyty, pręty lub specjalne narzędzia kształtowe.

Kolejnym ważnym zagadnieniem jest czas grzania kształtowanych tworzyw. Zależy on od rodzaju tworzywa a ściślej od jego przewodności cieplnej (patrz. tabl. 1 „MT” 9/83), ilości ciepła niezbędnego do przejścia w stan plastyczny, grubości materiału – im większa grubość tym dłuższy czas potrzebny do równomiernego ogrzania tworzywa w całej jego objętości oraz od sposobu ogrzewania. Ogrzewanie w komorach grzewczych – musi trwać zgodnie z prawami fizyki dłużej niż w kąpielach ciekłych czy na płytach metalowych. Ogrzewanie twardego polietylenu (przewodność cieplna 0,25–0,30) dłużej niż polietylenu miękkiego (0,30–0,36). Czas grzania musi być tak dobrany aby tworzywo zostało przegrzane do żądanej temperatury w całej jego objętości przynajmniej w miejscu, które chcemy odkształcać, ale nie za długo, gdyż może to doprowadzić do depolimeryzacji, pojawienia się pęcherzy lub innych wad powierzchniowych. Ze względu na różnorodność sposobów ogrzewania jakie może stosować majsterkowicz, oraz różnorodność tworzyw i ich odmian (modyfikatory i dodatki uszlachetniające dodawane do tworzyw) określenie jednoznacznych wytycznych w tym zakresie nie jest możliwe. W praktyce, konieczne jest doświadczalne ustalenie czasu ogrzewania na próbkach każdego nowego, kształtowanego po raz

Temperatura kształtowania niektórych tworzyw sztucznych na gorąco

Tworzywo	Temperatura mięknięcia °C	Temperatura kształtowania °C
PE ₁ Polietylen miękki	112 – 115	110 + 5
PE ₂ Polietylen twardy	127 – 130	130 + 5
PP Polipropylen	135	150 + 160 (180 + 200) ¹⁾
PA Poliamid	100	110 + 120 ²⁾
PS Polistyren	82	80
PCW ₁ Polichlorek winylu miękki	80	90 + 150
PCW ₂ Polichlorek winylu twardy	70	80 + 130 + 145
PMMA Polimetakrylan metylu	70	80 + 130 + 150

1) w nawiasie – dla formowania pod ciśnieniem

2) nagrzewanie w wilgotnej atmosferze parą przesyconą – optymalne wartości temperatury kształtowania

pierwszy tworzywa w zależności od sposobu grzania i grubości próbki.

Jak pamiętamy, kształtowanie na gorąco polega na ogrzaniu odkształceniu a następnie utrwaleniu odkształcenia przez wolne lub szybkie wystudzenie poniżej temperatury mięknięcia. Prawie wszystkie tworzywa wymagają szybkiego chłodzenia, natychmiast po nadaniu żadanego kształtu. Szybkie chłodzenie gwarantuje lepszą trwałość kształtu i wyższe wskaźniki techniczne gotowego wyrobu. Najprostszą i najskuteczniejszą metodą szybkiego schłodzenia jest zanurzenie kształtowanych wyrobów w wodzie lub przetarcie odkształconych części tworzywa nawilżoną gąbką lub ściereczką. W przypadkach gdy zastosowanie chłodzenia wodą jest niemożliwe – można zastosować nadmuch powietrza, np. z suszarki do włosów z wyłączoną grzałką. Wyjątkiem od tej zasady jest polietylen (PE), w którym proces ogrzewania prowadzi do zmiany struktury materiału w stan bezpostaciowy a chłodzenie – do rekryształizacji. Z tego względu, im wolniejsze chłodzenie odkształcanego polietylenu tym lepsze własności tego tworzywa w gotowym wyrobie.

Ostatnia uwaga o charakterze ogólnym dotyczy narzędzi do kształtowania. W większości przypadków temperatura kształtowania jest bardzo zbliżona do temperatury mięknięcia a więc i temperatury zamrażania kształtu. Spadek temperatury kształtowanego tworzywa poniżej temperatury mięknięcia praktycznie uniemożliwia kształtowanie lub stwarza konieczność stosowania znacznych sił co może doprowadzić do zniszczenia materiału. Kształtowane tworzywo w zetknięciu z narzędziem kształtującym nie powinno być więc intensywnie chłodzone. Z tego względu, kształtujące narzędzia metalowe powinny być ogrzane do temperatury wyższej od temperatury mięknięcia kształtowanego tworzywa. W wielu przypadkach wygodniej jest wykonywać narzędzia kształtujące z materiałów o złej przewodności cieplnej jak drewno, gips lub... tworzywa sztuczne. Gdy w procesie kształtowania występuje tarcie tworzywa o narzędzie (np. podczas tłoczenia stemplem) należy stosować smarowanie, np. olejem silikonowym. Szczególne wymagania muszą spełniać narzędzia do kształtowania szkła organicznego (polimetakrylan metylu PMMA). Tworzywo

to jest bardzo podatne na zarysowanie. Z tego względu, szczególnie w tych przypadkach, gdy chcemy zachować doskonałą przezroczystość polimetakrylanu metylu, narzędzia do jego kształtowania powinny być doskonale gładkie, wolne od porów i lokalnych wgłębień lub występow (takie same warunki powinny spełniać narzędzia do kształtowania wszystkich tworzyw) a ponadto – powinny być odciążone gładką, miękką, pozbawioną fałd tkaniną, np. sukniem dokładnie oczyszczonym z drobin kurzu. Dodatkowo, w celu zachowania doskonałej przezroczystości, formowane płyty ze szkła organicznego powinny być ogrzane równomiernie w całej objętości do temperatury 145–150°C, a więc znacznie wyższej od temperatury mięknięcia PMMA, i nieznacznie przechłodzone powierzchniowo przed ułożeniem na powierzchni narzędzia kształtującego. Krótkie przetrzymanie płyty ze szkła organicznego w powietrzu po wyjęciu z komory grzejnej, prowadzi do utwardzenia jej powierzchni co zabezpiecza przed wbijaniem się ewentualnych cząstek kurzu w powierzchniową warstwę tworzywa.

O warunkach kształtowania wyrobów z tworzyw sztucznych na gorąco wiemy już... prawie wszystko. Pozostałe wiadomości uzyskamy podczas prób praktycznych, prób które przeprowadza się zawsze przed zastosowaniem nowej technologii, przed wdrożeniem nawet najdoskonalszej, opracowanej po wielu badaniach instrukcji technologicznej. Próby takie przeprowadzają inżynierowie w laboratoriach i zakładach przemysłowych a tym bardziej powinien je przeprowadzić majsterkowicz. Nie tylko z uwagi na mniejsze doświadczenie i gorsze wyposażenie w narzędzia i urządzenia. Lepiej wykonać kilka doświadczeń na małych próbkach, niż zniszczyć cały materiał jakim dysponujemy. Pamiętajmy przy tym o podstawowej dla majsterkowicza zalecie tworzyw termoplastycznych – odkształcone w niepożądanym miejscu, w większości przypadków można odzyskać w wyniku powtórnego ogrzania. Tworzywo samo lub przy niewielkiej pomocy obrabiającego – powróci do pierwotnego kształtu.

Wiemy prawie wszystko o warunkach, a więc możemy przejść (w następnym odcinku) do omówienia sposobów kształtowania.

Krzysztof Błaszowski