

# P O L I M E R Y

MIESIĘCZNIK POŚWIĘCONY CHEMII, TECHNOLOGII I PRZETWÓRSTWU POLIMERÓW

ROBERT SIKORA

Politechnika Lubelska

Katedra Procesów Polimerowych

ul. Nadbystrzycka 36, 20-618 Lublin

## Obróbka tworzyw — zagadnienia podstawowe<sup>\*)</sup>

### POLYMER WORKING — GENERAL PROBLEMS

**Summary** — The outline of the development of polymer working since the turn of 19th century till modern times in Poland and in the world with 60 most important achievements enumerated and documented with available publications (81 references). General characteristics of working with theoretical principles, the place of the process of working in the process of manufacturing polymer elements and principles of physical processes of working has been done. Classification of working has been presented, divided into plastic forming and machining and further into methods and types, as well as place and role of working in the division into plastic forming and machining. Also: the language of image and its record including the record of appearances, algorithms, formulas and symbols; the record of construction, technology and material (polymer); computer-aid; characteristics of computer systems in polymer working; reflections on scientific output.

**Key words:** polymer working development, polymer plastics' forming, polymer machining, computer systems.

Otrzymywanie gotowych do użytkowania — w określonych warunkach — wytworów z tworzyw wielkocząsteczkowych o żądanej jakości może odbywać się w wyniku przetwórstwa lub obróbki tych materiałów. Na ogół uważa się, że przetwórstwo jest dziedziną bardziej reprezentatywną; znajduje to swoje odbicie w stanie naszej świadomości i literatury. Tak więc, na przykład, postępowi w przetwórstwie i podstawowym problemom przetwórstwa poświęcono w literaturze polskiej już dużo uwagi [1—3], czego nie można powiedzieć o obróbce. Słowo "przetwórstwo" mają również w swojej nazwie poważne instytucje; można tu np. wy-

mienić Katedry i Zakłady wyższych uczelni technicznych oraz Instytut Przetwórstwa Tworzyw w Toruniu, co wcale nie oznacza, że instytucje te nie zajmują się również obróbką. Wreszcie słowo to występuje w nazwach poczytnych czasopism, na przykład w Polsce wychodzi "Przetwórstwo tworzyw", a na świecie "International Polymer Processing"; to ostatnie ma wysoką pozycję na liście filadelfijskiej.

### HISTORIA ROZWOJU OBRÓBK I LITERATURY Z TEJ DZIEDZINY

Tworzywa poddaje się obróbce od ich zarania, trudno jest jednak wskazać zdarzenie, które można by uznać umownie za początek obróbki tworzyw. Procesy obrób-

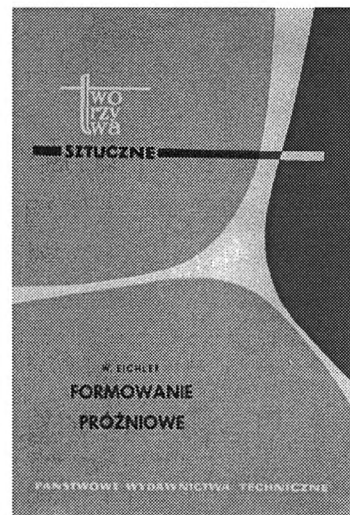
<sup>\*)</sup> Tekst wykładu otwierającego V Profesorskie Warsztaty Naukowe "Przetwórstwo tworzyw wielkocząsteczkowych", Toruń, 6—9 czerwca 2000 r.

ki skrawaniem rozwijano szerzej od chwili odkrycia tworzyw utwardzalnych na przełomie XIX i XX wieku. Początkowo stosowano obrabiarki i narzędzia do obróbki metali (w szczególności żelaznych) lub drewna, nie analizując dokładniej warunków obróbki tych materiałów. Z metod obróbki plastycznej stosowano rozciąganie próżniowe i rozdmuchowe, oczywiście w dość prostej postaci [4].

Dalszy jednak rozwój wytwarzania tworzyw i ich stosowania w latach trzydziestych spowodował rozleglejsze zainteresowanie się problemami obróbki. W 1934 r. H. Ferchland [5] przedstawił rozprawę doktorską dotyczącą badań przecinania piłą tarczową fenolowych laminatów papierowych i tkaninowych. W latach trzydziestych zalecano też warunki podstawowych metod obróbki skrawaniem oraz wykrawania tworzyw utwardzalnych, np. fenolowych [6–8]. W 1938 r. opublikowano patent amerykański nr 2 108 181 dotyczący rozciągania próżniowego i rozdmuchowego półkul z poli(metakrylanu metylu) średnicy 4 m. Najprawdopodobniej pierwszą książką w całości poświęconą obróbce skrawaniem tworzyw była praca A. I. Isaeva z 1943 r. [9]. Zagadnienia te zostały przez niego rozwinięte w 1949 r. [10]. W okresie II wojny światowej za pomocą rozciągania próżniowego — najpierw octanu celulozy, a później poli(metakrylanu metylu) — wykonywano szyby samolotowe [11]. Wytwarzano również metodą krajania płaskiego grube folie lub cieńsze płyty [12].

W opracowaniach książkowych obróbkę przedstawiano na ogół wspólnie z chemią i technologią tworzyw. Charakterystyczne było to, że zagadnienia chemii i technologii opisywano wyczerpująco i szeroko, zagadnienia obróbki — w sposób uproszczony, często odbiegający od ówczesnego stanu wiedzy o niej. Występowało to również w poczytnych w Polsce monografiach (tłumaczeniach): w pracy zbiorowej pod redakcją R. Houwinka [12] i w książce E. Barga [13]. Wiadomości o obróbce często nawet nie ujmowano w oddzielny podrozdział, lecz przedstawiano je pod różnymi nieadekwatnymi tytułami, np. pod tytułem "Żywice akrylowe" [12]. W tej sytuacji szczególnej rangi nabiera pierwsza w języku polskim (1960 r.) książka W. Eichlera [14] poświęcona rozciąganiu próżniowemu; jest to do tej pory jedyna książka polska w całości poświęcona obróbce plastycznej tworzyw (rys. 1). Stan wiedzy o obróbce tworzyw zwiększał się systematycznie, ale znacznie wolniej niż samo przetwórstwo, mimo że obróbka skrawaniem tworzyw czerpała bardzo dużo z obróbki skrawaniem metali, będącej wówczas najbardziej rozpowszechnionym sposobem obróbki tych materiałów i mającej stosunkowo bogatą literaturę.

Z metod obróbki plastycznej rozbudowywano również wykrawanie, cięcie, gięcie oraz krajanie, w którym wprowadzono krajanie obwodowe. Godna odnotowania jest poczytna w swoim czasie książka H. Zickla (1956 i 1963 r.), poświęcona obróbce skrawaniem tworzyw i ich cięciu, zwłaszcza nożycami gilotynowymi [15]. Stosunkowo dokładnie poznano warunki toczenia,

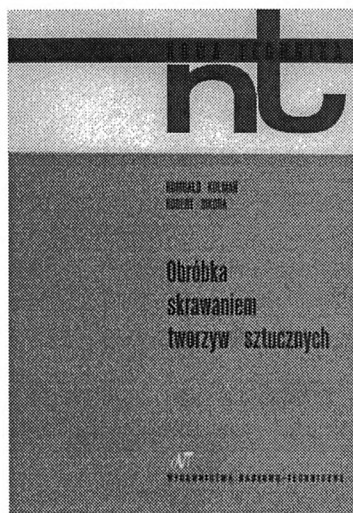


Rys. 1. Wygląd okładki książki W. Eichlera (1960 r.)  
Fig. 1. Appearance of W. Eichler's book cover (1960)

wiercenia, frezowania, przecinania i szlifowania laminatów fenolowych [16] oraz ich wykrawania [17, 18]. Niektóre ustalenia B. Bobrynina z 1960 r. [18] dotyczące wykrawania są przytaczane w różnych późniejszych opracowaniach [19, 20] i nieco rozwijane [21, 22], nadal zachowując aktualność.

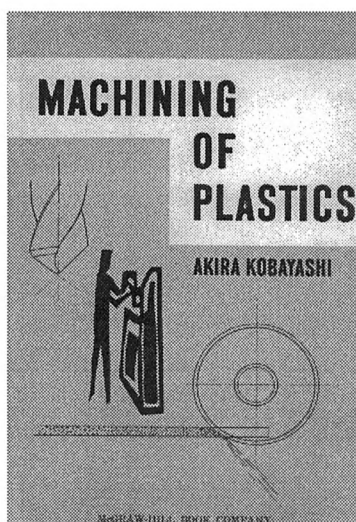
Obróbka skrawaniem była też przedmiotem rozległych i głębszych dociekań oraz badań naukowych. Już w 1958 r. J. Szyrajew i J. Stryczek opublikowali ważną pracę badawczą, poświęconą frezowaniu azotanu celulozy [23]. Od 1964 r. powstają w Polsce rozprawy doktorskie z zakresu obróbki skrawaniem tworzyw; otwiera je rozprawa J. Darlewskiego [24] dotycząca przecinania piłą tarczową fenolowych laminatów szklanych. Następną była rozprawa R. Sikory poświęcona skrawalności fenolowego laminatu drzewnego podczas toczenia [25]. Dotychczas w Polsce obroniono kilkanaście rozpraw doktorskich z zakresu obróbki tworzyw metodą skrawania (Politechnika Śląska, Gdańska, Wrocławska, Częstochowska i Poznańska). Pierwszą książką w całości poświęconą obróbce skrawaniem tworzyw (rys. 2) jest monografia R. Kolmana i R. Sikory z 1967 r. [20]. Warto zauważyć, iż ukazała się ona w tym samym roku co książka A. Kobayashiego [26] uznana powszechnie za wydarzenie przełomowe (rys. 3). W 20 lat później A. Kobayashi [27] streścił i zaktualizował wiadomości przedstawione w swojej książce.

W drugiej połowie lat sześćdziesiątych zaczynają pojawiać się w literaturze krajów rozwiniętych pierwsze informacje o adaptowaniu metod obróbki plastycznej metali do obróbki plastycznej tworzyw; przede wszystkim dotyczy to ciągnięcia, prasowania i wyciskania [28, 29]. Już kilka lat później zaczęto zajmować się tą problematyką w Polsce; publikacje w tym zakresie otwiera praca W. Dębskiego i K. Bielefeldta [30] oraz praca W. Dębskiego, T. Koszli i B. Olachowskiego [31] — obie z 1974 r. W 1976 r. K. Bielefeldt [32] pisze pierwszą w Polsce rozprawę doktorską z zakresu obróbki plastycznej



Rys. 2. Wygląd okładki książki R. Kolmana i R. Sikory (1967 r.)

Fig. 2. Appearance of R. Kolman's and R. Sikora's book cover (1967)



Rys. 3. Wygląd okładki książki A. Kobayashiego (1967 r.)

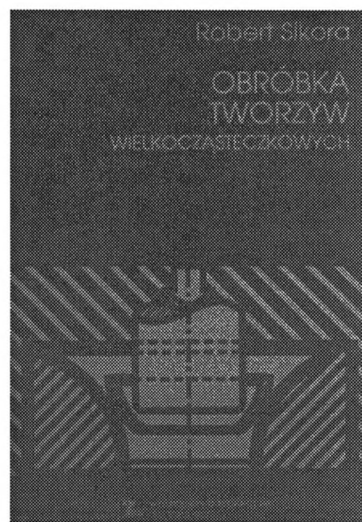
Fig. 3. Appearance of A. Kobayashi's book cover (1967)

— walcowania i ciągnięcia poliwęglanu oraz politrioksanu, w 1978 r. zaś publikuje informacje o możliwościach stosowania prasowania obwiedniowego tworzyw termoplastycznych [33], a następnie je rozszerza [34]. Jedną z metod obróbki plastycznej, które nie są dotychczas należycie wykorzystywane, stanowi nagniatanie; nie jest też bogata jego literatura [35], chociaż uzyskuje się bardzo interesujące rezultaty [36].

Począwszy od przełomu lat sześćdziesiątych i siedemdziesiątych rozwijano obróbkę skrawaniem laminatów, zwłaszcza szklanych, mają one bowiem szerokie zastosowanie w budowie maszyn, a zalicza się je do tworzyw trudno skrawalnych. Ukazały się w tym czasie opracowania książkowe poświęcone tej obróbce: P. I. Bulovskiego i N. A. Petrova [37], A. V. Rudneva i A. A.

Koroleva [38], M. F. Semki, G. K. Sustana i V. I. Drozhzhina [39], B. P. Shtuchnyi'ego [22, 40], A. A. Stepanova [41] oraz V. A. Kopina, V. L. Makarova i A. M. Rostovceva [42]. W Polsce wydano interesującą książkę J. Darlewskiego [43]. Ważny wkład w rozwój obróbki skrawaniem laminatów wnieśli prace W. Königa i współpracowników z lat osiemdziesiątych [44, 45]. Duże zainteresowanie budzi obróbka precyzyjna laminatów; wyróżnić tu można prace R. Sikory, K. Kamyszka, J. Roguszcak i J. Kuczmaszewskiego [46—50], dotyczące przecinania za pomocą ściernic diamentowych, toczenia i wiercenia. Prace J. Koszkula [51—53] powiększają stan wiedzy o strukturze geometrycznej powierzchni tworzyw termoplastycznych, głównie po toczeniu i frezowaniu.

Granulowanie tworzyw jest znane od czasu wyprodukowania pierwszych tworzyw termoplastycznych, ale poważniejsze prace badawcze w tym zakresie przeprowadził dopiero J. P. Gottberg w 1969 r. [54], a w Polsce proces ten badał obszernie R. Konieczka [55]. Aglomerowanie folii datuje się w zasadzie od lat siedemdziesiątych, jednak publikacje poświęcone aglomerowaniu mają w zdecydowanej większości charakter bardzo techniczny i handlowo-reklamowy. Istotny wkład w jego bliższe poznanie i rozwój wnieśli M. Bieliński [56, 57] oraz R. Konieczka [58], który też jest autorem pierwszej w Polsce rozprawy habilitacyjnej z tej problematyki [59].



Rys. 4. Wygląd okładki książki R. Sikory (1996 r.)

Fig. 4. Appearance of R. Sikora's book cover (1996)

Należy wreszcie odnotować, że w 1996 r. ukazała się drukiem obszerna monografia R. Sikory [60] poświęcona obróbce plastycznej i obróbce skrawaniem tworzyw (rys. 4). W obszarze problemowym obróbki plastycznej stanowi ona nowość, natomiast w dziedzinie obróbki skrawaniem jest uaktualnieniem i pogłębieniem wiadomości zawartych w książce [20] sprzed ponad trzydziestu laty.

## CHARAKTERYSTYKA OGÓLNA OBRÓBK

Obróbka tworzyw wielkocząsteczkowych jest w istocie częścią dwu działów — dyscyplin naukowych technologii maszyn (wchodzącej w zakres nauki o wytwarzaniu), zwanych obróbką plastyczną i obróbką skrawaniem (ubytkową). Te z kolei stanowią zespół nauk syntetycznych, opierających się na twórczym połączeniu wybranych wiadomości z nauk podstawowych, takich jak fizyka, zwłaszcza mechanika, ciepło, termodynamika, elektrotechnika, elektronika, jak również matematyka, zwłaszcza wyższa, informatyka, statystyka i procesy losowe, teoria systemów, a także logika, ekonomia i filozofia. Nauki te są podstawą teoretyczną obróbki. Obróbka ma jednak już własną, jeszcze stosunkowo skromną, ale istotną i stale rozbudowywaną podstawę teoretyczną, którą stanowi połączenie i oryginalne rozwinięcie zagadnień mających charakter na ogół bardzo specyficzny i niekiedy peryferyjny dla wymienionych nauk podstawowych. Ma również własne oryginalne osiągnięcia metodologiczne.

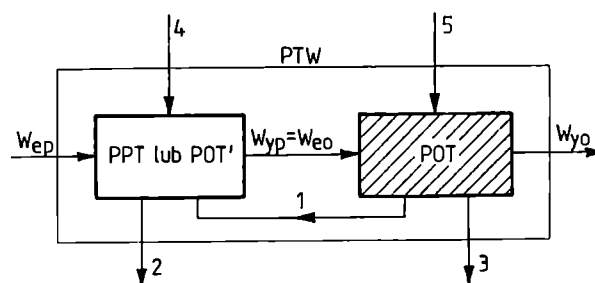
Podstawy teoretyczne nauki o obróbce tworzyw opierają się na dokonaniach geniuszy: R. Hooke'a (1635—1703), I. Newtona (1643—1727), J. C. Maxwella (1831—1879), L. E. Boltzmana (1844—1906) i T. W. Kelvina (1824—1907) oraz całej rzeszy ludzi nieprzeciętnych i wybitnych, z których można wymienić — obok osób podanych przy okazji przedstawiania zarysu historii obróbki — dla przykładu takich jak T. Young (1773—1829), Saint-St Venant (1797—1886), L. J. Vicat (1786—1861), J. Bauschinger (1834—1893), W. Voigt (1850—1919), F. W. Taylor (1856—1915), V. Volter (1860—1940), E. C. Bingham (1878—1945), H. Staudinger (1881—1965), J. M. Burgers (1895—) oraz — w Polsce — M. T. Huber (1872—1950), T. Pełczyński (1906—1983), L. Sadok (1941—1997), Z. Marciniak (ur. 1918), J. Kaczmarek (ur. 1920), A. Gałęski (ur. 1945).

Integracja obróbki różnych materiałów jest mała. W dalszym ciągu oddzielnie ujmuje się obróbkę metali, drewna, ceramiki itd. Również obróbka tworzyw jest mało zintegrowana z obróbką innych materiałów i przedstawiana oddzielnie, chociaż w dużej mierze opiera się na bardzo już rozwiniętych wiadomościach o obróbce metali i drewna.

Proces obróbki stanowi część składową procesu wytwarzania elementów z tworzyw. Tworzywo wejściowe do procesu obróbki może występować — w przeciwieństwie do tworzywa wejściowego w procesach przetwórstwa — tylko w dwóch stanach skupienia, mianowicie w stanie stałym i (rzadziej) plastycznym oraz mieć postać wyłącznie większych elementów, np. płyt, arkuszy, folii, brył, wałków i prętów o różnych przekrojach poprzecznych, litych, porowatych lub pustych.

Tworzywo wejściowe otrzymuje się w procesach przetwórstwa i niekiedy obróbki, zwanych w tym przypadku pierwotnymi. Na przykład, w procesie wytłaczania otrzymuje się płyty, które po cięciu mogą być poddawane procesowi ciągnięcia, w rezultacie czego uzyskuje

się gotowe do użytkowania wytłoczki, a te z kolei mogą być wiercone. Tworzywo wyjściowe z procesów obróbki ma stan wyłącznie stały, ale występuje w postaci elementów o różnych wymiarach, w tym też w postaci ziarn. Relacje wymienionych procesów technologicznych są dość złożone (rys. 5).



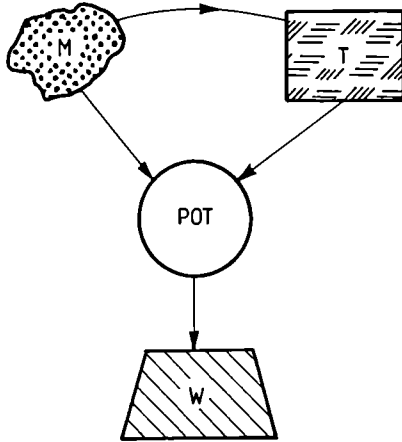
Rys. 5. Schemat obrazujący stosunki procesu obróbki tworzyw (POT) w procesie wytwarzania (PTW): PPT — proces przetwórstwa tworzyw,  $W_{ep}$  — wielkości wejściowe do PPT lub POT',  $W_{yp}$  — wielkości wyjściowe z PPT lub POT', będące jednocześnie wielkościami  $W_{eo}$  do POT,  $W_{yo}$  — wielkości wyjściowe z POT; 1 — wielkości wyjściowe zwrotne z POT oddziałujące na PPT lub POT', 2 — wielkości wyjściowe tracone z PPT lub POT', 3 — wielkości wyjściowe tracone z POT, 4 — wykonawca, otoczenie i zakłócenie oddziałujące na PPT lub POT', 5 — wykonawca, otoczenie i zakłócenie oddziałujące na POT (dla przejrzystości nie podano wielkości wyjściowych zwrotnych w PPT lub POT' oraz w POT)

Fig. 5. Relationships of polymer working process (POT) in manufacturing process (PTW): PPT — polymer processing,  $W_{ep}$  — input quantities to PPT or POT',  $W_{yp}$  — output quantities from PPT or POT', being simultaneously input quantities  $W_{eo}$  to POT,  $W_{yo}$  — output quantities from POT; 1 — reflexive output quantities from POT influencing PPT or POT', 2 — lost output quantities from PPT or POT', 3 — lost output quantities from POT, 4 — manufacturer, surrounding and disturbance influencing PPT or POT', 5 — manufacturer, surrounding and disturbance influencing POT (for clarity, reflexive output quantities in PPT or POT' and in POT are not presented on the diagram)

W procesach obróbki zachodzą (głównie wskutek działania sił zewnętrznych oraz występowania ruchu względnego wytworu obrabianego i narzędzia obróbkowego) złożone zjawiska fizyczne oraz zmiany geometryczne wytworu i w mniejszym stopniu — narzędzia. Prowadzone są one świadomie w celu uzyskania gotowych do użytkowania w danych warunkach wytworów o żądanej jakości, determinowanej przede wszystkim wymiarami, kształtem i wzajemnym położeniem elementów oraz odpowiednią warstwą wierzchnią. Wymienione kryteria jakości powinny mieścić się w przyjętych zakresach tolerancji nie tylko bezpośrednio po zakończonym procesie, ale również w założonym przedziale cza-

su po nim. Cel obróbki powinien być osiągany w sposób najbardziej racjonalny i ekonomiczny.

Wytwór powstaje więc ze "skojarzenia" myśli ludzkiej i tworzywa w procesie obróbki (rys. 6). Pojęcie "wytwór" jest najogólniejsze; w przypadkach ogólnych bywa stosowane pojęcie "przedmiot" (przedmiot poddawany obróbce), natomiast w przypadkach szcze-



Rys. 6. Istota powstawania wytworu: POT — proces obróbki tworzyw, M — myśl, T — tworzywo, W — wytwór

Fig. 6. Principles of creating a product: POT — polymer working process, M — thought, T — polymer, W — product

gółowych często jest ono zastępowane pojęciem charakterystycznym dla danej metody obróbki, np. w obróbce skrawaniem — przedmiot toczony, przecinany, frezowany itd., a w obróbce plastycznej — wykroj, kształtka, wytłoczka itd. Myśl — w omawianym znaczeniu — to proces tworzenia w umyśle twórcy:

— obrazu wytworu i następnie jego zapisywania — obecnie z reguły za pomocą techniki komputerowej — czyli proces konstruowania;

— działania technicznego i następnie jego zapisywania oraz urealnienia wspomaganego komputerowo, czyli proces opracowania technologicznego;

— tworzywa i następnie jego zapisania oraz urzeczywistnienia wspomaganego komputerowo, tzn. proces opracowania materiałowego.

#### KLASYFIKACJA OBRÓBKI

Klasyfikacja obróbki tworzyw, zgodna z teorią klasyfikacji [61], jest na tyle skomplikowana, że na ogół nie przeprowadza się jej, albowiem niemal w każdym przypadku można wysunąć wobec niej różne zastrzeżenia. Nawet niedoskonała klasyfikacja niesie jednak oczywiste korzyści, co spowodowało, że mimo to w niniejszej pracy przedstawimy próbę klasyfikacji.

Obróbkę tworzyw dzieli się na dwie podstawowe klasy: obróbkę plastyczną tworzyw i obróbkę skrawa-

niem tworzyw. Kryterium podziału jest powstawanie wióra. W toku obróbki plastycznej wiór nie powstaje, a podczas obróbki skrawaniem — powstaje i dlatego tą drugą klasę obróbki często nazywa się również obróbką wiórową lub ubytkową.

Obróbkę plastyczną dzieli się na grupy klasyfikacyjne, przede wszystkim według kryterium naruszenia spójności tworzywa poddawanego obróbce, mianowicie:

I. Obróbka z naruszeniem spójności tworzywa — narzędzie obróbkowe ma zagłębiające się w tworzywo ostrze tnące, na ogół klinowe, lub jest wyposażone w elementy robocze, działające destrukcyjnie na tworzywo; podczas obróbki powstaje odpad technologiczny o bardzo różnych kształtach i wymiarach — od brył do pyłu.

II. Obróbka bez naruszenia spójności tworzywa — w odpowiednio mocowanym tworzywie poddawanych obróbce, wywołuje się dwu- lub trójosiowy (płaski bądź przestrzenny) stan naprężenia, powodujący trwałe odkształcenie plastyczne tworzywa.

III. Obróbka łączona — w części wytworu następuje naruszenie spójności, a w części spójność nie zostaje naruszona.

IV. Obróbka kombinowana — wytwór poddaje się jednocześnie obróbce metodą plastyczną i skrawania.

Klasyfikację podstawową obróbki plastycznej tworzyw przedstawia tabela 1. W każdej grupie klasyfikacyjnej wyróżnia się metody obróbki plastycznej, a w każdej metodzie — odmiany (nie ujęte w tabeli). Stosunkowo największą liczbą ważnych odmian charakteryzu-

T a b e l a 1. Podstawowa klasyfikacja obróbki tworzyw<sup>\*)</sup>  
T a b l e 1. Basic classification of plastics processing

Obróbka tworzyw (OT)			
Obróbka plastyczna tworzyw (OPT)		Obróbka skrawaniem tworzyw (OST)	
grupa klasyfikacyjna	metoda obróbki	grupa klasyfikacyjna	metoda obróbki
I. Obróbka z naruszeniem spójności	rozdrabnianie, cięcie	I. Obróbka narzędziami jednoostrzowymi	toczenie, struganie
II. Obróbka bez naruszenia spójności	gięcie, kształtowanie, formowanie objętościowe, nagniatanie	II. Obróbka narzędziami kilkuostrzowymi	wiercenie i metody pochodne, granulowanie, aglomerowanie
III. Obróbka łączona	kształtowanie z cięciem	III. Obróbka narzędziami wieloostrzowymi	przeciąganie, przecinanie, frezowanie, obróbka gwintów i uzębień
IV. Obróbka kombinowana	nagniatanie ze skrawaniem, przebijanie, dziurkowanie	IV. Obróbka narzędziami o nieokreślonej liczbie ostrzy	obróbka luźnymi środkami ściernymi, przecinanie ściernie, szlifowanie, polerowanie

<sup>\*)</sup> Obejmuje ważniejsze metody obróbki plastycznej i skrawaniem.



je się kształtowanie. Dzieli się ono mianowicie na ciągnięcie, rozciąganie, obciskanie i rozpęczanie.

Obróbkę skrawaniem można klasyfikować według kilku kryteriów. Na przykład, według kryterium liczby ostrzy skrawających narzędzi obróbkowych obróbka ta dzieli się na następujące grupy klasyfikacyjne: obróbka narzędziami jednoostrzowymi, kilkuostrzowymi, wielostrzowymi i o nieokreślonej liczbie ostrzy. W każdej grupie wyróżnia się różne metody obróbki, co również pokazuje tabela 1.

Według innego kryterium jakie stanowi użyteczność wióra, obróbkę skrawaniem dzieli się na obróbkę, której celem jest wytworzenie wiórów o określonych właściwościach — jest to granulowanie i aglomerowanie — oraz obróbkę, w której proces kształtowania wytworu łączy się z koniecznością usunięcia pewnej objętości tworzywa, przechodzącej w wióry, będące produktem odpadowym skrawania; są to wszystkie pozostałe metody obróbki skrawaniem. Podobnie jak w przypadku obróbki plastycznej, metody obróbki skrawaniem, niezależnie od kryterium klasyfikacji, dzieli się na odmiany.

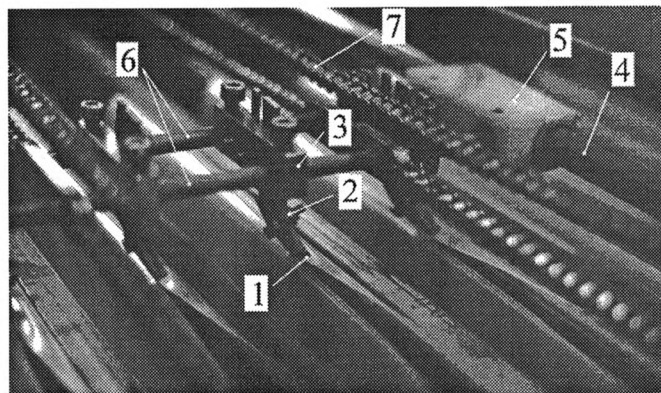
Definicje, charakterystyki i możliwości technologiczne poszczególnych metod i odmian obróbki tworzyw są przedstawione w cytowanej tu literaturze, a ich całościowe i zwarte omówienie znajduje się w monografii [60].

#### MIEJSCE I ROLA OBRÓBKİ

Analiza możliwości metod i odmian obróbki wraz z omówieniem ich zalet oraz wad pozwala, w zestawieniu z metodami i odmianami przetwórstwa, na wskazanie miejsca jak również roli obróbki w procesach wytwarzania elementów z tworzyw.

Obróbkę plastyczną z naruszeniem spójności tworzywa od dawna już traktuje się jednoznacznie jako obróbkę racjonalną, często niezastąpioną (rys. 7), z dalszą perspektywą rozwoju. Podobnie można potraktować obróbkę plastyczną bez naruszenia spójności, czyli kształtowanie, zwłaszcza w odniesieniu do szeroko stosowanego rozciągania próżniowego i rozdmuchowego. Natomiast obróbka plastyczna bez naruszenia spójności na drodze formowania objętościowego i nagniatania jest dotychczas stosowana znacznie rzadziej, przy czym formowanie objętościowe jest sposobem alternatywnym w stosunku do kilku metod przetwórstwa, przede wszystkim wtryskiwania, prasowania i odlewania.

Podstawowa zaleta obu grup klasyfikacyjnych obróbki, polegająca na znacznym i w dużej mierze sterownym polepszeniu właściwości wytworów, przewyższa wady (m.in. złożone i drogie narzędzia, konieczność precyzyjnego prowadzenia procesu obróbki w warunkach oddziaływania dużych sił i podwyższonej temperatury). Powoduje to, że obróbka tworzyw jest efektywnie stosowana mimo rysujących się barier, podobnych do występujących w obróbce plastycznej metali [62, 63],



Rys. 7. Rozcinanie folii rurowej w procesie wytwarzania worków opakowaniowych: 1 — nóż żyłkowy, 2 — oprawka noża, 3 — korpus oprawki noża, 4 — prowadnica wzdłużna, 5 — suwak z łożyskami ślizgowymi, 6 — prowadnice poprzeczne oprawek noża, 7 — łańcuch napędowy

Fig. 7. Cutting pipe film in manufacturing process of packaging bags: 1 — razor blade knife, 2 — knife holder, 3 — knife holder body, 4 — longitudinal guide, 5 — slide with plain bearing, 6 — crosswise guides of knife holders, 7 — driving chain

a więc bariery materiałowej, technologicznej, ekonomicznej i motywacyjnej.

Nieco więcej uwagi warto poświęcić obróbce skrawaniem. Stosunek do obróbki skrawaniem był w zasadzie dwojaki. Niektórzy autorzy jeszcze do końca lat sześćdziesiątych wręcz nią pogardzali. Obróbkę skrawaniem traktowano jako "proces pomocniczy", "stosowany jedynie w celu nadania ostatecznej postaci przedmiotowi", "proces nieekonomiczny i eliminowany" oraz "mało wydajny". Jednocześnie zaznaczano, że jest ona konieczna, a nawet niezbędna. Obróbkę tę stosuje się obecnie w dwu głównych kierunkach.

A. Obróbka całkowicie komplementarna w stosunku do przetwórstwa, bez której otrzymywanie gotowych do użytkowania w danych warunkach wytworów z tworzyw o żądanej jakości jest niemożliwe. Zalicza się do niej przede wszystkim następujące procesy:

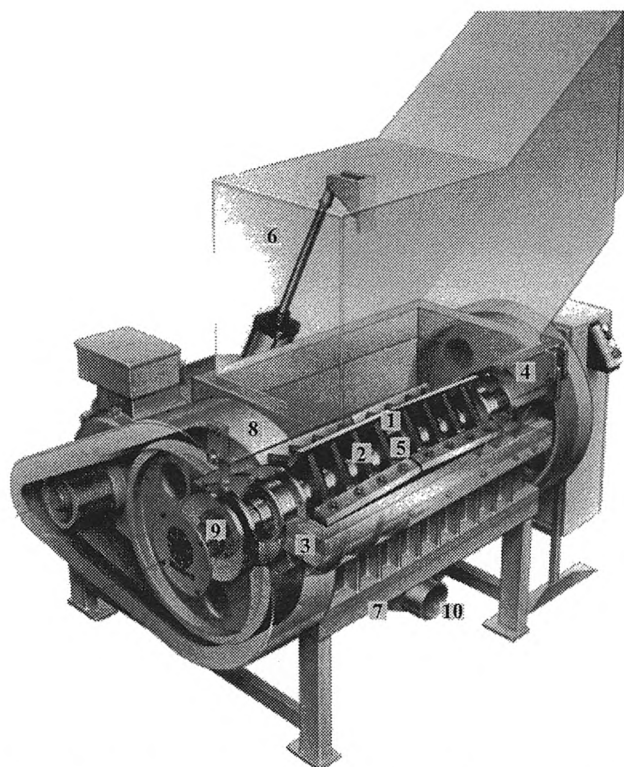
— Granulowanie (rys. 8); zdecydowana większość tworzyw jest dostarczana do przetwórstwa w postaci ziarn (granulek). Bardzo często postać tę nadaje się również tworzywom wtórnym.

— Aglomerowanie; za jego pomocą nadaje się folii i włóknom postać ziarn, właściwych ze względu na wymagania przetwórcze. Jest ono stosowane wyłącznie do tworzyw wtórnych.

— Przecinanie i wiercenie laminatów — na płytki z połączeniami drukowanymi do elektroniki, elementy tworzące konstrukcje skorupowe (nadwozia samochodów, kadłuby łodzi, zbiorniki itp.) lub do celów elektrotechnicznych (np. płyty tablic rozdzielczych).

— Usuwanie rąbków, wlewków przetwórczych itp., zwłaszcza w wypraskach wtryskowych i prasowniczych.

— Obróbka rur podczas montażu rurociągów i insta-



Rys. 8. Wygląd granuladora (firmy Rapid) do granulowania na zimno wytworów z tworzyw: 1 i 5 — noże ruchome, 2 — oprawki na wale noży ruchomych, 3 — korpus noży stałych, 4 i 9 — łożyskowanie, 6 — komora załadownicza, 7 — korpus granuladora, 8 — osłona układu napędowego, 10 — króciec do wysypywania granulatu tworzywa

Fig. 8. Appearance of a Rapid Co. granulator for cold granulating of polymer products: 1 and 5 — movable knives, 2 — holders on shafts of movable knives, 3 — body of immovable knives, 4 and 9 — bearings, 6 — feeding chamber, 7 — granulator's body, 8 — casing of the driving system, 10 — tip for pouring out polymer granules

lacji wodnych, gazowych, sanitarnych oraz sieci elektrycznych i telekomunikacyjnych.

— Przecinanie wytłoczyny, np. kształtowników, w liniach technologicznych wytłaczania.

B. Obróbka, którą można zastąpić przetwórstwem, o czym powinny decydować rezultaty optymalizacji ze względu na jakość, wydajność, koszty, pracochłonność, czas lub inne czynniki istotne w danych okolicznościach. Zalicza się do niej głównie:

— Wytwarzanie pojedynczych lub w małych seriach przedmiotów o dość skomplikowanych kształtach i dużych wymaganiach co do dokładności wymiaru; chodzi tu przede wszystkim o wytwarzanie oprzyrządowania technologicznego, prototypów i serii informacyjnych, modeli itp.

— Wytwarzanie kół zębatach, głównie z laminatów.

— Otrzymywanie wytworów z tworzyw o utrudnionej lub złej przetwarzalności; np. uszczelki pierścieniowe z politetrafluoroetylenem otrzymuje się w sposób prosty i tani w wyniku wiercenia i toczenia wałka.

— Wykonywanie próbek (kształtek) do badań właściwości (głównie fizycznych) tworzyw, np. zgodnie z wymaganiami ujętymi w odnośnych normach.

## KOMUNIKOWANIE SIĘ I TWÓRCZOŚĆ

W połowie XV wieku J. Guttenberg, pracując potajemnie, zapewne nie zdawał sobie sprawy, w jak dalekim stopniu zmieni świat. Zakonnik mógł przepisywać w ciągu roku jedną książkę, a Guttenberg wydrukował aż 180 książek, a również biblię liczącą 1000 stron. Zakonnikom nie brakowało jednak czasu i żyli ascetycznie, czyli przepisywali książki niewielkim kosztem, dlatego w 1458 r. Guttenberg — jak to się teraz ujmuje — zbankrutował. Drukarnstwo okazało się jednak idealnym sposobem na uporządkowanie chaotycznego, niczym wieża Babel, świata dźwięków mowy.

Drukowanie w znaczeniu klasycznym jest jednak metodą coraz bardziej ograniczaną. Już teraz wielu istotnych informacji nie drukuje się, a na przykład przekazuje na płytach CD-ROM. Prace naukowe prezentowane na dorocznej konferencji ANTEC'99, odbytej w Nowym Jorku w dniach 2—6 maja 1999 r., zamiast wydrukowania zostały zamieszczone właśnie na takich płytach, podobnie jak prace przedstawione na konferencji PPS-15 (s'Hertogenbosch, 31 maja — 4 czerwca 1999 r.). A przecież niektórzy przewidują, że niedługo znikną tradycyjne książki i czasopisma, bo literatura będzie istnieć wyłącznie w postaci cyfrowej. Być może nawet pisarzy zastąpią programy komputerowe o ustalonych schematach fabularnych. Czy nie wydaje się to nieco bezduszne, a nawet ponure?

W naszej kulturze nastąpiło przejście od języka słowa drukowanego do języka obrazu i dźwięku. Spotyka się to z brakiem pełnej akceptacji w niektórych środowiskach, na przykład ze strony ludzi nauki w średnim lub starszym wieku, wzmocnionym czynnikami psychospołecznymi. Język obrazu i dźwięku odwołuje się bowiem nie tylko do myśli [64], ale może nawet intensywniej i skuteczniej do zmysłów, w tym do skrótów.

Język dźwięku w naszych rozważaniach odgrywa dotychczas mniejszą rolę, zajmiemy się więc dalej językiem obrazu, a ściślej jego zapisem. Zapis obrazu dotyczy zapisu wizerunków, algorytmów, wzorów i symboli oraz obejmuje zapis konstrukcji, technologii i materiału (tworzywa).

Zapis obrazu, aby był poprawny, musi spełniać następujące warunki:

— warunek jednoznaczności — nie powinien wymagać dodatkowych wyjaśnień, a każdy odbiorca powinien odczytywać go identycznie;

— warunek zupełności — musi być koniecznym i wystarczającym przekazem dla odbiorcy;

— warunek spójności — poszczególne elementy składowe użyte do zapisu nie mogą przeczyć sobie;

— warunek celowości — rodzaj zastosowanych do

zapisu elementów składowych powinien odpowiadać celom stawianym zapisowi;

— warunek rozległości — liczba elementów składowych zastosowanych w zapisie powinna być jak najmniejsza, ale wystarczająca do zrozumienia go i efektywnego działania odbiorcy;

— warunek trwałości — zapis musi być trwały, zgodnie z wymaganiami archiwizacji (papier, kalka techniczna, pamięć zewnętrzna komputera);

— warunek efektywności — zapisana konstrukcja, technologia i materiał ma wywoływać odpowiednie wrażenie na odbiorcy.

Zapis konstrukcji jest stosunkowo dobrze poznany i rozwinięty [65, 66]. Podlegał on w ciągu lat znacznej ewolucji — od sytuacji, w której konstruktor był jednocześnie wytwórcą do daleko posuniętej specjalizacji [67]. W zapisie konstrukcji korzysta się z rysunku technicznego w postaci rzutów dwuwymiarowych — w razie rysowania klasycznego [68], oraz w modelu trójwymiarowym — w przypadku zapisu komputerowego [69]. Należy liczyć się z tym, że w bliskiej przyszłości proces projektowania, w tym zapisu konstrukcji i poprzedzającego go modelowania, będzie przebiegał od początku wyłącznie na modelu trójwymiarowym. Bywa to już standardem na przykład w programie komputerowym I-DEAS Master Series z modułem I-DEAS Master Modeler [70] lub w programie komputerowym Uni-graphics [71].

Zapis konstrukcji w pamięci komputera można nazywać modelem matematycznym konstrukcji. Pomimo to, że rysunek techniczny (dwu- i trójwymiarowy), jak każda inna informacja, jest przetwarzany przez komputer w postaci binarnej (cyfrowej), to z punktu widzenia projektanta pozostaje nadal rysunkiem technicznym, ale z rozległą i efektywną możliwością modelowania, modyfikacji, oceny i po prostu oglądania na ekranie komputera lub na ploterze.

Zapis technologii, zwłaszcza w obszarze projektowania procesów technologicznych, jest znacznie skromniejszy, ciągle jeszcze z raczej małym udziałem techniki komputerowej [72, 73]. Wynika to, jak można sądzić, ze specyfiki tego zapisu, oczekiwań mu stawianych i tradycji. Są tu jednak dostępne interesujące programy komputerowe, umożliwiające również modelowanie procesów technologicznych, na razie przetwórstwa, np. program Polyflow [74] lub Cadmould.

Zapis materiału (tworzywa) należy traktować umownie, dotychczas bowiem zapisuje się głównie skład chemiczny, właściwości i cechy materiału w postaci różnego rodzaju katalogów i rysunków, jak również algorytmy wyboru do określonych zastosowań [75—77].

O systemach komputerowych CADM, CAD, AutoCad, Solid Edge, CAM, CIM wspominałem już w opracowaniu [3]. Tu wypada dodać, że funkcjonują zintegrowane systemy projektowania, konstruowania i wytwarzania CAD/CAM/CAE (*Computer-Aided Design/Computer-Aided Manufacturin/Computer-Aided Engineering*) [78], przy czym przymiotnik "komputerowe" staje się tak oczywisty, że może być już pominięty. Jest ich wie-

le, np. wspomniany już I-DEAS Master Series z licznymi modułami [70], C-Mold Advanced Solutions [79], C-Mold Project Engineer [80], SolidWorks i AlphaCAM [81].

Niezależnie od stopnia doskonałości systemów komputerowych, twórczy pierwiastek procesu konstruowania, opracowania technologicznego i opracowania materiałowego — zawierający się przede wszystkim w kreowaniu innowacji, tj. nowych postaci konstrukcyjnych, nowych rozwiązań technologicznych i nowych rozwiązań materiałowych — pozostanie domeną człowieka, a więc twórcy-inżyniera; komputer pełni przy tym rolę pomocniczą. W sposób szczególny występuje tu związek z badaniami doświadczalnymi; przywodzi to na myśl słowa Leonarda da Vinci "Ja jednak mniemam, że płonne i pełne błędów są te nauki, które nie zrodziły się z doświadczenia, matki wszelkiej pewności".

Istnieją wreszcie pewne procesy intelektualne, zwane heurystyką, umożliwiające twórczość naukową nieopartą — przynajmniej w sposób świadomy — na przesłankach racjonalnych. Można, na przykład, postępując heurystycznie, stawiać hipotezy zrywające z dotychczas uznanymi poglądami oraz wprowadzające nowe informacje o obiekcie. Heurystyka może budzić kontrowersje, ale z pewnością jest fascynująca — pamiętajmy jednak o słowach A. Einsteina, że nie ma logicznej drogi do odkrycia naukowego.

## LITERATURA

- [1] Sikora R.: *Polimery* 1993, 38, 474. [2] Sikora R.: *Polimery* 1996, 41, 277. [3] Sikora R.: *Polimery* 1999, 44, 95. [4] Kaufman M.: "Pierwszy wiek tworzyw sztucznych", PWN, Warszawa 1966. [5] Ferchland H.: "Beitrag zum Problem der Bearbeitung von Kunstharz-Hartpapier und Hartgewebe auf der Kreissaege", Dissertation, TH Dresden 1934. [6] Beuerlein P., Reinartz A.: *Kunststoffe* 1937, 27, nr 12, 320. [7] Krüger A.: *Kunststoffe* 1935, 25, 277. [8] Thiessen E.: *Kunststoffe* 1937, 27, nr 11, 290. [9] Isaev A. I.: "Obrabotka rezaniem konstrukcionnykh plastmass". Wyd. Mashgiz, Moskwa 1943. [10] Isaev A. I.: "Obrabotka rezaniem konstrukcionnykh plastmass" w pracy zbiorowej "Mashinostroenie — Enciklopedicheskii spravochnik", tom 7. Wyd. Mashgiz, Moskwa 1949. [11] Estevez J. M. J.: "Formowanie próżniowe" w pracy M. Kaufmana "Pierwszy wiek tworzyw sztucznych", PWN, Warszawa 1966. [12] Praca zbiorowa "Elastomery i plastomery" (red. Houwink R.), tom II, PWN, Warszawa 1953. [13] Barg E. I.: "Technologia tworzyw sztucznych", PWN, Warszawa 1957. [14] Eichler W.: "Formowanie próżniowe", PWN, Warszawa 1960. [15] Zickel H.: "Das spanabhebende Bearbeiten der Kunststoffe", Carl Hanser Verlag, Monachium 1956 (wydanie I) i 1963 (wydanie II). [16] "Machining of laminates" w pracy zbiorowej "Modern Plastics Encyclopedia", wydanie 33., 1A (1955). [17] Bobrynin B. N.: *Plast. massy* 1960, nr 3, 33, 42. [18] Bobrynin B. N.: *Plast. massy* 1960, nr 5, 31, 37. [19] Brzeziński J.: "Laminaty termoutwardzalne", WNT,



- Warszawa 1963. [20] Kolman R., Sikora R.: "Obróbka skrawaniem tworzyw sztucznych", WNT, Warszawa 1967. [21] Tikhomirov R. A., Nikolaev V. I.: "Miekhanicheskaya obrabotka plastmass", wyd. Mashinostroenie, Leningrad 1975. [22] Zhytnik N. I., Gerasko M. A., Shtuchnyi B. P.: "Sprawochnik po obrabotke plastmass". wyd. Tekhnika, Kijów 1988. [23] Szyrajew J., Stryczek J.: Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej, Mechanika 5, Gliwice 1958. [24] Darlewski J.: "Badania wpływu warunków skrawania na zużycie ostrza, temperaturę skrawania i siły przy przecinaniu tworzyw fenolowo-formaldehydowych wzmocnionych tkaniną szklaną", rozprawa doktorska, Politechnika Śląska, Gliwice 1964. [25] Sikora R.: "Badania skrawalności lignofolu podczas toczenia", rozprawa doktorska, Politechnika Gdańska, Gdańsk-Wrocław 1969. [26] Kobayashi A.: "Machining of plastics", McGraw-Hill Book Company, Nowy Jork-San Francisco-Toronto-Londyn-Sydney 1967. [27] Kobayashi A.: "Michining", w pracy zbiorowej "Encyclopedia of Polymer Science and Engineering", t. 9., J. Wiley and Sons, Nowy Jork-Chichester-Brisbane-Toronto-Singapore 1987. [28] Coffman P. M.; Plastverarbeiter 1969, 20, nr 7, 522. [29] Bühler H., Finkenstein E.: *Werkstattstechnik* 1969, nr 11, 569. [30] Dębski W., Bielefeldt K.: *Polimery* 1974, 19, 326.
- [31] Dębski W., Koszła T., Olachowski B.: *Obróbka plastyczna* 1974, nr 4, 213. [32] Bielefeldt K.: "Wpływ walcowania i głębokiego ciągnięcia na niektóre właściwości mechaniczne krajowego poliwęglanu i politrioksanu", rozprawa doktorska, Politechnika Wrocławska, Wrocław 1976. [33] Bielefeldt K.: *Mechanik* 1978, 51, nr 1, 44. [34] Bielefeldt K.: *Kunststoffe* 1980, 70, nr 4, 198. [35] Shturman A. A., Berlin A. N.: *Vestnik mashinostroeniya* 1973, nr 8, 43. [36] Krzemiński J., Wiechowicz-Kowalska E.: *Polimery* 1981, 26, 441. [37] Bulovski P. I., Petrova N. A.: "Miekhanicheskaya obrabotka stekloplastikov", wyd. Mashinostroenie, Leningrad 1969. [38] Rudnev A. V., Korolev A. A.: "Obrabotka rezaniem stekloplastikov", wyd. Mashinostroenie, Moskwa 1969. [39] Semko M. F., Sustan G. K., Drozhzhin V. I.: "Obrabotka rezaniem elektroizolacionnykh materialov", wyd. Energiya, Moskwa 1974. [40] Shtuchnyi B. P.: "Obrabotka plastmass rezaniem", wyd. Mashinostroenie, Moskwa 1974.
- [41] Stepanov A. A.: "Obrabotka rezaniem vysokoprochnykh kompozicionnykh polimernykh materialov", wyd. Mashinostroenie, Leningrad 1987. [42] Kopin V. A., Makarov V. I., Rostovcev A. M.: "Obrabotka izdelii iz plastmass", wyd. Khimiya, Moskwa 1988. [43] Darlewski J.: "Obróbka skrawaniem tworzyw sztucznych warstwowych", WNT, Warszawa 1978 (wydanie I) i 1990 (wydanie II). [44] König W. i inni: *VDI Zeitschrift* 1984, 126, nr 21, 785. [45] König W., Grass P.: *Ind. Anzeiger* 1986, 79. [46] Sikora R., Kamyszek K.: *Mechanik* 1966, 39, nr 8, 350. [47] Kamyszek K., Sikora R.: *Ind. Diamond Rev.* 1968, 28, 333. [48] Roguszcak J., Sikora R.: *Zagadnienia eksploatacji maszyn* 1976, nr 2, 179. [49] Sikora R., Kuczmaszewski J.: *Plaste Kautsch.* 1987, 34, nr 8, 312. [50] Sikora R., Kuczmaszewski J.: *Przegląd Mech.* 1993, 42, nr 18, 19.
- [51] Koszkuł J.: "Badania skrawalności Tarnamidu B podczas czołowego frezowania głowicą frezową", rozprawa doktorska, Politechnika Częstochowska, Częstochowa 1975. [52] Koszkuł J.: *Postępy technologii maszyn i urządzeń* 1983, nr 4, 35. [53] Koszkuł J.: Zeszyty Naukowe Politechniki Częstochowskiej, Mechanika 21, Częstochowa 1985. [54] Gottberg J. P.: "Untersuchung des Schneidvorganges bei der Zerkleinerung von homogenen Weichstoffen am Beispiel hochpolymerer Kunststoffe", Dissertation, TU Braunschweig 1969. [55] Konieczka R.: "Wpływ hiperboloidalnego ustawienia krawędzi tnących noży na niektóre parametry pracy młyna nożowego do tworzyw sztucznych", rozprawa doktorska, Politechnika Gdańska, Gdańsk 1980. [56] Bieliński M.: "Wpływ zanieczyszczeń nawozowych na właściwości i wyłaczalność polietylenu", rozprawa doktorska, Akademia Techniczno-Rolnicza w Bydgoszczy, Bydgoszcz-Poznań, 1984. [57] Bieliński M.: "Materiałowa i przetwórcza charakterystyka wybranych termoplastycznych tworzyw wtórnych", Rozprawy 90, Akademia Techniczno-Rolnicza w Bydgoszczy, Bydgoszcz 1998. [58] Konieczka R.: *Kunststoffe* 1989, 72, nr 7, 598. [59] Konieczka R.: "Podstawy mechanicznych procesów recykulacji folii z polietylenu małej gęstości", Rozprawy 74, Akademia Techniczno-Rolnicza w Bydgoszczy, Bydgoszcz 1996. [60] Sikora R.: "Obróbka tworzyw wielkocząsteczkowych", Wydawnictwo Edukacyjne, Warszawa 1996.
- [61] Wójcik T.: "Zarys teorii klasyfikacji", PWN, Warszawa 1965. [62] Marciniak Z.: *Mechanik* 1979, 52, nr 3, 125. [63] Gronostajski J., Marciniak Z., Polański Z.: *Mechanik* 1992, 65, nr 7, 233. [64] Zanussi K.: *Polityka* 2000, nr 14 (2239). [65] Osiński Z.: *Przegląd Mech.* 1999, 48, nr 17—18, 5. [66] Wróbel J.: *Przegląd Mech.* 1992, 41, nr 11—12, 11. [67] Dietrych J.: "System i konstrukcja", WNT, Warszawa 1985. [68] Dobrzański T.: "Rysunek techniczny maszynowy", WNT, Warszawa 1962 (wydanie 1.), 1998 (wydanie 19.). [69] Pikoń A.: "AutoCAD 2000 PL", Helikon, Gliwice 2000. [70] Heneczkowski M., Jabłoński G.: *Polimery* 1996, 41, 463.
- [71] Makowski M.: *TS Raport* 2000, nr 14, 18. [72] Feld M.: "Podstawy projektowania procesów technologicznych typowych części maszyn", WNT, Warszawa 2000. [73] Sikora R.: "Przetwórstwo tworzyw wielkocząsteczkowych", Wydawnictwo Edukacyjne, Warszawa 1993. [74] Wilczyński K., Tyszkiewicz A.: *Polimery* 1996, 41, 107. [75] Sikora R.: "Tworzywa wielkocząsteczkowe — rodzaje, właściwości i struktura", Wydawnictwo Uczelniane Politechniki Lubelskiej, Lublin 1991. [76] Praca zbiorowa: "Leksykon materiałoznawstwa", Verlag DASHÖFER, Warszawa 1999—2000. [77] Praca zbiorowa: "Konstrukcje z tworzyw sztucznych", tom 1. i 2., WIZ Alfa-Weka, Warszawa 1997—1999. [78] Zientarski S.: *Mechanik* 1999, 72, nr 2, 24. [79] Pomorski K.: *TS Raport* 2000, nr 14, 24. [80] Anonim: *TS Raport* 2000, nr 14, 26.
- [81] Kiełbus G.: *TS Raport* 2000, nr 14, 12.