

Wykorzystanie obróbki plastycznej we współczesnych procesach wytwórczych

MICHAŁ STYP-REKOWSKI, MACIEJ MATUSZEWSKI, OLEG POLISHCHUK *

W artykule wskazano cechy obróbki plastycznej, które powodują, że ta technika obróbki jest szeroko stosowana we współczesnych procesach produkcyjnych. Ukazano także możliwości wspomagania tego rodzaju obróbki innymi technikami, np. laserem, w wyniku czego realizowane procesy nabierają charakteru hybrydowego. Zaprezentowano maszyny, narzędzia i procesy technologiczne, które powodują takie duże zainteresowanie tą techniką ze strony przemysłu.

Wprowadzenie

Obróbka plastyczna to dynamicznie rozwijająca się technika obróbki stosowana w wielu gałęziach przemysłu. W literaturze fachowej od pewnego czasu występują dwa określenia tego sposobu nadawania cech konstrukcyjnych elementom maszyn: obróbka plastyczna oraz przeróbka plastyczna. Zdaniem autorów, rozważania, która nazwa jest poprawna nie mają większego sensu gdyż istnieją argumenty przemawiające za jedną i drugą nazwą. W tym opracowaniu używana będzie pierwsza z nich.

Mechanizm obróbki plastycznej

Mechanizm obróbki plastycznej polega na wywoływananiu trwałych odkształceń plastycznych obrabianego elementu w celu nadania mu oczekiwanych geometrycznych cech konstrukcyjnych (GCK), tzn. postaci konstrukcyjnej i wymiarów, a w niektórych przypadkach także właściwości. Odkształceniem plastycznym nazywane jest takie odkształcenie, które po odjęciu sił powoduje, że GCK elementu uzyskane w rezultacie oddziaływaniu tych sił nie zmieniają się. W ciałach idealnie plastycznych, po przekroczeniu granicy

plastyczności odkształcenia trwałe powiększają się bez przyrostu sił. Wartość stosowanej siły musi zatem być taka, że wywoła w metalu naprężenia powodujące zmiany jego kształtu, a po ustąpieniu obciążenia – zachowanie uzyskanych zmian.

Podczas obróbki plastycznej, na skutek oddziaływającego obciążenia i po jego ustąpieniu zachodzą zjawiska, które determinują uzyskane efekty. Wśród nich najistotniejsze to:

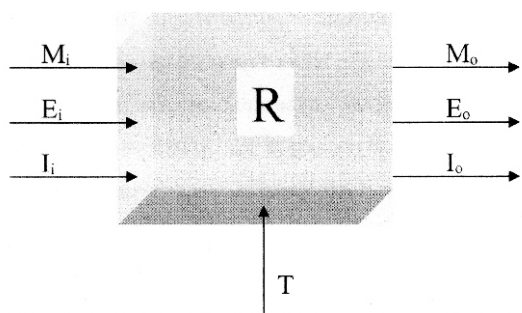
- umacnianie dyslokacyjne,
- zmiany w strukturze obrabianego materiału,
- magazynowanie energii,
- samoczynne zdrowienie materiału,
- rekrytalizacja,
- starzenie odkształceniowe.

Zjawiska te mają istotny wpływ na naprężenia, strukturę materiału, własności mechaniczne, stan warstwy wierzchniej, a więc ogólnie – na efektywność obróbki, przy czym ich występowanie i istotność wpływu zależą od rodzaju operacji.

Operacje obróbki plastycznej

Technika obróbki plastycznej realizowana jest wieloma sposobami, różne są też kryteria jej klasyfikacji. Jednym z częściej stosowanych kryteriów jest sposób oddziaływania

* Prof. dr hab. inż. Michał Styp-Rekowski – Bydgoska Szkoła Wyższa, m.styprekowski@wp.pl, dr hab.inż. Maciej Matuszewski – Politechnika Bydgoska, Wydział Zarządzania, prof. uczelni, prof. dr hab. inż. Oleg Polishchuk – Chmielnicki Narodowy Uniwersytet, Ukraina.



Rys. 1. Ogólny schemat blokowy procesu technologicznego

narzędzia na obrabiany materiał. Przy tym kryterium można wyróżnić następujące rodzaje obróbek tą techniką:

- tłoczenie – cięcie lub kształtowanie plastyczne blach i taśm,
- walcowanie – zgniatanie między obracającymi się, napędzanymi walcami,
- kucie – zgniatanie pod wpływem uderzeń młota lub kowarki albo obciążeniem statycznym prasy,
- ciągnięcie – przeciąganie materiału przez otwór ciągadła lub między nienapędzanymi walcami,
- wyciskanie – materiał kształtowany jest poprzez wyciskanie z matrycy,
- nagniatanie (ślizgowe, toczne) – do powierzchni obracającego się elementu dociskane jest narzędzie nie posiadające krawędzi,

- kulkowanie (naporowe, udarowe, strumieniowe) – narzędzie, którym jest kulka jest dociskana do obrabianej powierzchni lub strumień kulek uderzając o powierzchnię obrabia ją powierzchniowo.

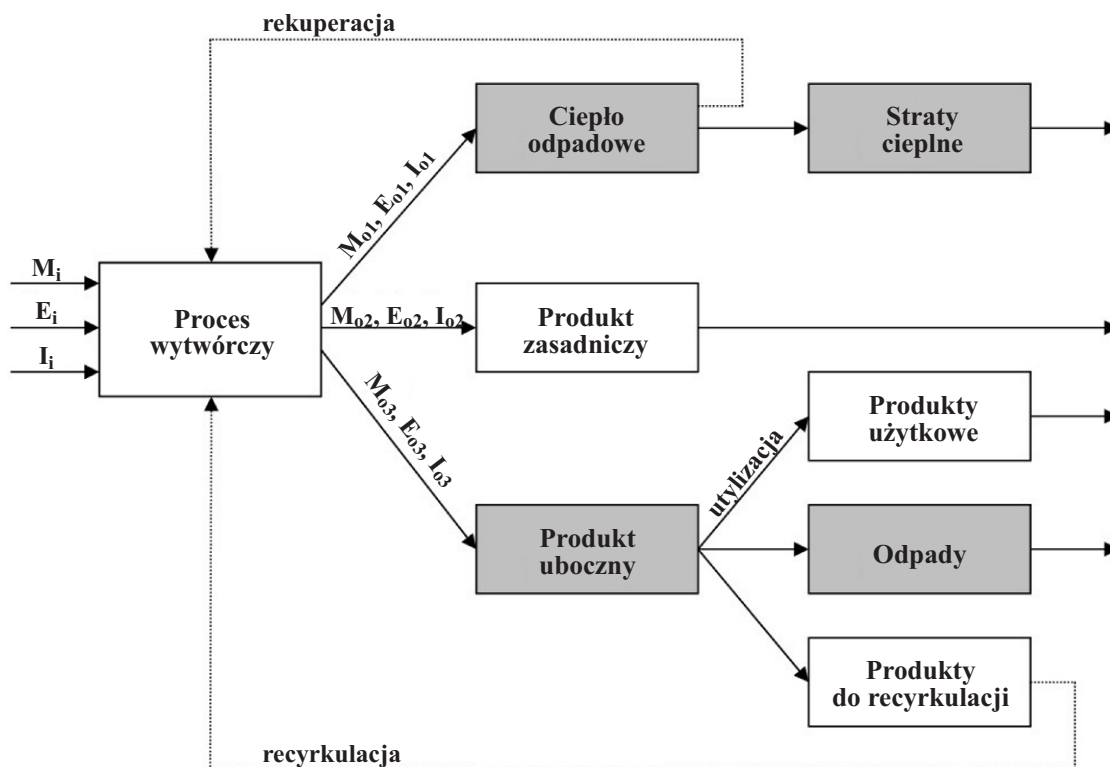
Obróbka plastyczna zaliczana jest do obróbek bezodpadowych, jednak nie wszystkie operacje takiego odpadu nie generują, np. w przypadku walcowania lub nagniatania odpad nie powstaje, jednak w przypadku niektórych operacji tłoczenia odpad taki może występować.

W realizacji każdego procesu technologicznego, także w obróbce plastycznej zidentyfikować można działania w trzech torach – rys. 1:

- masowym (M),
- energetycznym (E),
- informacyjnym (I).

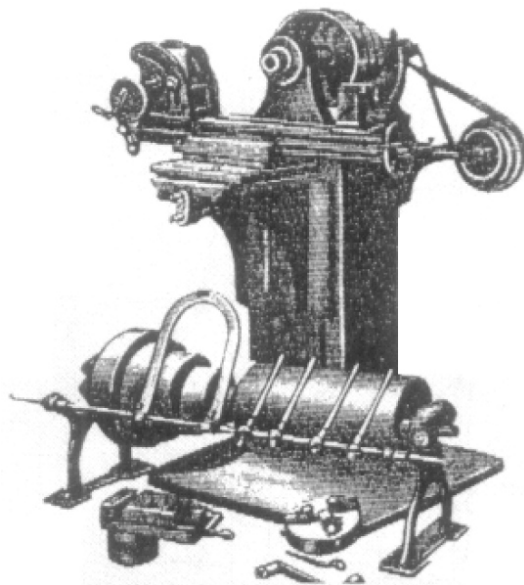
Należy przy tym zauważyć, że każdy czynnik wejściowy (M_i, E_i, I_i), może wpływać na wszystkie czynniki wyjściowe (M_o, E_o, I_o), a nie tylko na istniejące w danym torze. Pewien wpływ mogą mieć także czynniki zakłócające (T), lecz zawsze dąży się do tego aby był on możliwie najmniejszy. Na schemacie nie uwzględniono zbioru czynników stałych, które mają wpływ na zachodzące relacje (R) między wejściem a wyjściem, jednak podczas całego procesu są one niezmiennie.

Rozpatrując „wnętrze” powyższego modelu w każdym torze, na wyjściu, można zaobserwować istnienie składowych użytecznych i nieużytecznych – rys. 2, przy czym kwalifikacja tych cech zależy od rodzaju procesu technologicznego.



Rys. 2. Wejścia i wyjścia w przykładowym procesie wytwórczym [7]

A



B



Rys. 3. Historyczna (a) i współczesna (b) forma obrabiarki skrawającej

Istnieje ponadto możliwość odzysku części materiału lub energii, przy czym efektywność tego odzysku zależy od rodzaju operacji.

Należy przy tym zauważyć, że powstający w jednym procesie wytwórczym produkt uboczny nie zawsze będzie nieużytecznym odpadem lecz może stanowić użyteczny materiał wejściowy w innych procesach wytwórczych [4].

Maszyny w operacjach obróbki plastycznej

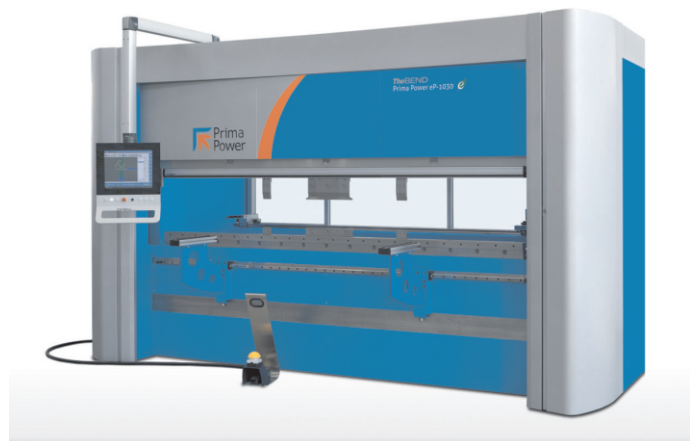
W wyniku zachodzącego postępu technicznego cechy konstrukcyjne obrabiarek wykorzystywanych w procesach wytwórczych zmieniają się. Zaobserwować to można porównując obrabiarki przedstawione na rysunku 3. Porównując przedstawione maszyny zauważyć można jednak pewne podobieństwo w zakresie struktury konstrukcyjnej, gdyż zarówno w obrabiarence „historycznej” – z 1865 roku, jak i we współczesnej, zidentyfikować można zespoły realizujące takie same lub bardzo podobne funkcje. Jest więc korpus, zespół napędowy, prowadnice, zespół sterujący, przy czym ze względu na oczywisty sposób realizacji jak i zakres wykonywanych przez nie zadań znacznie się zmienił. Obrabiarka współczesna ma ponadto szczelnie osłoniętą strefę obróbki, co wynika z potrzeby zapewnienia warunków BHP gdyż obróbka realizowana jest z parametrami o dużo większych wartościach, a więc w warunkach bardziej niebezpiecznych niż bywało to dawniej. W pewnym stopniu przyczyniły się do tego względy ekologiczne.

Przedstawione na rys. 3 obrabiarki to maszyny technologiczne służące do obróbki skrawaniem, jednak spos-

trzeżenia powyższe dotyczą także obrabiarek realizujących operacje obróbki plastycznej.

Obserwując rozwój obrabiarek do obróbki plastycznej zauważyć można zwiększanie ich możliwości technologicznych. To nie są już tylko proste giętarki lub prasy krawędziowe – rys. 4, lecz złożone, często sterowane numerycznie maszyny, realizujące kilka, a nawet kilkanaście operacji – często nie tylko z zakresu obróbki plastycznej rys. 5.

Dzięki temu możliwe jest na takich maszynach uzyskanie gotowego produktu, a nie jak do niedawna – tylko półproduktu, wykorzystywanego w dalszej obróbce i/lub w późniejszym montażu. Niezbędne do tego jest jednak wyposażenie takich maszyn w magazyny narzędzi.



Rys. 4. Nowoczesna prasa krawędziowa [5]

Przedstawiony na rys. 5 automat gnący FBe5-3, w odróżnieniu od tradycyjnych pras krawędziowych, posiada opcję automatycznej wymiany narzędzi, a także czytnik kodów kreskowych, co umożliwia automatyczną konfigurację narzędzi, zwiększając w ten sposób znacząco możliwości technologiczne tej maszyny. Pozytywną cechą charakteryzującą tę maszynę technologiczną jest ponadto duża oszczędność energii elektrycznej w porównaniu np. do maszyn z napędem hydraulicznym.

Na rys. 6 przedstawiono kolejną wieloczynnościową maszynę składającą się z prasy rewolwerowej ze zintegrowanym ścinaniem kątowym i automatycznego urządzenia załadowczego. Podstawową pozytywną cechą tej maszyny jest wykorzystanie w niej technologii serwoelektrycznej, pozwalającej na zmniejszenie zużycia energii oraz oszczędzanie surowców i oleju.

Narzędzia w obróbce plastycznej

Narzędzia w obróbce plastycznej charakteryzują się ograniczoną uniwersalnością (elastycznością geometryczną), dlatego też technika ta jest wykorzystywana przede wszystkim w produkcji powtarzalnej: seryjnej i masowej. Dzięki temu mniejszy jest udział kosztów wykonania narzędzia w koszcie jednostkowym produktu. W celu utrzymanie jakości produktu w całym procesie wytwarzania – głównie w zakresie dokładności geometrycznej, należy czynić starania aby minimalizować procesy zużywania narzędzi. Zmniejszenie intensywności zużywania narzędzi uzyskuje się, m.in. dzięki temu, że operacje obróbki plastycznej wykonywane są najczęściej z zastosowaniem płynów obróbkowych. Można zauważyć ponadto, że postępy w inżynierii materiałowej umożliwiły – podobnie jak w obróbce skrawaniem – ograniczenie ilości stosowanych płynów, co w aspekcie ekologicznym należy uznać jako czynnik pozytywny. Ponadto, zwiększenie efektywności oddziaływania płynów obróbkowych (co także umożliwia zmniejszenie ich ilości) uzyskuje się stosując różne dodatki, modyfikujące cechy użytkowe tych mediów [2].

Dobre rezultaty w zakresie zmniejszenia zużycia narzędzi uzyskuje się także stosując na ich elementach roboczych powłoki nanoszone różnymi metodami [3]. W ten sposób uzyskuje się zmniejszenie tarcia współpracujących elementów, a więc wolniejsze zużywanie. Uzyskuje się przy tym jednocześnie efekt synergiczny – zmniejszenie energochłonności obróbki.

W pewnych zastosowaniach narzędziem w obróbce plastycznej może być także medium smarujące. Taką funkcję pomocniczą pełni ono w kształtowaniu hydrodynamicznym, tzw. *hydroformingu*. Zasady kształtowania tym sposobem obróbki plastycznej przedstawiono na rys. 7.

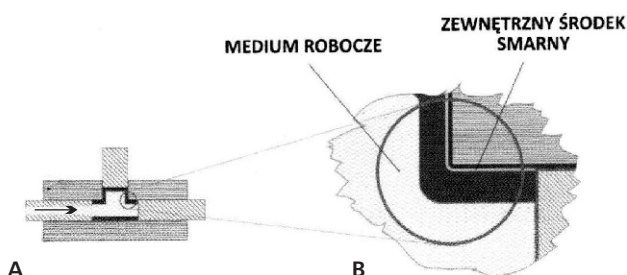
W procesie tym materiałem wejściowym (półproduktem) jest rura. Jest ona rozpęczana przez olej podawany pod dużym ciśnieniem do jej wnętrza (strzałka) na rys. 7a). Następuje to równocześnie w kierunku osiowym i/lub promieniowym. W końcowej fazie obróbki w odgałęzieniu wykrawane jest otwór. Metodą taką, techniką obróbki plastycznej wykonywane są na przykład trójniki z metali plastycznych.



Rys. 5. Sterowany CNC automat gnący [6]

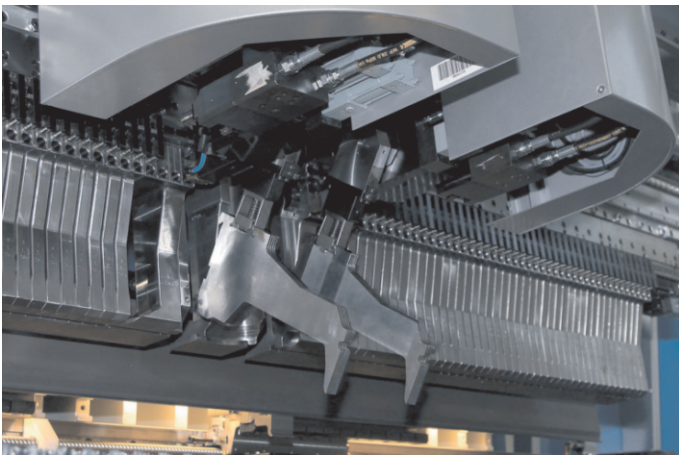


Rys. 6. Sterowana numerycznie maszyna do wykrawania i ścinania [6]



Rys. 7. Hydroforming: a) zasada działania, b) szczegóły technologiczne [5]

Stwierdzono wyżej, że narzędzia wykorzystywane w obróbce plastycznej charakteryzują się niewielką elastycznością geometryczną, dlatego też aby zwiększyć możliwości technologiczne nowoczesnych maszyn realizujących procesy techniką obróbki plastycznej wyposaża się je w dodatkowe narzędzia umieszczane w magazynach narzędzi. Mogą to być magazyny równoległe – rys. 8, lub rewolwerowe – rys. 9. Sterowanie komputerowe jakim maszyny te dysponują umożliwiając automatyczne wybranie z magazynu odpowiedniego narzędzia, skracając czas pomocniczy, niezbędny do zmiany narzędzia w obrabiarkach tradycyjnych.



Rys. 8. Równoległy magazyn narzędzi w giętarcie

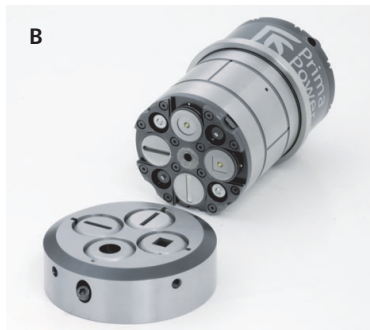
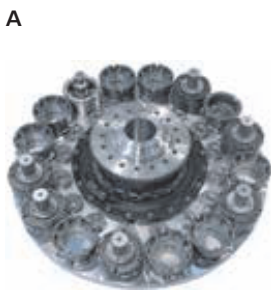
to na realizowanie na nich nie tylko obróbki bezubytkowej lecz także ubytkowej lub przyrostowej. Przykład wykorzystania lasera do wspomaganie obróbki platycznej przedstawiono na rys. 10.

W ten sposób można wytworzyć wiele więcej różnych elementów. Sterowany numerycznie ruch lasera umożliwia wycinanie otworów o dowolnych kształtach i krawędziach pod różnym kątem – rys. 11.

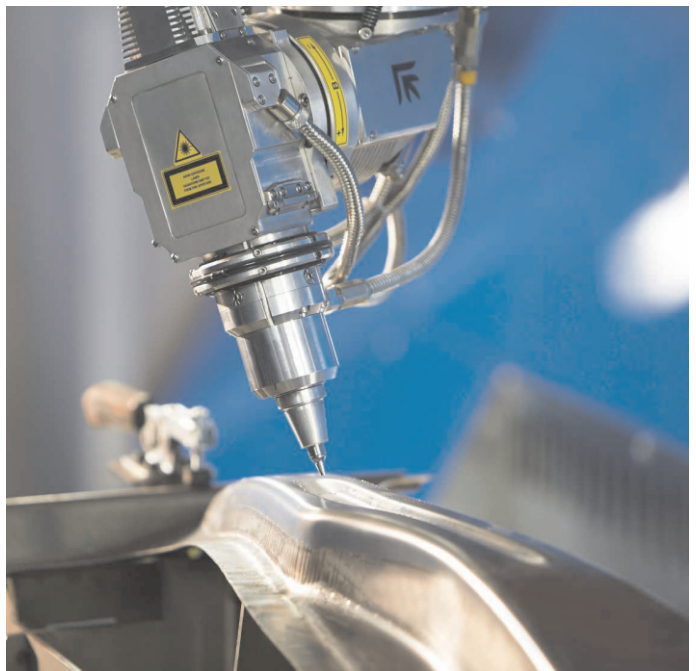
Wykonane elementy mogą być produktami finalnymi (rys. 11a) lub stanowić półprodukty wykorzystywane w dalszej fazie procesu produkcyjnego (rys. 11b).

Procesy technologiczne

Procesy technologiczne realizowane w obróbce plastycznej to kolejna sfera, w której obserwuje się rozwój. Przykładem tego może być stosowanie pokryć na elementach roboczych maszyn. W ten sposób zmniejsza się tarcie między obrabianym elementem a powierzchniami roboczymi



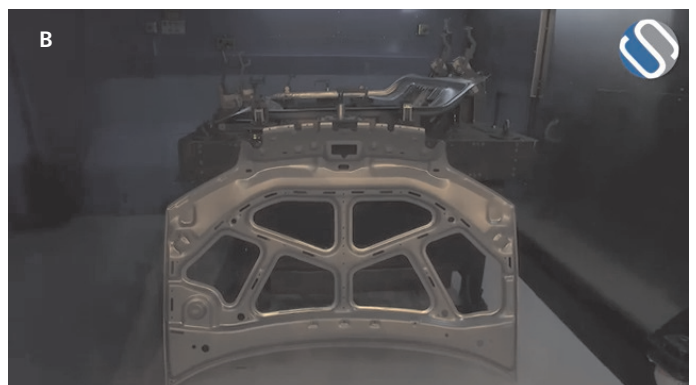
Rys. 9. Rewolwerowy 16-pozycyjny magazyn narzędzi: a) widok ogólny, b) indywidualne narzędzie [6]



Rys. 10. Laser wspomagający obróbkę plastyczną

Magazyn pokazany na rys. 8 służy do usytuowania w nim narzędzi realizujących jedynie operacje techniką obróbki plastycznej, natomiast magazyn rewolwerowy – rys. 9, może zawierać narzędzia realizujące także operacje innymi technikami.

W tradycyjnych maszynach realizujących obróbkę plastyczną wykorzystywana jest energia mechaniczna, ewentualnie hydrauliczna. W celu zwiększenia możliwości wytwórczych maszyny te wspomagane mogą być innymi rodzajami energii, np. elektryczną lub termiczną. Pozwala



Rys. 11. Przykłady elementów wykonanych obróbką plastyczną (a) i hybrydową (b)

maszyny. Dzięki temu możliwe jest szybsze realizowanie procesów technologicznych z większymi prędkościami.

Znane są także przykłady, w których obróbka plastyczna wspomaga inne operacje technologiczne, przyczyniając się do zwiększenia efektywności wspomaganego procesu, np. synergiczne oddziaływanie toczenia i nagniatania [1].

Podsumowanie

Na podstawie przedstawionych rozważań można stwierdzić, że technika obróbki plastycznej ma znaczący udział we współczesnych procesach wytwarzania realizowanych w szeroko pojętej branży mechanicznej. Rozwój tej techniki obserwuje się zarówno w zakresie obrabiarek jak i narzędzi. Należy przy tym zauważyć, że przyspieszenie tego rozwoju nastąpiło, m.in. dzięki wspomaganiu obróbki plastycznej innymi obróbkami, w wyniku czego obrabiarki i realizowane przez nie procesy technologiczne mają teraz najczęściej charakter hybrydowy.

Efektym synergicznym takiego wspomaganie jest zwiększenie efektywności realizowanych procesów technologicznych, a także znaczące rozszerzenie zbioru elementów możliwych do wykonania tą techniką (patrz rys. 11).

Pozytywny impuls sprzyjający temu rozwojowi dało także obserwowane od pewnego czasu zwiększenie wrażliwości ekologicznej decydentów w przemyśle. Operacje obróbki plastycznej generują bowiem dużo mniej odpadów ob-

ciążających środowisko, niż obróbek ubytkowych, np. obróbki skrawaniem.

Literatura

- [1] Burakowski T.: Areologia. Podstawy teoretyczne. Wydawnictwo Naukowe Instytutu Technologii Eksploatacji, Radom 2013.
- [2] Mikołajczyk J.R.: Zmiana geometrycznych cech współpracujących powierzchni miarą intensywności procesu zużycia ostrzy skrawających. *Obróbka Metalu* nr 1/2023, ss. 50-54.
- [3] Milewski K., Madej M., Ozimina D.: Tribological properties of *Diamond Like Carbon* coatings at friction joints lubricated with ionic liquid. *Tribologia* nr 5/2019, pp. 59-69.
- [4] Lonkwic P., Usydus I.: Zgrzewanie oporowe w praktyce inżynierskiej. *Obróbka Metalu* nr 2/2022, ss. 47-53.
- [5] Materiały firmy FUCHS. *Obróbka Metalu* nr 1/2017, ss. 10-11.
- [6] Materiały firmy Prima Power, Turyn 2018.
- [7] Saechtling H.: *Tworzywa sztuczne: poradnik*. WNT, Warszawa 2000.
- [8] Styp-Rekowski M.: Ekologiczne uwarunkowania procesów wytwarzania. *Zeszyty Naukowe Bydgoskiego Towarzystwa Naukowego, seria A, z. 33*. Bydgoszcz 2001, ss. 123-130. ■