

# Postępy w konstrukcji narzędzi skrawających

W artykule omówiono postępy i trendy w konstrukcjach współczesnych narzędzi skrawających, dotyczące w szczególności: materiałów narzędziowych, powłok ochronnych, kształtów i mocowania płytek skrawających, mocowania narzędzi oraz narzędzi modułowych, zespołowych, wielozadaniowych i mechatronicznych.

prof. nzw. dr hab. inż. Tadeusz Sałaciński  
Politechnika Warszawska

Ostatnie dwie dekady zaznaczyły się znaczącym postępem w dziedzinie konstrukcji narzędzi skrawających. Powstały nowe strategie produkcji, takie jak:

- HSC - (High Speed Cutting) - skrawanie z dużymi prędkościami,
- HPC - (High Performance Cutting) - skrawanie wysoko wydajne (wysokoproduktywne) stawiające na większe posuwy i dosuwy,
- obróbka w stanie utwardzonym i na sucho,
- stosowanie narzędzi wielozadaniowych (np. wiertłogwintowników),
- frezowanie trochoidalne (ze zredukowaną szerokością styku wzdłuż toru kołowego),
- frezowanie cyrkularne (z posuwem wgłębnym).

Strategie te wywołały ogromne zmiany w wytwarzaniu części maszyn oraz narzędzi do ich obróbki. Wymagania współczesnego rynku przemysłu maszynowego, takie jak duża wydajność, krótkie czasy maszynowe, produkcja ekologiczna (bez cieczy chłodzących), wysoka dokładność obróbki, odbiły się również na konstrukcji narzędzi i parametrach ich stosowania. Zarysowały się nowe trendy, które szybko stają się ogólnie przyjętymi standardami (rys. 1).

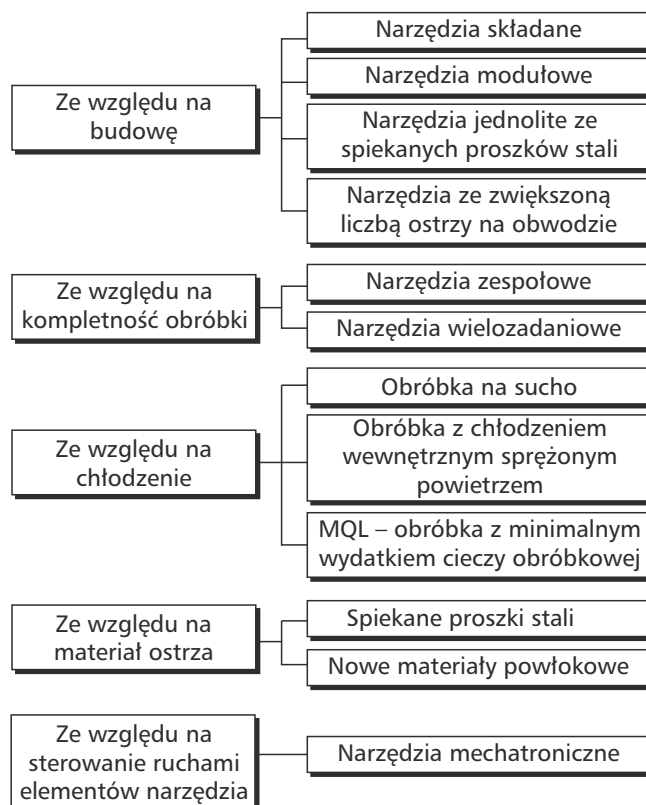
Analizując współczesną literaturę oraz praktykę produkcyjną można stwierdzić, że rozwój współczesnych narzędzi skrawających determinują następujące czynniki [1, 2, 7, 8, 9]:

- nowe materiały narzędziowe,
- wzbogacona geometria ostrza (np. typu WIPER – do pracy z dużymi posuwami, rys. 2.),
- narzędzia składane z możliwością regulacji położenia naroży,
- narzędzia pełnowęglkowe,
- narzędzia ze spiekanych proszków stali szybkoobrotowej,
- narzędzia modułowe,
- wyważanie dynamiczne narzędzi,
- zwiększenie liczby ostrzy na obwodzie narzędzia (np. frezy),
- zwiększenie liczby tyśinek prowadzących (wiertła, rozwiertaki),
- narzędzia wielozadaniowe,
- narzędzia zespołowe z ostrzami z materiałów supertwardych o bardzo dużych trwałościach,
- narzędzia mechatroniczne.

Jak widać z powyższego podziału jednym z kluczowych czynników, obok scharakteryzowanych wcześniej, są materiały narzędziowe wliczając w to powłoki ochronne.

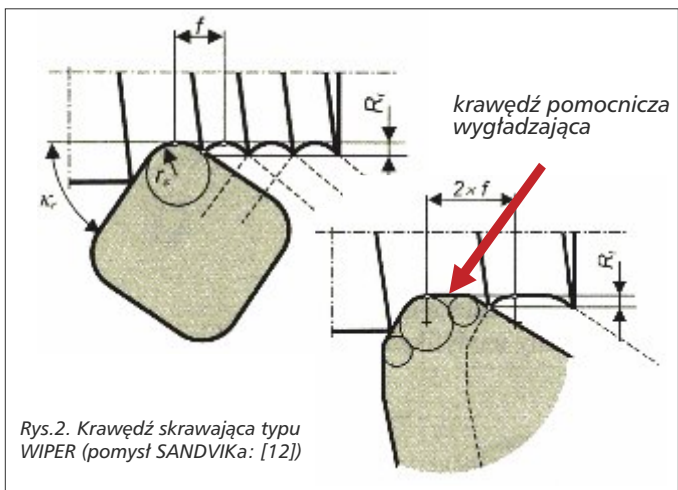
Obserwując rynek materiałów narzędziowych można sformułować następujące tendencje w zakresie ich rozwoju (wg [1]):

- mimo usilnych dążeń inżynierii materiałowej do opracowania idealnego materiału narzędziowego, który wykazywałby jednocześnie wysoką twardość i wytrzymałość, nie udało się, jak na razie, tego dokonać,



Rys. 1. Trendy w konstrukcji narzędzi skrawających (źródło: opracowanie własne)





Rys.2. Krawędź skrawająca typu WIPER (pomysł SANDVIKa: [12])

• ogranicza się liczbę odmian materiałów w poszczególnych gatunkach narzędziowych, zwłaszcza w grupie takich materiałów, jak węgliki spiekane i stale szybko tnące,

• badania koncentrują się na uzyskaniu bardzo twardych, grubych, odpornych na ścieranie powłok na wytrzymałym, wiążkim podłożu,

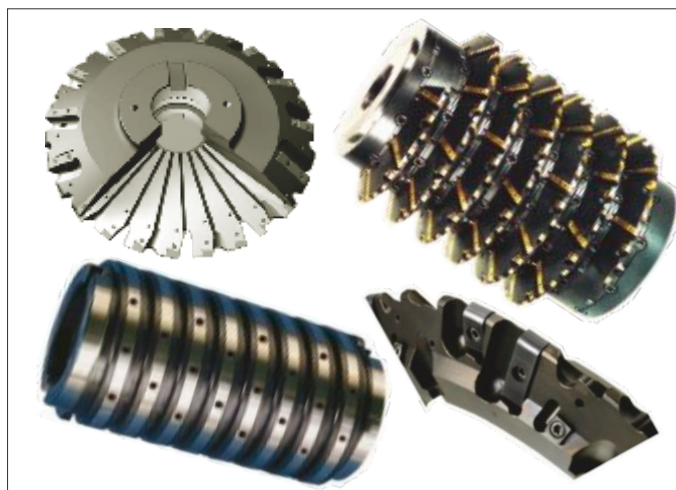
- rozszerzanie się zakresu zastosowań ceramiki narzędziowej,
- stale szybko tnące spiekane (drobnoziarnista jednolita struktura od 0,5 do kilkudziesięciu  $\mu\text{m}$ , wolna od segregacji węglików, jednakowe własności mechaniczne we wszystkich kierunkach – ważne dla dużych narzędzi, mniejsze prawdopodobieństwo wykruszeń),
- narzędzia pełnowęglkowe.

W ostatnich latach obserwuje się znaczący postęp w zakresie stosowania powłok ochronnych, które obok samego materiału narzędzia stanowią kluczowy element decydujący o jego trwałości. Pokrycie narzędzia wpływa korzystnie na tarcie w strefie skrawania, zwiększa twardość ostrza, zmniejsza dyfuzję, utlenianie, zmiany chemiczne oraz wnikanie ciepła w powierzchnie robocze narzędzia. Obserwując współczesny rynek przemysłu narzędziowego można wymienić następujące tendencje w zakresie rozwoju powłok (na podstawie [6]):

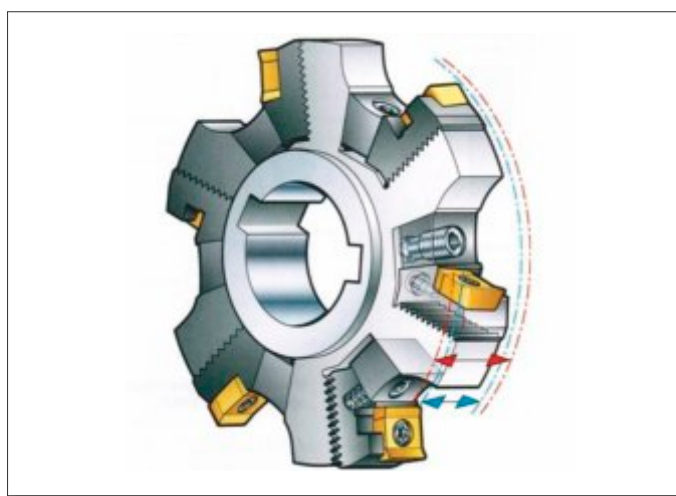
- powłoki modułowane (powtarzalne), składające się z dużej liczby (od kilkudziesięciu do 2000) ultracienkich warstw osadzanych przemiennie w sekwencji powtarzających się par,
- powłoki stopowe złożone z węglików i azotków,
- powłoki samosmarujące,
- powłoki supertwarde na bazie regularnego azotku boru,
- powłoki diamentowe (warstwy już od grubości rzędu nanometra) i z regularnego azotku boru (faza badań laboratoryjnych),
- powłoki metaloorganiczne wytwarzane techniką zol-żel, których zaletą jest niska temperatura ich osadzania (poniżej temperatury odpuszczania stali szybko tnącej),
- zastosowanie metod hybrydowych do wytwarzania powłok (PVD, CVD, osadzanie laserem impulsowym).

Powszechną praktyką w procesach obróbki skrawaniem jest stosowanie narzędzi składanych (przykład frezu modułowego - rys. 3). Wynika to m.in. z faktu osiągnięcia dużych dokładności geometrycznych takich narzędzi, co dawniej było trudne do uzyskania. Bezspornymi zaletami narzędzi składanych są:

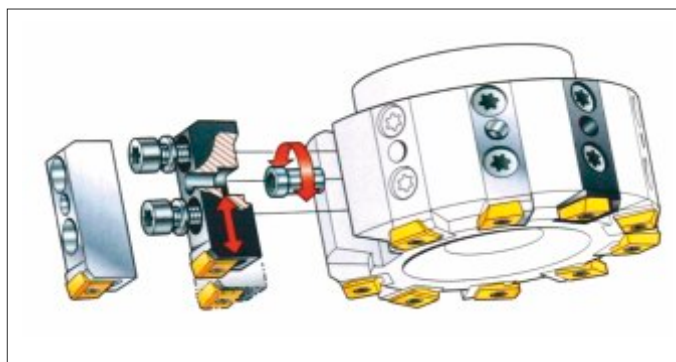
- przywracanie własności skrawnych poprzez szybką wymianę zużytych płytek,
- brak konieczności ponownego ustawiania narzędzia „na wymiar”,
- wysoka dokładność wykonania płytek i elementów korpusu oraz powtarzalność ich mocowania gwarantująca wymaganą ostateczną dokładność narzędzia po złożeniu,
- brak konieczności ostrzenia,
- możliwość regulowania położenia ostrzy (przykład – rys. 4).



Rys.3. Narzędzia składane do walcowych kół zębatych: a) frez modułowy krążkowy z widocznymi w przekroju kanalikami chłodzącymi (źródło: [11]), b) frez modułowy obwodniowy z płytkami pokrytymi TiN (źródło: [10]), c) korpus frezu składanego (źródło: [10]), d) segment frezu składanego z płytkami (źródło: [10])



Rys.4. Uniwersalny frez walcowo-czołowy tarczowy z osiowo nastawnymi płytkami. Kasety dociskane sprężyną pozwalają na łatwe, szybkie i dokładne nastawienie (źródło: [12])

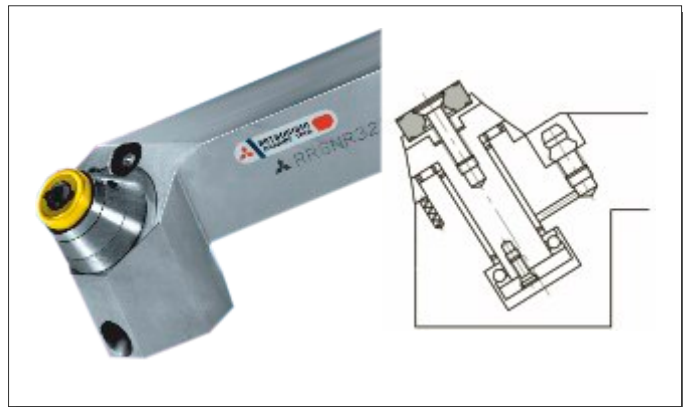


Rys.5. Nastawialna (kołkiem mimośrodowym) głowica frezarska do płaszczyzn z płytkami mocowanymi stycznie, stosowana przy wysokich wymaganiach chropowatości. Dokładność nastawiania  $\pm 2\mu\text{m}$  (źródło: [12])

Niektóre rozwiązania konstrukcyjne narzędzi składanych opierają się na tzw. stycznym mocowaniu płytek (rys. 5). Stosowane są głównie w przypadku występowania dużego obciążenia ostrzy. Styczne mocowanie powoduje, że główna siła skrawania skierowana jest w kierunku większego wymiaru płytki.

Bardzo ciekawym rozwiązaniem konstrukcyjnym narzędzia składanego jest nóż z płytką obrotową napędzaną siłami skrawania (rys. 6). Poprzez ciągły obrót płytki uzyskuje się wzrost jej okresu trwałości. Jednak przy obróbce wykończeniowej, w której występują nieduże siły, płytka ma tendencję do

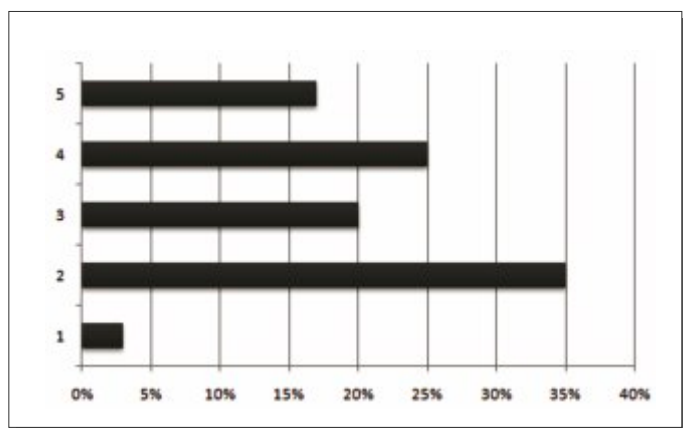
nierównomiernego obracania się, co skutkuje obniżeniem chropo-watości powierzchni obrabianej. Poza tym narzędzie, w którym występują elementy ruchome, jest podatne na ugięcia, co dodatkowo skutkuje niską dokładnością obróbki.



Rys. 6. Składany nóż tokarski z płytką obrotową: a) widok ogólny, b) schemat ułożyskowania płytki (źródło: [14])

Nie należy sądzić, że narzędzia jednolite zostaną wyparte z rynku. W sytuacjach, w których wymagana jest wysoka wytrzymałość i sztywność narzędzia, szczególnie przy obróbce kół z wyższych klas dokładności - użycie narzędzia składanego może nie wystarczyć. Powszechną praktyką jest stosowanie narzędzi jednolitych ze spiekanych proszków stali szybko tnącej o drobnoziarnistej jednolitej strukturze (ziarna od 0,5 do kilkudziesięciu  $\mu\text{m}$ ), wolnej od segregacji węglików o jednakowych własnościach mechanicznych we wszystkich kierunkach. Stale spiekane (szczególnie te powlekane) są bardziej odporne na zużycie w porównaniu ze stalami konwencjonalnymi oraz charakteryzują się wysoką wytrzymałością mechaniczną, co ma duże znaczenie w przypadku obróbki materiałów o podwyższonej twardości.

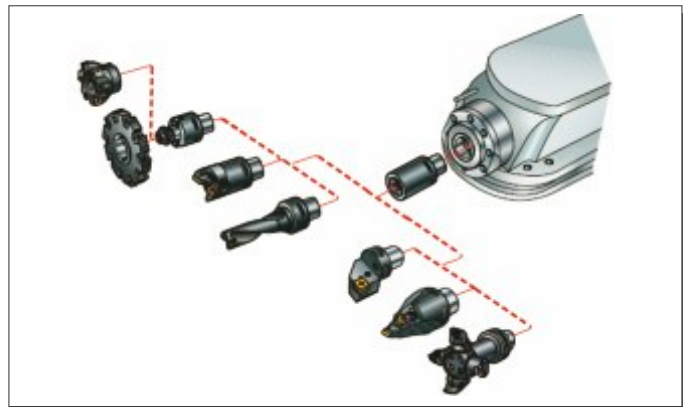
Niektórzy badacze zwracają uwagę na wysoki koszt narzędzia składanego. Oczywistym jest fakt ich wyższej ceny w porównaniu z narzędziami jednolitymi. Jednak wzięwszy pod uwagę, że udział narzędzia w sumarycznych kosztach przypadających na jeden wyprodukowany wyrób wynosi zaledwie 3% (rys. 7) - argument ceny staje się bezprzedmiotowy.



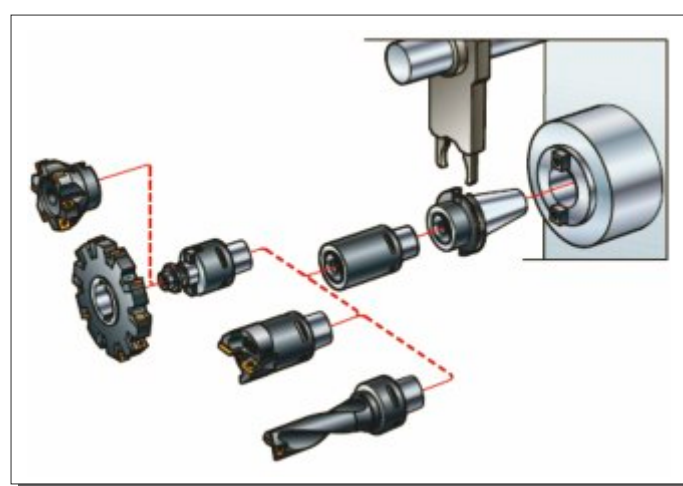
Rys. 7. Składniki kosztów produkcji w technologii części maszyn (źródło: [12])

Współczesne elastyczne systemy wytwarzania wymagające szybkiego przezbrajania potrzebują szczególnego typu narzędzi – narzędzi modułowych. Postęp w tym obszarze jest niezmiernie dynamiczny. W skład narzędzia modułowego, oprócz elementu skrawającego, wchodzi uchwyt, przedłużki, redukcje, adaptory i oprawki (rys. 8, 9). Aby zapewnić końcową dokładność narzędzia modułowego, jego elementy składowe muszą być wykonane z dużą dokładnością. Konsekwencją jest jego wysoki koszt, który zwraca się w

produkcji małoseryjnej. Bezsprzeczną zaletą systemów modułowych jest możliwość stosowania tych samych narzędzi na różnych obrabiarkach, co pozwala na stworzenie ujednoliconego systemu narzędziowego w całej firmie.



Rys. 8. Przykładowy szybkowymyenny system narzędziowy z wykorzystaniem narzędzi modułowych (źródło: [12])



Rys. 9. Przykład implementacji systemu narzędziowego do centrum obróbkowego posiadającego inny system mocowania (źródło: [12])

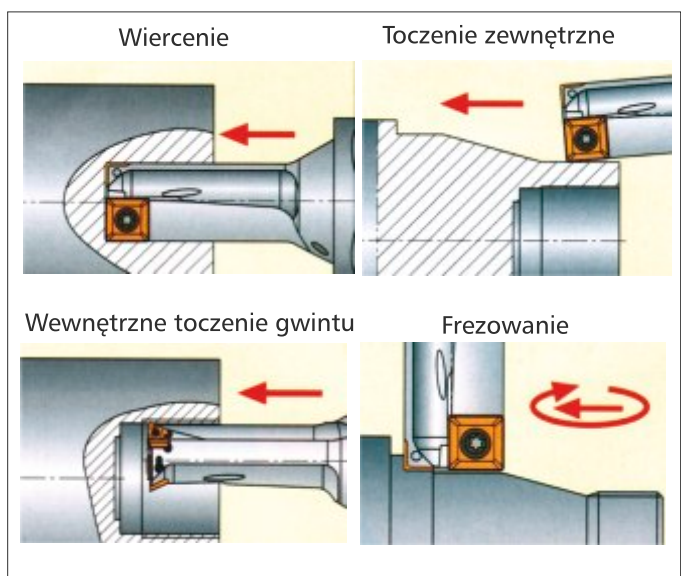
Elastyczność wytwarzania można uzyskać również poprzez stosowanie narzędzi wielozadaniowych. Pojedyncze narzędzie wielozadaniowe może zrealizować kilka operacji.

Zapewnia to jego konstrukcja (np. kilka różnych płytek w jednym narzędziu) oraz sterowanie numeryczne obrabiarki. Przykład takiego narzędzia, które wykonuje operacje wiercenia, toczenia, frezowania i wytaczania gwintu, pokazano na rys. 10.

Tendencją ostatnich lat jest obróbka „na sucho”, w której wyeliminowana jest ciecz chłodząco-smarująca. Wszelkiego rodzaju oleje, smary, emulsje stają się niepożądane z uwagi na ich koszt, wymagania ekologiczne oraz bezpieczeństwo zdrowotne operatorów maszyn. Współczesne narzędzia skrawające, jak również bardzo sztywne i wytrzymałe obrabiarki, pozwalają na skrawanie z wysokimi parametrami w stanie utwardzonym, co pozwala na obróbkę bez używania chłodziw. Jednak zdarzają się sytuacje, w których zastosowanie choćby minimalnego chłodzenia jest niezbędne. Takim przypadkiem jest przekroczenie maksymalnej temperatury w strefie skrawania, co wymagałoby złagodzenia parametrów obróbki, a więc wydłużenia czasu zabiegów i operacji, co skutkuje spadkiem wydajności.

Alternatywą jest obróbka z minimalnym wydatkiem cieczy obróbkowej (MQL – Minimum Quantity Lubrication). Wówczas środek smarujący, w postaci mgły olejowej, jest podawany jak najbliższej strefy skrawania, zapewniając skuteczne smarowanie w procesie obróbki. Wadą metody jest brak możliwości kiero-





Rys.10. Przykładowe operacje wykonywane jednym narzędziem wielozadaniowym (źródło: [16])

wiania spływem wióra oraz tylko minimalne chłodzenie [5].

Metodą obniżenia temperatury bez stosowania cieczy jest chłodzenie sprężonym powietrzem podawanym wąskimi kanalnikami od strony otworu osadczego narzędzia bądź chwytu (rys.3a). Strumień sprężonego powietrza nie tylko chłodzi, ale również skutecznie usuwa wióry ze strefy skrawania, które nie przytwierdzają się do krawędzi skrawającej, jak również do powierzchni obrabianej. Skutkuje to zwiększeniem trwałości narzędzia oraz gładkości powierzchni obrabianej. Wadą metody jest konieczność zainstalowania aparatury doprowadzającej powietrze do narzędzia.

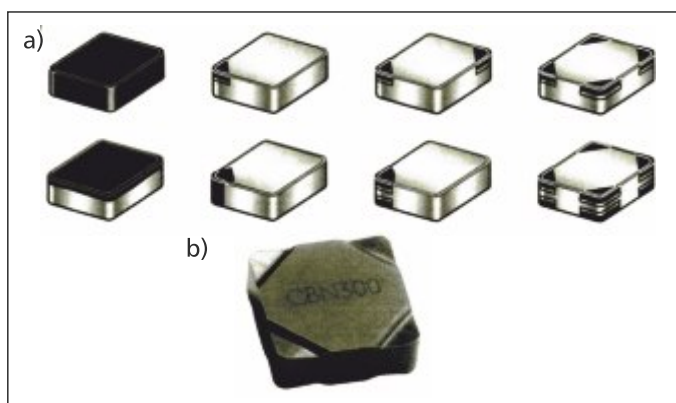
Kluczowym zagadnieniem związanym z narzędziami, wpływającym na efektywność wytwarzania w produkcji wielkoseryjnej, jest możliwość skrócenia czasu operacji. Alternatywne wydłużanie okresów trwałości narzędzi, możliwe dzięki, np. zwiększeniu własności skrawnych ostrzy, wpływa w bardzo nieznacznym stopniu na koszty i wydajność obróbki. Dlatego też dobierając narzędzia, zwłaszcza w produkcji wielkoseryjnej, należy kierować się przede wszystkim [2]:

- możliwością zwiększenia parametrów skrawania, tak aby skrócić czas operacji, co w przypadku dużych serii może powodować znaczne oszczędności nie tylko czasu i bezpośrednich kosztów wytwarzania, ale także eliminowanie wąskich gardel, zmniejszanie parku maszynowego niezbędnego do wykonania zadania itp,

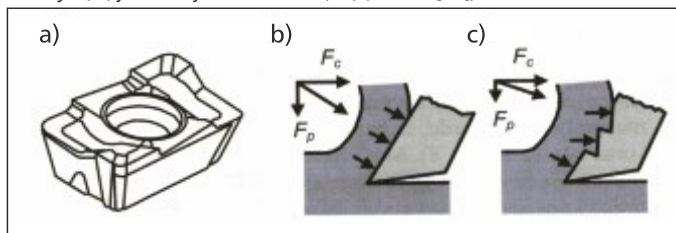
- możliwością połączenia wielu zabiegów i operacji tak, aby wykonać zadanie obróbkowe mniejszą liczbą narzędzi, a nawet jednym narzędziem, tzw. zespołowym, w jednym jego przejściu, co może nie tylko zwiększyć wydajność, ale także zwiększyć dokładność wzajemnego położenia powierzchni wymiarowo ze sobą sprzężonych.

Ogromne zmiany w ostatnich dwóch dekadach nastąpiły w obszarze kształtu i geometrii płytek skrawających. Spotyka się nie tylko płytki monolityczne, ale również konstrukcje z łączonymi wstawkami lub narożnikami z materiałów super-twardych (rys.11). Powierzchnie natarcia przybierają różne kształty, których celem jest płynne wchodzenie w materiał obrabiany, zminimalizowanie tarcia bądź łamanie wióra (rys. 12).

W zakresie mocowania narzędzi obserwuje się ogromny postęp związany ze stosowaniem narzędzi modułowych. Firmy produkujące narzędzia oferują liczne systemy bazujące na znanych rozwiązaniach konstrukcyjnych chwytów, takich jak choćby stożek SK o zbieżności 7:24 i HSK o zbieżności 1:10 (w przypadku narzędzi obrotowych – rys.13).



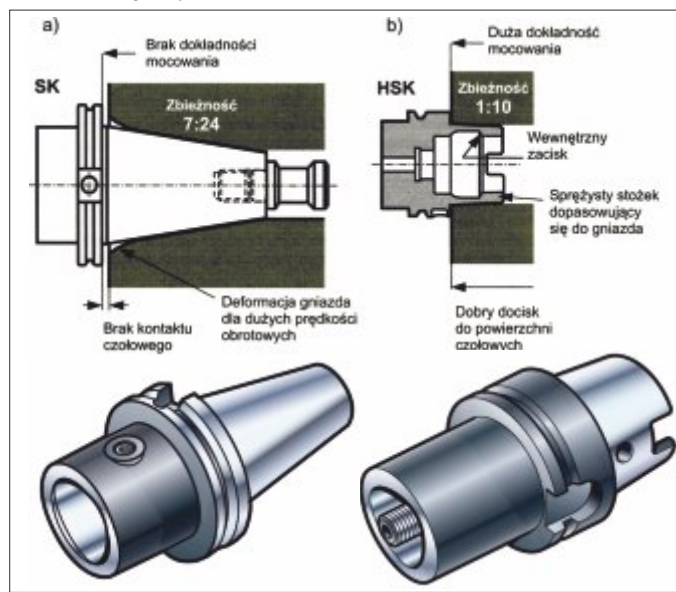
Rys.11. Przykłady płytek skrawających: a) z narożnikami z materiałów super-twardych, b) jednolitej z azotku boru (BN) (źródło: [13])



Rys.12. Ukształtowanie powierzchni natarcia z uskokami powodujące zmniejszenie siły odporowej, rozdzielenie wióra oraz łagodniejsze wchodzenie ostrza w materiał obrabiany (źródło: [16])

Cechami charakterystycznymi stożka SK są:

- ze względu na swoje rozmiary posiadają stosunkowo dużą masę,
- kontakt z wrzecionem jest tylko na powierzchni stożka,
- mocowanie odbywa się za pomocą zabieraka,
- mała sztywność,
- zacisk od zewnątrz - podczas obrotów siła odśrodkowa zmniejsza siłę zacisku, przy wyższych prędkościach obrotowych stożek ma tendencje do „odklejania” się od gniazda wrzeciona, co zmniejsza sztywność a jednocześnie zwiększa bicie promieniowe, co z kolei prowadzi do drgań, zmniejszenia trwałości narzędzia i pogorszenia chropowatości powierzchni obrabianej. Szacunkowo graniczną prędkością obrotową dla stożków SK jest przedział 10000 – 14000 obr/min.



Rys.13. Porównanie mocowania narzędzi w gniazdach wrzecion za pomocą: a) stożka SK (ISO) (bicie 10 – 30 µm), b) złącza HSK (bicie 2 – 5 µm) (źródło: [1, 12])

Cechami charakterystycznymi stożka HSK w porównaniu z SK są

- mniejsze rozmiary, mniejsza masa,
- lepsze możliwości wyważenia,
- kontakt z wrzecionem przez powierzchnię czołową i stożek,

• mocowanie od strony wewnętrznej stożka, dzięki czemu uzyskuje się większą siłę mocowania oraz większą sztywność całego układu, strefa mocowania jest też znacznie bliżej samego narzędzia niż w przypadku stożka SK.

Tendencją, a w zasadzie koniecznością, jest stosowanie stożka HSK w obróbce z wysokimi prędkościami skrawania (HSM), dla których wartości prędkości obrotowych dochodzą do 60000 obr/min.

Ciekawym rozwiązaniem mocowania jest hydrauliczny rozprężny uchwyt frezarski, dający minimalne bicie promieniowe oraz równomierne zużycie ostrzy (rys.14). Taki sposób mocowania również jest wskazany do obróbki HSM i wykończeniowej ze względu na dobrą jakość powierzchni obrobionej i niskie drgania. Siła zacisku przy użyciu takiego uchwytu jest trzykrotnie większa niż w przypadku uchwytów konwencjonalnych, co przy bardzo dobrym wyważeniu predestynuje go do obróbki ciężkiej z wysokimi obrotami.



Rys. 14. Hydraulicznie rozprężny uchwyt frezarski (źródło: [12])

W zakresie mocowania płytek skrawających wykorzystuje się elementy sprężynujące z mechanizmem dociskowym lub bez niego. W tym drugim przypadku, prostym konstrukcyjnie, siły mocowania pochodzą od elementu sprężynującego oraz od sił skrawania (rys. 15).

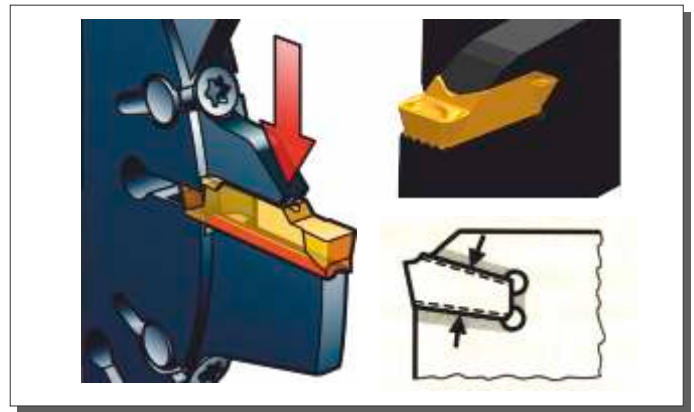
Kolejnym trendem w obszarze konstrukcji narzędzi skrawających jest wykorzystanie elementów mechatroniki. Narzędzia mechatroniczne to takie, które łączą w sobie elementy konstrukcyjne, mechaniczne, elektryczne i elektroniczne (na podstawie [3]):

- stwarzają większe możliwości kształtowania powierzchni dzięki czujnikom, chipom oraz odpowiedniemu napędowi i sterowaniu częścią roboczą,
- mogą zmieniać lub korygować położenie swoich ostrzy,
- przenoszą w systemie wytwórczym informacje o wymiarach korekcyjnych, trwałościach pozostałych,
- mogą posiadać informacje o parametrach skrawania oraz służyć do identyfikacji narzędzi.

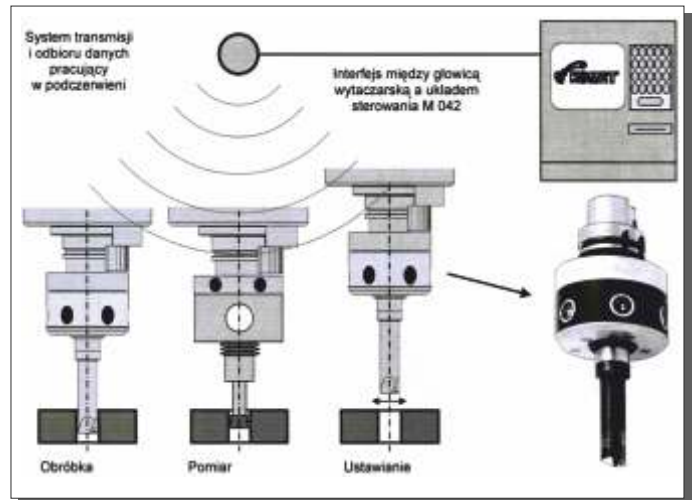
Przykład głowicy wytaczarskiej wraz z układem do zdalnej korekcyi ustawień promieniowych ostrza pokazano na rys.16. Do grupy narzędzi mechatronicznych zalicza się również oprawki do mocowania narzędzi, w których umieszcza się czujniki pomiarowe, nadajniki i odbiorniki radiowe służące do nadzorowania procesu skrawania.

Literatura

[1]Cichosz P.: *Narzędzia skrawające*, WNT, Warszawa, 2006.  
 [2]Cichosz P., Kuzinowski M.: *Narzędzia skrawające do wysoko-wydajnej obróbki*, Inżynieria Maszyn Rok 14, Zeszyt 4, Wysokowydajne Skrawanie, pod red. Wita Grzesika, Wyd. Wrocławskiej Rady FSNT NOT, Wrocław, 2009.  
 [3]Cichosz P., Kuzinowski M.: *Narzędzia mechatroniczne w skrawaniu*, Obróbka Skrawaniem, Zaawansowana Technika, Szkoła Obróbki Skrawaniem pod red. Huberta Latosia, Wyd.



Rys. 15. Mocowanie płytki elementem sprężynującym: a) z użyciem śrubowego mechanizmu dociskowego, b) bez dodatkowego mechanizmu (źródło: [12])



Rys. 16. System głowicy wytaczarskiej wraz z układem do zdalnej korekcyi ustawień promieniowych ostrza narzędzia (źródło: [15, 3])

Uczelniane Uniwersytetu Technologiczno-Przyrodniczego, Bydgoszcz, 2009

[4]Gey Ch.: *Powłoki na ostrza skrawające*, Obróbka Skrawaniem, Wysoka Produktivność, Szkoła Obróbki Skrawaniem pod red. Piotra Cichosza, Oficyna Wyd. Politechniki Wrocławskiej, Wrocław, 2007.  
 [5]Kruszyński B., Stachurski W.: *Frezowanie obwiedniowe kół zębatych z podawaniem cieczy obróbkowej z minimalnym wydatkiem (MQL)*, Obróbka Skrawaniem, Wysoka Produktivność, Szkoła Obróbki Skrawaniem pod red. Piotra Cichosza, Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, Wrocław, 2007.  
 [6]Kupczyk M., Siwak P.: *Klasyfikacja i kierunki rozwoju materiałów powłokowych na ostrza skrawające*, Obróbka Skrawaniem, Zaawansowana Technika, Szkoła Obróbki Skrawaniem pod red. Huberta Latosia, Wydawnictwa Uczelniane Uniwersytetu Technologiczno - Przyrodniczego, Bydgoszcz, 2009.  
 [7]Oczóś K. E.: *Obróbka wysoko produktywna - wiodącym trendem obróbki skrawaniem*. Obróbka Skrawaniem, Wysoka Produktivność, Szkoła Obróbki Skrawaniem pod red. Piotra Cichosza, Oficyna Wyd. Politechniki Wrocławskiej, Wrocław, 2007.  
 [8]Oczóś K.E.: *Rozwój innowacyjnych technologii ubytkowego kształtowania materiałów*. Cz. I. Obróbka skrawaniem. Mechanik nr 8 - 9, 2002.  
 [9]Sałaciński T.: *Postępy w konstrukcji narzędzi skrawających do uzębień walcowych*. Czasopismo Techniczne. Kraków, 2010.  
 [10]Materiały katalogowe firmy FETTE.  
 [11]Materiały katalogowe firmy INGERSOLL.  
 [12]Materiały katalogowe firmy SANDVIK.  
 [13]Materiały katalogowe firmy SECO.  
 [14]Materiały katalogowe firmy MITSUBISHI.  
 [15]Materiały katalogowe firmy KOMET.  
 [16]Materiały katalogowe firmy ISCAR.