

Tomasz TRZEPIECIŃSKI¹

TRENDY ROZWOJOWE MASZYN I TECHNIK STOSOWANYCH W TECHNOLOGII CIĘCIA BLACH

W artykule przedstawiono zachodzące zmiany w maszynach sterowanych numerycznie wykorzystywanych w technologii kształtowania blach. Omówiono trendy rozwojowe w budowie maszyn do cięcia blach z uwzględnieniem laserowych i plazmowych wycinarek sterowanych numerycznie, wykrawarek matrycowych i wycinarek elektroerozyjnych. Przedstawiono także tendencje w zakresie zwiększania produktywności przez wprowadzanie nowych technologii oraz modernizację obecnie stosowanych.

1. WPROWADZENIE

Rozwój układów napędowych nowoczesnych obrabiarek przejawia się zastępowaniem układów mechanicznych przez napędy hydrostatyczne, elektryczne lub hybrydowe. Sterowanie obrabiarek technologicznych do obróbki plastycznej oparte jest na sterownikach CNC i PLC, a także cyfrowych napędach liniowych. Mechaniczne mechanizmy transportowe wypierane są przez roboty oraz manipulatory o większej adaptacyjności. Wraz z rozwojem napędów hydraulicznych, pneumatycznych, serwonapędów oraz cyfrowych napędów liniowych możliwa stała się optymalizacja przestrzeni roboczej obrabiarek oraz zmniejszenie materiałochłonności maszyny. Do najważniejszych cech obrabiarek sterowanych numerycznie stosowanych w obróbce blach, w odróżnieniu do obrabiarek konwencjonalnych, należy zaliczyć:

- automatyczne systemy kontrolne sprzężone zwrotnie z komputerem sterującym,
- wiele osi sterowanych numerycznie,
- automatyczne systemy wymiany narzędzi oraz zastosowanie 3-osiowych urządzeń transferowych z modułowymi systemami transportu,
- automatyczne systemy diagnozowania kolizji oraz błędów programu sterującego,
- zastosowanie elektrowrzecion,
- zastosowanie serwonapędów i precyzyjnych listew zębatach pozwala na minimalizację luzów.

¹ Katedra Przeróbki Plastycznej, Wydział Budowy Maszyn i Lotnictwa Politechniki Rzeszowskiej

Zastosowanie symulacji komputerowej przy projektowaniu obrabiarek umożliwia przeprowadzenie analizy kinematycznej modelu numerycznego maszyny i szybką modyfikację tworzonej konstrukcji [1]. Nałożenie więzów kinematycznych pomiędzy poszczególnymi elementami ruchomymi maszyny umożliwia przeprowadzenie wizualizacji pracy mechanizmów. Obok analizy mechatronicznej prowadzi się badania odkształceń maszyn poddanych działaniu złożonego stanu obciążeń za pomocą metody elementów skończonych (MES). Użytkowanie obrabiarek sterowanych numerycznie wymaga przygotowania odpowiednich programów komputerowych, sterujących torem ruchu narzędzi. Szacuje się, że 70% obrabiarek sterowanych numerycznie jest programowanych za pomocą programów komputerowego wspomaganie wytwarzania CAM [2]. Parametryczny opis geometrii wyrobu oraz toru narzędzi umożliwia szybką zmianę parametrów obróbki. Szereg programów CAM umożliwia wirtualne prześledzenie trajektorii ruchu narzędzi bez konieczności uruchamiania obrabiarki. Metody symulacyjne pozwalają również na optymalizację procesu obróbki w aspekcie minimalizacji czasu obróbki oraz błędów translacji modelu matematycznego wyrobu.

Postęp w komputeryzacji systemów sterowania sprzyja doskonaleniu konstrukcji maszyn, w celu ograniczenia lub wyeliminowania ich negatywnego wpływu na zdrowie człowieka oraz środowisko naturalne. Dążenia do poprawy funkcjonalności obrabiarek i wydłużenia okresu bezawaryjnej pracy to najważniejsze kierunki rozwoju maszyn wynikające m.in. z dyrektyw bezpieczeństwa Unii Europejskiej [3],[4]. Pobierając mniej energii, emitując mniej hałasu oraz wydzielając mniej ciepła współczesne obrabiarki stają się bardziej przyjazne dla środowiska naturalnego. Analiza poziomu hałasu przez systemy nadzoru obrabiarek umożliwia kontrolę przebiegu procesu obróbki i zapobiega awariom maszyn. Doskonalenie konstrukcji maszyn w aspekcie ochrony środowiska naturalnego związane jest także z ograniczeniem masy maszyn przez wprowadzanie innowacji konstrukcyjnych lub nowych materiałów. Znajomość postępu w budowie obrabiarek jest niezbędna dla konstruktorów i programistów-technologów na etapie projektowania nowego wyrobu. Często niewielkie zmiany w konstrukcji wyrobu pozwalają na wybór mniej kosztownej metody wytwarzania.

Wprowadzenie na rynek nowych rozwiązań konstrukcyjnych obrabiarek jest poprzedzone analizą rosnących oczekiwań związanych z dokładnością obróbki, szybkością obróbki, wywieranych sił oraz sztywności statycznej i dynamicznej [5]. Do najważniejszych tendencji w rozwoju współczesnych obrabiarek należy zaliczyć doskonalenie ich konstrukcji celem zwiększenia ich wydajności oraz rozwój metod kompensacji błędów. Zwiększenie dokładności obrabiarek przy zastosowaniu metod kompensacji błędów wynosi od 35% do 90% [6]. Analizując rynek obrabiarek na przestrzeni ostatnich lat można zaobserwować, że producenci po wprowadzeniu wielu innowacyjnych rozwiązań skupili się na elastycznym dostosowywaniu swoich maszyn do potrzeb odbiorców [7].

2. MASZYNY DO CIĘCIA STRUMIENIEM WODY

Ze względu na różnorodność zastosowań, najszybciej rozwijającą się technologią cięcia metali jest metoda cięcia strumieniem wody, umożliwiającą cięcie prawie wszystkich

materiałów technicznych do grubości 200mm. Pod względem ekonomicznym bardziej konkurencyjne w stosunku do cięcia strumieniem wodno-ściernym jest cięcie laserem [8]. Zaletą cięcia strumieniem wody jest brak wpływów termicznych medium obróbczego w strefie cięcia oraz brak zadziorów na krawędziach. Wadą cięcia strumieniem wody jest mała szybkość procesu, a co za tym idzie mała wydajność. Przecinarka WaterJet Combo firmy Eckert (rys. 1) wykorzystuje dwie nowoczesne technologie cięcia – plazmową i wodną. System taki pozwala na nawet dziesięciokrotne zwiększenie prędkości cięcia i obniżenie kosztów wytwarzania nawet o 70% [9].



Rys. 1. Wykrawarka WaterJet Combo firmy Eckert [9]
Fig. 1. Eckert WaterJet Combo cutting machine [9]

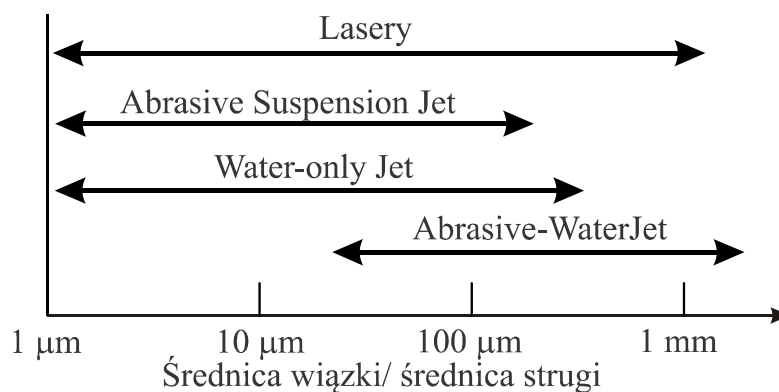
Liderem w branży maszyn CNC do cięcia wodą są obrabiarki firmy Water Jet Sweden z głowicami 5-osiowymi, umożliwiającymi cięcie 2D i 3D. Na uwagę zasługuje maszyna typu NC3015 C5 ze zmiennym stołem paletowym, wyposażona w 10 głowic roboczych z czujnikami wysokości sterowanymi indywidualnie. Ciśnienie robocze w maszynach do cięcia strumieniem wody waha się w granicach od 3600 do 4150bar w zależności od rodzaju zastosowanej pompy. Zastosowanie pompy wysokociśnieniowej pozwala uzyskać ciśnienie wody 6200bar [9]. Przy tych parametrach ciśnienia grubość cięcia w zależności od rodzaju materiału dochodzi do 500mm, a szybkość cięcia jest 2,5 razy wyższa od szybkości cięcia osiąganego przez pompy o ciśnieniu 4000bar. Problemem powstającym przy cięciu materiałów pod kątem jest efekt stożkowania powierzchni cięcia. Rozwiązaniem jest zastosowanie głowicy wieloosiowej A-Jet (rys. 2) firmy OMAX, która umożliwia cięcie różnych materiałów pod kątem w zakresie 0 do 60° z dokładnością pozycjonowania $\pm 0.09^\circ$, co według zapewnienia producenta jest najdokładniejszym pozycjonowaniem głowic do cięcia wodą.

Niedogodnością w eksploatacji maszyn do cięcia wodą w odniesieniu do cięcia plazmą i laserem jest powstawanie mgły wodnej zawierającej ścierniwo. Negatywny wpływ tego środowiska determinuje stosowanie rozwiązań konstrukcyjnych i technologicznych izolujących elementy prowadzące, pozycjonujące oraz napędowe od przestrzeni roboczej. Przyjazny wpływ na środowisko naturalne wywierają systemy usuwania ścierniwa z wanny, systemy odzysku ścierniwa oraz układy oczyszczające wodę. Konstrukcja bramowa oraz systemy kompensacji naprężeń pozwalają na wyeliminowanie wpływu temperatury otoczenia na jakość obróbki. Obrabiarki CNC do cięcia wodą często wspomagane są zrobotyzowanymi systemami podawania materiału, stołami paletowymi oraz układami pozycjonowania materiału.



Rys. 2. Głowica wieloosiowa A-Jet firmy OMAX [9]
Fig. 2. OMAX A-Jet multiaxial cutting head [9]

Technologia cięcia wodą (*WJ - Water-only Jet*) rozwinęła się o metody cięcia strumieniem wodno-ściernym (*AWJ - Abrasive-WaterJet*), cięcia zawiesinami (*ASJ - Abrasive Suspension Jet*) i technikę mikrocięcia strumieniem wodno-ściernym (μ *ASJ*). Głowica tnąca składa się z zaworu sterowanego pneumatycznie, kryzy (otworu) oraz dyszy miksującej. Na jej otworze wyjściowym jest umieszczona dysza wykonana z kamienia szlachetnego (najczęściej diamentu lub szafiru) z otworem wylotowym o typowej średnicy $0,18 \pm 0,4$ mm. Wraz z rozwojem technik mikroobróbki możliwe jest uzyskiwanie średnicy otworu w dyszy poniżej $10 \mu\text{m}$. Strumień tnący opuszcza dyszę z prędkością 2-3 razy przekraczającą prędkość dźwięku. Zastosowanie ultra-wysokociśnieniowych pomp o mocy dochodzącej do około 150 kW pozwala na cięcie abrazyjne strumieniem wody pod ciśnieniem wynoszącym 6.200 bar i przy natężeniu przepływu do $15,2 \text{ l/min}$. Dotychczas typowe ciśnienie robocze w maszynach do cięcia strumieniem wody nie przekraczało 4200 bar . Wyższa prędkość strugi cieczy zwiększa dokładność obróbki, zwiększa wydajność



Rys. 3. Porównanie średnic wiązki lasera ze średnicami strugi cieczy
Fig. 3. Comparison of cutting beam with stream diameters

cięcia przy jednoczesnym zmniejszeniu zużycia wody i ścierniwa. Zwiększenie produktywności przez wzrost prędkości o 30÷50% redukuje koszt wytworzenia wyrobu o 30÷40% [10]. Porównanie średnicy strug dla różnych metod cięcia strumieniem cieczy ze średnicą wiązki lasera przedstawiono na rys. 3. W metodzie cięcia zawiesinami struga wodno-ścierna jest wytwarzana w sposób bezpośredni. Ścierniwo jest mieszane w zbiorniku ciśnieniowym wody do określonej koncentracji, a następnie tak przygotowana mieszanina jest doprowadzana do głowicy roboczej. W odróżnieniu od metody pośredniej, w której woda i ścierniwo jest dostarczane oddzielnie do głowicy tnącej w metodzie bezpośredniej zachodzi bardziej efektywny sposób przyspieszania ziaren ściernych (do nadania prędkości strugi zawiesinowej 300m/s wymagane jest ciśnienie robocze 70MPa).

Obecne wysiłki producentów maszyn do cięcia strumieniem wody i metod pochodnych skierowane są na dalsze zmniejszanie średnicy otworu w dyszy oraz średnicy dyszy miksującej z otworem wyjściowym o średnicy poniżej 200 μ m, a także zwiększenie żywotności głowic. Obecnie prawidłowo eksploatowane dysze miksujące w zależności od jakości wykonania mogą pracować do 140 godzin. Celem komercjalizacyjnym systemów μ AWJ jest integracja dysz stosowanych do μ AWJ z wysokociśnieniowymi pompami o niskim zużyciu energii i precyzyjnymi systemami CNC sterującymi śladem wiązki. Najmniejsze części, które można poddawać obróbce μ AWJ mają wymiary około 200÷300 μ m. Obecnym zamierzeniem producentów maszyn do obróbki μ AWJ jest obróbka części o gabarytach 50-100 μ m.

3. WYKRAWARKI LASEROWE

Dążenie do zwiększania szybkości obróbki przy zachowaniu wysokiej dokładności doprowadziło do rozwoju techniki cięcia laserami ciała stałego. Stosowane lasery dyskowe z kryształami granatu litowo-aluminiowego (YAG) w postaci cienkiego drutu umożliwiają efektywne chłodzenie i wyeliminowanie efektu termicznej soczewki, wypierając lasery lampowe z kryształami YAG w postaci pręta. Najnowocześniejsze rozwiązania pozwalają uzyskać moc do 4000W z jednego dysku i do 16000W po połączeniu optycznym wielu dysków zachowując jakość wiązki 2-8mrad. Systemy do obróbki laserowej mogą współpracować z sześciosiowymi robotami przemysłowymi realizującymi trajektorie cięcia w przestrzeni trójwymiarowej, jednak największą dokładność pozycjonowania do 0,015mm zapewniają obrabiarki laserowe z głowicą uchylną [9]. Zwiększenie dokładności cięcia przy użyciu manipulatora może być zrealizowane przez zastosowanie optyki cięcia z wbudowaną osią liniową i układem regulacji stabilizującym odległość od powierzchni elementu [9]. Dostępne rozwiązania umożliwiają podział wiązki i utworzenie sieci optycznej pozwalając na jednoczesną realizację zadań wielostanowiskowych, wykorzystując jeden generator laserowy i elastyczne światłowody.

Mimo wielu zalet laserów dyskowych nadal na rynku dominują obrabiarki oparte na laserach CO₂. Do przesyłania wiązki lasera CO₂ ze źródła do głowicy tnącej stosuje się drogie i kłopotliwe w utrzymaniu systemy luster. Rozwój maszyn opartych na technologii lasera CO₂ ukierunkowany jest na pełną autonomiczność obróbki (rys. 4) wykorzystując

automatyczny system załadunku i rozładunku stołu roboczego oraz automatyczny moduł sortowania. Zastosowanie tych systemów nie ogranicza dostępu do stołu roboczego obrabiarki, a wyeliminowanie czynności wymagających udziału człowieka wpływa na wzrost wydajności i ekonomiczności obróbki. Technologia ATS (*Automated Technology Selection*) oraz głowica z technologią RPP (*Regulated Pulsed Piercing*) polegająca na regulowanym przebijaniu pulsacyjnym umożliwiają szybsze i bardziej precyzyjne wpalanie w grubych materiałach, redukując czas przebicia do 30% w blachach o grubości powyżej 12mm [9]. Systemy automatycznej wymiany dysz oraz kaset soczewkowych są standardem dla wiodących producentów wycinarek. Nowa generacja wycinarek laserowych z rezonatorem CO₂ o przyspieszeniu do 3g wyposażona jest w tryb uśpienia oszczędzający pobór energii. Kontrola, utrzymanie pras w trybie gotowości do pracy oraz sterowanie wykrawarek przez człowieka jest ograniczone do minimum. Zwiększenie posuwu roboczego oraz ustawczego przy zachowaniu wysokiej dokładności obróbki i pozycjonowania jest widocznym trendem wśród światowych wytwórców wycinarek laserowych.



Rys. 4. Wycinarka laserowa z systemami automatycznego transportu oraz sortowania firmy Bystronic [9]
Fig. 4. Laser cutting machine with Bystronic systems of transport and sorting [9]

Laser jest używany do cięcia różnych materiałów metalicznych i niemetalicznych o grubości do 32mm. Stosowane są lasery stałe Nd:YAG (neodymium-doped yttrium aluminum garnet) o mocy do 20kW i gazowe CO₂ o mocy do 40kW. Nowością na rynku jest technologia *Fiber* pozwalająca na przesyłanie wiązki lasera Nd:YAG światłowodem, co rozszerza możliwości zastosowania przecinarek, znacznie redukuje koszty obsługi oraz ogranicza zużycie energii elektrycznej. W technologii *Fiber* elementem czynnym jest światłowód domieszkowany jonami pierwiastków ziem rzadkich (np. iterb, neodym) pompowany półprzewodnikowymi diodami laserowymi. Długość uzyskanej fali lasera jest dziesięciokrotnie mniejsza niż lasera CO₂, co pozwala na uzyskanie wyższego skupienia energii i wyższej dokładności cięcia. Zastosowany w wycinarce Diament Laser (rys. 5) firmy Eckert laser światłowodowy firmy IPG Photonics posiada ponad 30% sprawność (*Wall-plug efficiency*), co umożliwia 3-krotne zmniejszenie poboru energii w porównaniu do laserów CO₂.

Liczne cechy przyczyniły się do powodzenia laserów w przemyśle, spośród których najistotniejsze to [11]:

- powtarzalność ustawień lasera, co przekłada się na wysoką dokładność finalnych elementów,



Rys. 5. Przecinarka Diament Laser Fiber firmy Eckert [9]

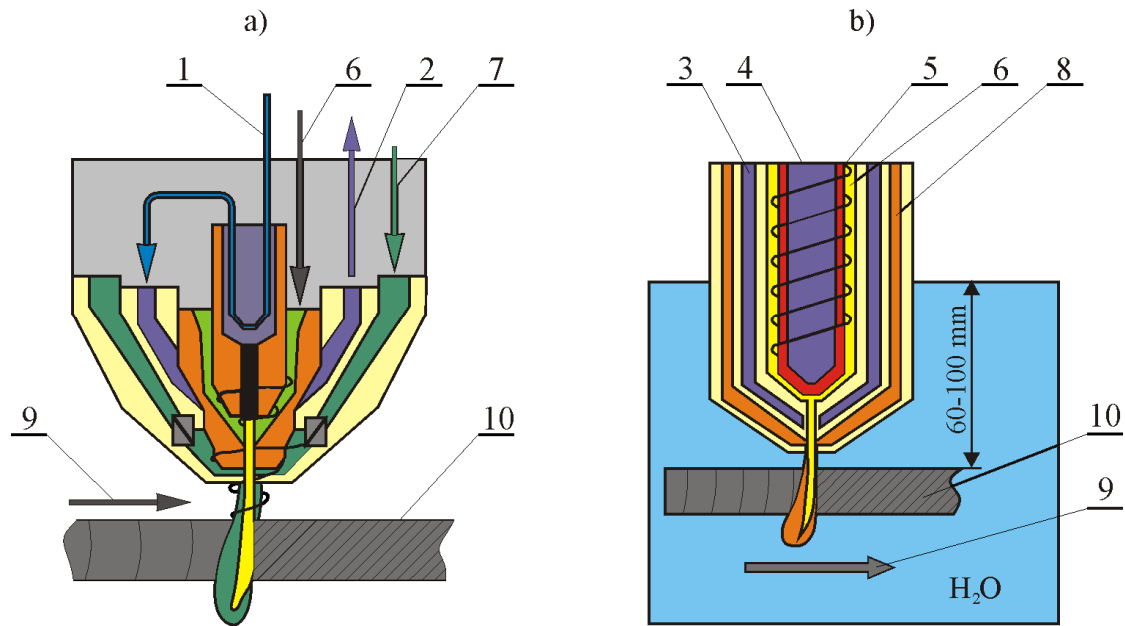
Fig. 5. Eckert Diament Laser Fiber cutter [9]

- podatność na automatyzację,
- umiarkowany hałas, umiarkowane ilości czynników szkodliwych dla człowieka (pyłów, promieniowania przenikliwego, ryzyka porażenia prądem elektrycznym),
- trwałość narzędzia oraz przewidywalność eksploatacyjna,
- uniwersalność zastosowań: cięcie, spawanie, spiekanie, obróbka cieplna,
- niskie straty materiałowe podczas cięcia.

4. WYKRAWARKI PLAZMOWE

Rozwój technologii cięcia plazmowego sprawił, że w coraz szerszym zakresie cięcie plazmowym łukiem elektrycznym staje się konkurencyjne do innych technologii cięcia. Plazma jest silnie zjonizowanym gazem wyrzucanym w formie wiązki z dyszy plazmowej z prędkością bliską prędkości dźwięku. Temperatura wiązki zależy od natężenia prądu elektrycznego oraz rodzaju gazu plazmowego i wynosi 10-30 tys. K. Mimo wielu zalet cięcia plazmowego, takich jak wysoka prędkość cięcia do 10000mm/min, wąska strefa wpływu ciepła, niewielka szczelina cięcia posiada szereg wad m.in. duży hałas, silne promieniowanie, cięcie materiałów przewodzących prąd elektryczny oraz trudność w utrzymaniu prostopadłości krawędzi. Ostatnią z wad można wyeliminować przez zastosowanie skupionej wiązki plazmy *High Definition*. W tej technologii cięcie odbywa się w osłonie gazów wirujących, które zawężają łuk plazmy (rys. 6a). Techniki cięcia plazmowego pod powierzchnią wody (rys. 6b) pozwalają na wyeliminowanie zapylenia środowiska pracy maszyny, redukcję promieniowania nadfioletowego i obniżenie hałasu do poziomu poniżej 85dB. W tej metodzie maszyna jest bardziej energochłonna, a uzyskiwane prędkości cięcia są niższe w porównaniu do technik cięcia plazmowego w powietrzu atmosferycznym.

Cięcie plazmą pozwala na cięcie materiałów metalicznych o grubości do około 200mm (stałe wysokostopowe). Wielkość szczeliny podczas cięcia plazmowego jest większa niż podczas cięcia laserem, co zwiększa straty materiałowe.



Rys. 6. Cięcie plazmą z wykorzystaniem wirującego gazu (a) i cięcie plazma pod powierzchnią wody (b): 1 - wlot chłodziwa, 2 - wylot chłodziwa, 3 - czynnik chłodzący, 4 - czynnik chłodzący elektrodę, 5 - elektroda (katoda), 6 - plazma, 7 - wirujący gaz, 8 - gaz pomocniczy, 9 - kierunek cięcia, 10 - cięty element (anoda)

Fig. 6. Plasma tool design with swirl gas (a) and underwater plasma cutting (b): 1 - coolant entry, 2 - coolant exit, 3 - coolant agent, 4 - electrode coolant, 5 - electrode (cathode), 6 - plasma gas, 7 - swirl gas, 8 - secondary gas, 9 - cutting direction, 10 - cut element (anode)

Techniki cięcia laserowego i plazmowego różnią się znacząco w zakresie transportu energii, a obrabiane materiały reagują odmiennymi przemianami w strefie wpływu ciepła. Cięcie plazmowe w szerokim zakresie parametrów, m.in. chropowatości powierzchni przecięcia, stopnia zaawansowania wycinanych kształtów, niekontrolowanego ukosowania płaszczyzny cięcia ustępuje technikom cięcia laserowego. Jakościowe porównanie cięcia plazmą i laserem przedstawiono w [11].

5. WYKRAWARKI REWOLWEROWE

Konieczność zapewnienia w pełni automatycznego przepływu materiału podczas pracy wykrawarek oraz oszczędność miejsca przy magazynowaniu sprawiło, że rozwijane są modułowe kompaktowe magazyny (rys. 7) dostosowywane do indywidualnych potrzeb użytkowników. Standardem konwencjonalnych wykrawarek rewolwerowych są 4 osie sterowane CNC.

Wykrawarki serii E firmy Finn Power (rys. 8a) są wyposażone w dodatkowe sterowanie matrycą w pionie, tzw. „*up forming*” [9] umożliwiając wykonywanie głębszych przetłoczeń. Serwonapęd elektryczny bijaka wykrawarek zapewnia programowanie wysokości stempla nad blachą, skoku stempla oraz szybkości wykrawania. Odzyskiwanie energii wyzwalanej przy hamowaniu osi napędowych podnosi energooszczędność wykrawarek.



Rys. 7. Kompaktowy system magazynowy TruStore serii 3000 firmy Trumpf [9]
 Fig. 7. Compact storage system Trumpf TruStore 300 series [9]

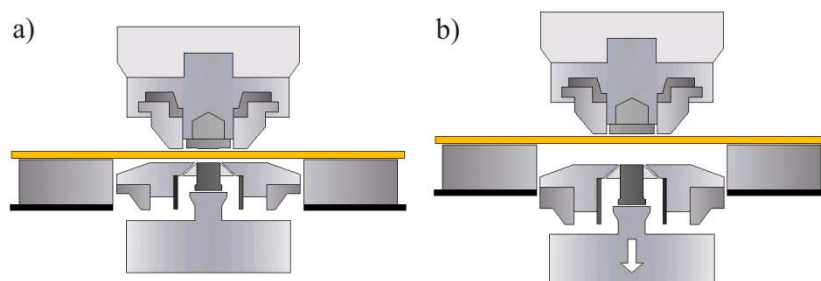
Firma Amada opracowała koncepcję prasy rewolwerowej (rys. 8b) o napędzie serwoelektrycznym, który do pracy nie wymaga oleju. Zastosowane dwa silniki serwoelektryczne umieszczone na końcach wału mimośrodowego przy hamowaniu zamieniają się w prądnice umożliwiające odzyskiwanie części energii. Jak podaje producent, zmniejszenie zużycia energii po zastosowaniu napędów serwoelektrycznych w porównaniu z napędami hydraulicznymi wynosi 60%. Rozwój wykrawarek rewolwerowych ukierunkowany jest na podnoszenie prędkości ruchu roboczego i ustawczego narzędzi, zwiększenie liczby głowic rewolwerowych, a także skrócenie czasu wymiany narzędzi, który w wielu produkowanych maszynach wynosi poniżej 0,4s.



Rys. 8. Wykrawarki rewolwerowe: E6 firmy Finn Power (a) i EM 2510NT firmy Amada (b) [9]
 Fig. 8. Turret punch presses: Finn Power E6 (a) and Amada EM 2510NT (b) [9]

W związku z tendencją do optymalizacji produkcji przemysłowej, w tym także związanej z obróbką plastyczną, szczególnego znaczenia nabrały obrabiarki do dokładnego wykrawania. Wykrawarki młoteczkowe o napędzie elektrycznym stempla oferują możliwość wykrawania detali ze wspólną krawędzią minimalizując ilość odpadów. Daleko idące rozwiązania umożliwiają defragmentację odpadów, aby mogły być automatycznie usuwane z przestrzeni maszyny i składowane na mniejszej powierzchni. Rozwiązanie

aktywnej matrycy, która ma możliwość ruchu w kierunku tłoczniaka umożliwia dokładną orientację gotowego elementu i wpływa na poprawę jakości wyrobu (rys. 9) [9].



Rys. 9. Systemy pozycjonowania blachy: konwencjonalny (a) i z aktywną matrycą (b)
Fig. 9. Sheet metal positioning systems: conventional (a) and with active die (b)

Odpowiedni dobór geometrii matrycy pozwala na uzyskanie tzw. zaciągnięcia cynku na wykrawane krawędzie przy obróbce blach powlekanych. Interesującym rozwiązaniem są maszyny wielofunkcyjne, za pomocą których możliwe jest prowadzenie procesu wykrawania młoteczkowego i cięcia laserowego. Funkcjonalność nowoczesnych wykrawarek może być dostosowana do potrzeb użytkownika przez sprzężenie z dodatkowymi modułami załadunku i rozładunku stołu roboczego, systemu oddzielającego elementy wykrawane od odpadów i systemu sortującego gotowe elementy oraz odpady.

6. WYCINARKI ELEKTROEROZYJNE

Elektroerozyjne cięcie elektrodą drutową (*WEDM - Wire Electrical Discharge Machining*) jest metodą bezkonkurencyjną w wytwarzaniu wykrojników i tłoczniaków [10]. Metoda *WEDM* jest byc stosowana do obróbki materiałów przewodzących prąd elektryczny i umożliwia wycinanie złożonych konturów $2 \frac{1}{2}D$ z tolerancją $15\mu\text{m}$ przy grubości materiału 650mm [12]. Uniwersalna wycinarka drutowa FA20 - S firmy Mitsubishi Electric Co. o niskich kosztach produkcji i krótkich czasach obróbki umożliwia uzyskanie prędkości cięcia do $500\text{mm}/\text{min}$, chropowatości powierzchni określonej parametrem $Ra \leq 0,15\mu\text{m}$ (zależnie od obrabianego materiału oraz głębokości erodowania) oraz równoległości średnicy poniżej 5mm podczas cięcia materiału o grubości 200mm . Liczne funkcje automatyki, w które wyposażane są sterowniki obrabiarek umożliwiają w pełni zautomatyzowaną kontrolę procesu obróbki i zapewnienie powtarzalności wymiarowo-kształtowej wyrobów. Funkcja *Power Master PM4* w wycinarce Fa20-S umożliwia automatyczną kontrolę procesu obróbki zmierzającą do skrócenia czasu obróbki i zachowaniu wysokiej jakości powierzchni cięcia przez optymalizację mocy generatora, ciśnienia płukania czy wreszcie wydajności cięcia. Strategia wycinania stożków (*Angle Master*) czy strategia wycinania naroży (*Corner Master*) łącznie z system automatycznego nawlekania drutu (*Automatic Threading*) skracającym czas nawlekania do 10s sprzyja

uzyskiwaniu wysokiej i powtarzalnej dokładności obróbki. Wiele maszyn wyposażonych jest w zdalne systemy sterowania maszyną i zarządzania danymi w czasie rzeczywistym oraz moduły umożliwiające wysyłanie komunikatów o stanie obróbki w formie SMS-ów. Elektroerozyjne wycinarki drutowe coraz częściej wyposażone są w wysoko rozdzielcze optyczne liniały pomiarowe we wszystkich osiach. Odpowiedzią firmy Sodick na potrzeby rynku w zakresie maszyn o wysokiej szybkości cięcia i jednocześnie wysokiej dokładności jest maszyna hybrydowa Hybrid Wire (rys. 10) łącząca w sobie technologię cięcia wysokociśnieniowym strumieniem wody, struga wodno-ścierną oraz elektroerozyjnego cięcia drutem. Oba moduły obrabiarki są sterowane NC w 5 osiach. Połączenie wymienionych technologii w jednej obrabiarce ma wiele zalet [9]:

- cięcie strugą wodno-ścierną w przypadku pierwszej obróbki zgrubnej jest 20 krotnie szybsze od cięcia *WEDM*,
- możliwość tylko cięcia strugą wodno-ścierną materiałów nieprzewodzących i tylko cięcia *WEDM* elementów precyzyjnych,
- połączenie obu technik pozwala na wstępne szybkie cięcie strugą wodno-ścierną i wykończenie powierzchni obróbka elektroerozyjną.



Rys. 10. Hybrydowa obrabiarka Hybrid Wire firmy Sodick do cięcia wysokociśnieniową strugą wodną i elektroerozyjnego wycinania drutem.

Fig. 10. Hybrid machine Sodick Hybrid Wire for high-pressure abrasive waterjet cutting technology and wire electrical discharge machining.

Nowe wycinarki elektroerozyjne serii NA Essence firmy Mitsubishi Electric Co. wyposażone są w tubularne napędy bezpośrednie (*Tubular Direct Drives*), optyczny system wymiany danych oraz konstrukcję zapewniającą minimalizację energii cieplnej wytwarzanej podczas obróbki. Wspomniana firma Mitsubishi Electric Co. opracowała nową platformę wymiany danych *iQ* (*iQ Platform*) integrującą 4 rodzaje sterowników: ruchu, CNC, robota oraz programowalny sterownik logiczny, a także moduł interfejsu *CC-Link IE* (*Control and Communication Link Industrial Ethernet*) połączone magistralą szybkiej wymiany danych. Dla przemysłowego Ethernetu (*Industrial Ethernet*), *CC-Link IE* jest nowym standardem, który koordynowany jest przez organizację *CLPA* (*CC-Link Partner*

Association). Najważniejsze cechy tej sieci to: wykorzystywanie połączeń światłowodowych, prędkość wymiany danych 1Gbit/s, komunikacja w czasie rzeczywistym oraz skalowanie sieci.

7. PODSUMOWANIE

Rozwój obrabiarek sterowanych numerycznie do cięcia materiałów ukierunkowany jest na poprawę jakości wyrobu, zwiększenie wydajności przy jednoczesnym zachowaniu aspektów ekonomicznych i ochrony środowiska naturalnego. W obszarze maszyn do obróbki plastycznej widoczny jest progres w rozwoju systemów automatycznej wymiany narzędzi oraz manipulacji wyrobami w trakcie i po zakończeniu obróbki. Postęp technologiczny związany jest z wprowadzaniem na rynek obrabiarek samoobsługujących się oraz autonomicznych modułowych stacji obróbczych. Zastosowanie symulacji komputerowych zmniejsza koszty opracowania technologii i skraca czas uruchomienia produkcji nowej obrabiarki. Wraz z rozwojem maszyn sterowanych numerycznie do obróbki plastycznej rozwijane są systemy pozwalające na symulowanie technologii obróbki wykorzystując modelowanie komputerowe.

W ostatnich latach nastąpiło upowszechnienie automatycznych systemów regulacji, kontroli oraz przetwarzania danych pozwalających na kontrolę parametrów obróbki plastycznej w trybie on-line. Mimo wysokiego zapotrzebowania na zautomatyzowane obrabiarki przeszkodą w ich wykorzystywaniu jest ich wysoka cena oraz niepewność produkcyjna związana z kryzysem gospodarczym. Stagnacja w wielu gałęziach przemysłu maszynowego w Polsce sprawia, że głównym kryterium wyboru nowej obrabiarki staje się cena, dlatego producenci często rezygnują z implementacji nowinek technicznych w maszynie, co jednak nie wpływa znacząco na zmniejszenie ich funkcjonalności.

LITERATURA

- [1] BRECHER C., ESSER M., WITT S., 2009, *Interaction of manufacturing process and machine tool*. CIRP Annals – Manufacturing Technology, 58, 588-607.
- [2] HONCZARENKO J., 2011, *Współczesne obrabiarki a technologiczność konstrukcji przedmiotów*. Mechanik, 22/10, 761-767.
- [3] TOMASZEWSKI Z., CZEKAJ A., TOMASZEWSKI K., 2006, *Maszyny do obróbki plastycznej spełniające wymagania bezpieczeństwa Unii Europejskiej. Część I. Ocena zgodności maszyn do obróbki plastycznej według dyrektywy maszynowej UE*. Obróbka Plastyczna Metali, 22/2, 33-46.
- [4] TOMASZEWSKI Z., CZEKAJ A., TOMASZEWSKI K., 2006, *Maszyny do obróbki plastycznej spełniające wymagania bezpieczeństwa Unii Europejskiej. Część II. Praktyczne stosowanie dyrektywy maszynowej UE w zakresie maszyn do obróbki plastycznej metali*. Obróbka Plastyczna Metali, 22/3, 43-57.
- [5] HONCZARENKO J., 2010, *Rozwój i automatyzacja obrabiarek skrawających Cz. II*. Mechanik, 21/2, 90-94.
- [6] TUREK P., MOKRZYCKI W., JĘDRZEJEWSKI J., 2010, *Analiza metod kompensacji błędów obrabiarek*, Inżynieria Maszyn, 15/1-2, 130-149.
- [7] KOSMOL J., 2011, *Kierunki rozwoju obrabiarek. Reminiscencje z Salonu MACH-TOOL na ITM 2011*. Mechanik, 22/8-9, 660-664.
- [8] SKOCZYLAS A., 2011, *Analiza porównawcza procesu cięcia wiązką laserową i strumieniem wodno-ściernym*. Postępy Nauki i Techniki, 8, 121-128.

- [9] Materiały firmowe i reklamowe firm: BYSTRONIC, ECKERT, KMT WATERJET, MITSUBISHI, OMAX, SODICK, TRUMPF, WATER JET SWEDEN.
- [10] OCZOŚ K.E., DĄBROWSKI L., 2008, *Forum obrabiarek elektroerozyjnych - przykłady nowych rozwiązań*, Mechanik, 81/1, 26-34.
- [11] ZABORSKI S., STECHNIJ T., 2011, *Laserowe i plazmowe cięcie blach ze stali niestopowych i kwasoodpornych*. Inżynieria Maszyn, 16/4, 109-116.
- [12] OCZOŚ K.E., 2008, *Wybrane aspekty racjonalnego doboru technik kształtowania wyrobów (głównie ubytkowego)*. Mechanik, 81/5-6, 361-379.

DEVELOPMENT TRENDS IN MACHINES AND TECHNIQUES USED IN SHEET METAL CUTTING

This paper presents changes in the numerically controlled tool machines in sheet metal forming technology. The article has also showed the characteristics of cutting machines including numerically controlled laser and plasma cutting machine, die cutting machines and machines for wire electrical discharge machining. Furthermore, the tendencies in increasing the productivity by development of new technologies and modernization recently used have been also presented.