4. Obróbki erozyjne

- Obróbka elektroerozyjna
- Obróbka elektrochemiczna
- Obróbka ultradźwiękowa
- Obróbka laserowa
- Obróbka plazmowa
- Zasady bezpieczeństwa podczas wykonywania obróbek erozyjnych

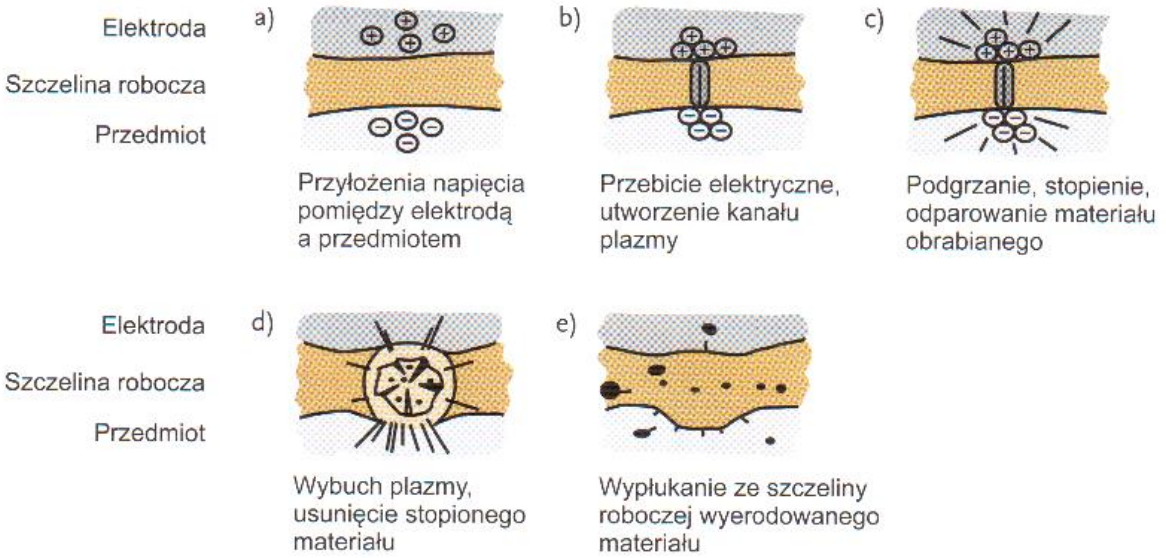
4.1. Obróbka elektroerozyjna

W TYM ROZDZIALE DOWIESZ SIĘ:

- na czym polega obróbka elektroerozyjna
- jak przebiega proces elektrodrążenia
- kiedy warto stosować technikę wycinania drutem

W **obróbce elektroerozyjnej** w wyniku wyładowania elektrycznego między elektrodą roboczą (narzędziem) a obrabianym przedmiotem następuje erodowanie cząstek materiału. Materiał elektrody i obrabiany przedmiot muszą być przewodnikami prądu elektrycznego. Narzędzie jest katodą, a obrabiany przedmiot – anodą. Między nimi znajduje się ciecz dielektryczna (np. woda dejonizowana, nafta). Zadaniem cieczy roboczej jest inicjowanie procesu wyładowania elektrycznego, usuwanie produktów erozji i chłodzenie obszaru obróbki. Zjawiskami towarzyszącymi wyładowaniom elektrycznym są: topienie, parowanie, rozrywanie i kruszenie materiału.

Przebieg pojedynczego wyładowania przedstawiono na rys. 4.1. Przed przebiciem (rys. 4.1*a*) następuje przyłożenie napięcia między elektrodą a obrabianym przedmiotem. W fazie przebicia elektrycznego (rys. 4.1*b*) tworzy się kanał plazmy, a podczas wyładowania (rys. 4.1*c*) następuje przegrzanie, stopienie i odparowanie materiału. W końcowej fazie wyładowania (rys. 4.1*d*) dochodzi do wybuchu plazmy i usunięcia stopionego materiału. Po wyładowaniu (rys. 4.1*e*) następuje wypłukanie wyerodowanego materiału ze szczeliny roboczej.



Rys. 4.1. Przebieg pojedynczego wyładowania elektrycznego: *a*) przed przebiciem, *b*) przebicie, *c*) wyładowanie, *d*) koniec wyładowania, *e*) po wyładowaniu

Obróbka elektroerozyjna jest przydatna szczególnie do kształtowania przedmiotów wykonanych z materiałów przewodzących prąd elektryczny i trudno skrawalnych: utwardzonej stali, węglików, supertwardych materiałów itp. Umożliwia wykonanie skomplikowanych, krzywoliniowych kształtów z wysoką dokładnością i stosuje się ją do wytwarzania narzędzi, form wtryskowych i matryc.

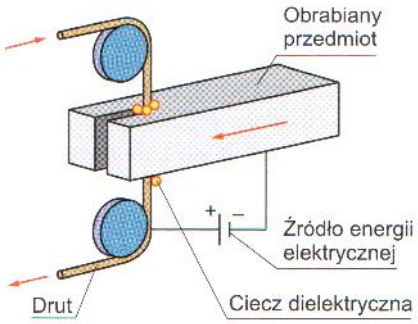
Elektrody wykorzystywane w procesie obróbki elektroerozyjnej mogą być wykonane z miedzi elektrolitycznej, grafitu, mosiądzu, stopów cyny lub kompozytów.

Wyróżniamy następujące procesy obróbki elektroerozyjnej:

- **elektrodrążenie** – EDM (ang. *Electric discharge Machining*) – kształtowanie odbywa się w wyniku odwzorowania kształtu elektrody roboczej w obrabianym przedmiocie;
- **cięcie drutem** – WEDM (ang. *Wire Electric discharge Machining*) – docelowy element jest wycinany drutem, którego średnica może wynosić nawet 20 μm;
- **wiercenie elektroerozyjne** – przebijanie otworów.

Elektrodrążenie jest procesem, w którym ubytek materiału obrabianego następuje w wyniku wyładowania elektrycznego między materiałem przedmiotu a elektrodą roboczą. Kształt uzyskany w wyniku obróbki elektrodrążeniem odpowiada kształtowi zastosowanej elektrody roboczej. Elektroda jest wykonana z materiału przewodzącego prąd elektryczny (np. miedź, grafit, mosiądz, kompozyty). Do wytwarzania impulsów elektrycznych są stosowane specjalne generatory. Urządzenia, na których wykonuje się operacje elektrodrążenia, są nazywane **elektrodrążarkami**.

W procesie **wycinania drutem** elektrodą (narzędziem) jest drut mosiężny o średnicy do 0,25 mm (lub wolframowy o średnicy 0,03–0,1 mm), który przemieszcza się zgodnie z założonym torem (kształtem wycinanego przedmiotu). Wyładowania elektryczne między drutem a materiałem przedmiotu powodują powstanie krawędzi rozcięcia. Drut przecina materiał na wylot (rys. 4.2), dlatego początek wycinania powinien znajdować się w wykonanym wcześniej otworze startowym lub w określonym miejscu krawędzi przedmiotu. Podczas wycinania elektroda robocza nie zużywa się – drut jest przewijany ze szpuli na szpulę z prędkością kilku metrów na minutę. Do szczeliny międzyelektrodowej jest podawany dielektryk pod ciśnieniem.



Rys. 4.2. Zasada wycinania drutem

Metodę wycinania drutem stosujemy głównie do wycinania przedmiotów o złożonych kształtach, wykrojników, krzywek wzorcowych i nietypowych uzębień (rys. 4.3).

Rys. 4.3. Przykład przedmiotów obrobionych metodą wycinania drutem

Wiercenie elektroerozyjne polega na rozgrzewaniu i nadtapianiu obrabianego materiału impulsami elektrycznymi o dużym natężeniu prądu i schładzaniu go strumieniem wody podawanej pod dużym ciśnieniem. Metoda ta umożliwia wykonywanie długich otworów o małej średnicy.

PYTANIA I POLECENIA

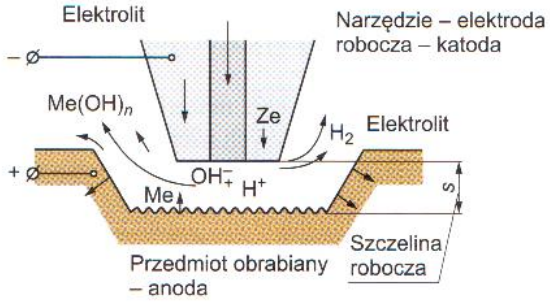
1. Omów przebieg pojedynczego wyładowania elektrycznego podczas obróbki elektroerozyjnej.
2. Wymień zalety wycinania drutem.
3. Wskaż różnice między elektrodrążeniem a wycinaniem drutem.

4.2. Obróbka elektrochemiczna

W TYM ROZDZIALE DOWIESZ SIĘ:

- na czym polega obróbka elektrochemiczna
- jakie są zalety stosowania obróbki elektrochemicznej
- jakie są typowe przypadki stosowania obróbki elektrochemicznej

Obróbka elektrochemiczna ECM jest procesem kształtowania przedmiotów przez roztwarzanie elektrochemiczne, które zachodzi w warunkach elektrolizy. **Roztwarzanie** polega na przechodzeniu cząstek substancji stałej do roztworu i reagowanie z rozpuszczalnikiem lub innym składnikiem roztworu. Obróbce ECM mogą być poddane przedmioty, które przewodzą prąd elektryczny. Na rys. 4.4. przedstawiono zasadę obróbki elektrochemicznej. Przedmiot obrabiany stanowi anodę, a narzędzie robocze (elektroda robocza) jest katodą. Między anodą a katodą znajduje się szczelina robocza o grubości 0,02–0,8 mm wypełniona elektrolitem. Podczas przepływu prądu elektrycznego między elektrodami następuje wymiana ładunku. Na powierzchni obrabianego przedmiotu (anodzie) zachodzi proces roztwarzania metalu – cząstki metalu w formie jonów przechodzą do elektrolitu i łączą się w wodorotlenki. Na katodzie natomiast następuje wyładowanie kationów i wydzielanie gazów (najczęściej wodoru). Elektrolitem może być wodny roztwór chlorku sodu lub siarczanu sodu.



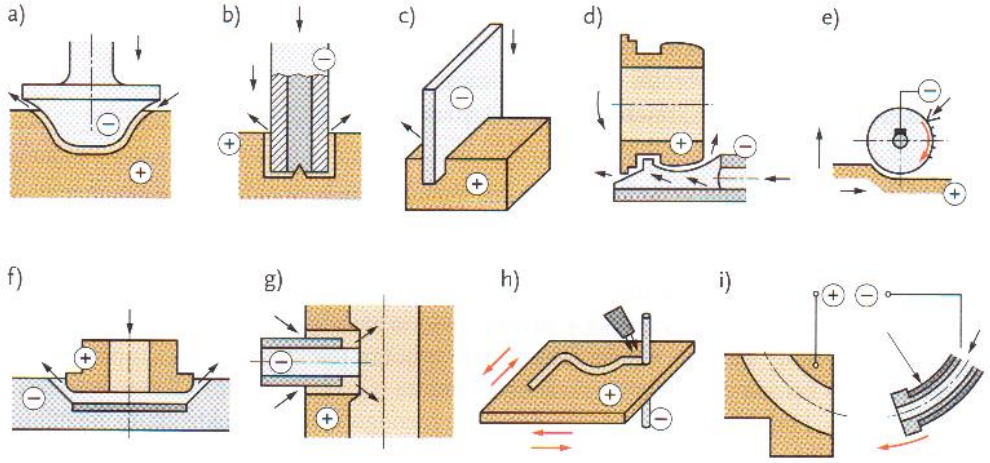
Rys. 4.4. Zasada obróbki elektrochemicznej

Narzędzie ma określony kształt, który z dużą dokładnością jest odwzorowywany na powierzchni obrabianego przedmiotu. Podczas obróbki wytwarza się energia cieplna powodująca wzrost temperatury strefy obróbki i powstają produkty obróbki. Usuwanie produktów obróbki i ciepła odbywa się dzięki przepływowi elektrolitu ze znacznymi prędkościami (powyżej 10 m/s). Dostarczany elektrolit jest sprężony do ciśnienia 0,05–3 MPa.

Proces ten można stosować niezależnie od mikrostruktury obrabianego materiału, jego twardości i podatności na obróbkę skrawaniem. Obrabiane przedmioty nie są narażone

na temperaturowe lub mechaniczne naprężenia. Ponieważ obróbka elektrochemiczna jest procesem bezstykowym, dlatego nie występują np. naprężenia mechaniczne, zużycie narzędzia, mikropęknięcia spowodowane zmianą temperatury, utlenianie powierzchni lub potrzeba gratowania.

Obróbkę elektrochemiczną stosujemy do wytwarzania przedmiotów o złożonych kształtach z materiałów trudno skrawalnych (np. łopatki silników odrzutowych, łopatki turbin parowych, matryce i wykrojniki). Umożliwia ona też poprawienie gładkości powierzchni, zaokrąglanie ostrych krawędzi oraz usunięcie zadziorów i nierówności w miejscach trudno dostępnych (rys. 4.5).



Rys. 4.5. Zastosowanie obróbki elektrochemicznej: *a*) kopiowanie, *b*) drążenie otworów niekołowych, *c*) przecinanie, *d*) toczenie, *e*) frezowanie lub szlifowanie, *f*) zaokrąglanie krawędzi, *g*) usuwanie zadziorów, *h*) wycinanie drutem, *i*) drążenie otworów kołowych

Zalety obróbki elektrochemicznej są następujące:

- możliwość wykonywania przedmiotów o skomplikowanych kształtach;
- możliwość uzyskania powierzchni wysokiej jakości (duża dokładność wymiarowa, mała chropowatość);
- możliwość obróbki elementów wykonanych z materiałów trudno obrabialnych lub niemożliwych do kształtowania za pomocą innych metod;
- w związku z brakiem oddziaływania mechanicznego i termicznego na obrabianą powierzchnię nie występują istotne zmiany w wierzchniej warstwie kształtowanej powierzchni;
- duża wydajność procesu;
- narzędzie nie ulega zużyciu.

Do **wad** obróbki zaliczamy :

- kontakt z substancjami chemicznymi mogącymi powodować oparzenia lub uczulenia;
- występowanie oparów roztworów chemicznych.

PYTANIA I POLECENIA

1. Wyjaśnij zasadę obróbki elektrochemicznej.
2. Jaką funkcję pełni elektrolit podczas obróbki elektrochemicznej?
3. Wyjaśnij zjawisko roztwarzania elektrochemicznego.

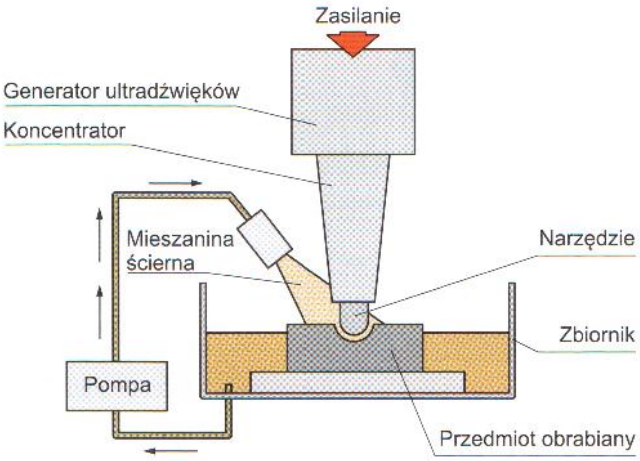
4.3. Obróbka ultradźwiękowa

W TYM ROZDZIALE DOWIESZ SIĘ:
- na czym polega obróbka ultradźwiękowa
- jak przebiega proces obróbki ultradźwiękowej

Obróbka ultradźwiękowa jest rodzajem obróbki erozyjnej, która polega na wykruszaniu cząstek obrabianego materiału w wyniku uderzeń drgającego narzędzia w ziarna ścierne znajdujące się w zawiesinie wodnej między narzędziem a obrabianym materiałem. Narzędzie jest wprawiane w drgania o częstotliwości ultradźwiękowej (19–25 kHz, a nawet do 50 kHz i amplitudzie 10–50 μm). Zawiesina wodna zawiera do 50% ścierniwa i dodatki antykorozyjne. Ziarna ścierne najczęściej są wykonane z węglika krzemu, węglika boru, korundu lub diamentu.

Zadaniem cieczy roboczej (zawiesiny) w procesie jest:
- przeniesienie drgań ultradźwiękowych;
- wywołanie zjawiska kawitacji przyśpieszającej erozję obrabianego materiału;
- doprowadzenie ziaren ściernych do strefy obróbki;
- chłodzenie obszaru obróbki;
- usuwanie cząstek wykruszonego materiału.

Zasadę obróbki ultradźwiękowej przedstawiono na rys. 4.6.



Rys. 4.6. Zasada obróbki ultradźwiękowej

Podczas drążenia zachodzą następujące zjawiska:

- erozja udarowo-ścierna – czyli mikroskrawanie, rozkruszanie i mikropęknięcia w obrabianym materiale;
- erozja kawitacyjna – powstająca na styku materiału i cieczy roboczej, powodująca wyrywanie i usuwanie cząstek materiału;
- erozja hydrodynamiczna – pulsująca ciecz usuwa wyerodowane cząstki materiału i ścierniwa.

Zjawisku erozji podlega nie tylko obrabiany materiał, lecz także narzędzie. Dlatego materiał, z którego zostało wykonane narzędzie, powinien być odporny na ścieranie, erozję kawitacyjną i powinien charakteryzować się małym tłumieniem drgań.

Obróbkę ultradźwiękową (zwaną również **udarowo-ścierną**) wykorzystujemy do wykonywania otworów o skomplikowanych kształtach w materiałach nieprzewodzących prądu elektrycznego, np. w szkle, ceramice. Dokładność obróbki zależy od częstotliwości i amplitudy drgań narzędzia, wielkości ziaren materiału ściernego, skuteczności usuwania produktów obróbki (cząstek obrabianego materiału i ścierniwa). Wzrost częstotliwości drgań wpływa na poprawę dokładności obróbki, natomiast wzrost amplitudy drgań odbija się na dokładności obróbki.

PYTANIA I POLECENIA

1. Omów zjawiska występujące podczas obróbki ultradźwiękowej.
2. Określ skład i zadania cieczy roboczej stosowanej podczas obróbki ultradźwiękowej.
3. Kiedy korzystamy z obróbki udarowo-ściernej?
4. Od czego zależy dokładność obróbki ultradźwiękowej?

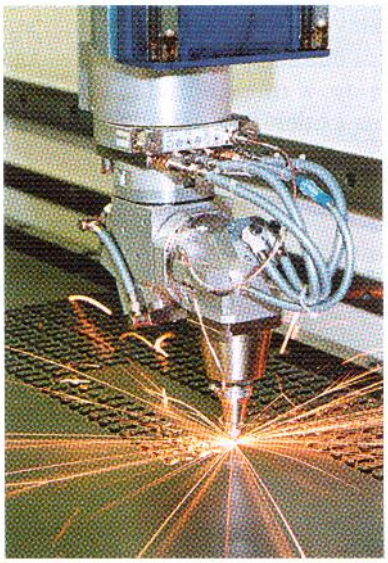
4.4. Obróbka laserowa

W TYM ROZDZIALE DOWIESZ SIĘ:

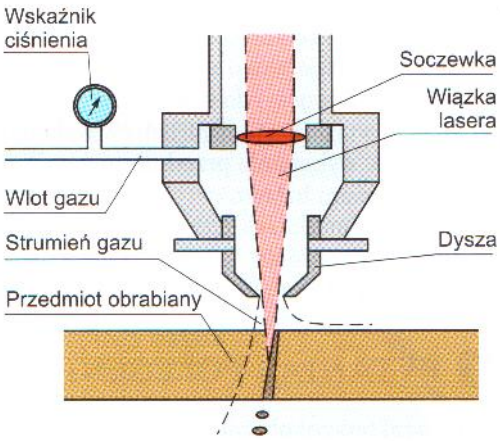
- na czym polega obróbka laserowa
- jak przebiega proces cięcia promieniem laserowym
- jakie są zalety obróbki laserowej

Obróbka laserowa polega na skierowaniu wiązki laserowej na powierzchnię materiału (rys. 4.7). Energia wiązki laserowej zamienia się w ciepło, które powoduje szybkie topnienie i odparowanie obrabianego materiału. Laserową obróbkę materiału stosujemy do cięcia, spawania, hartowania, utwardzania i drążenia materiałów. Ślusarz w zakresie swoich zadań zawodowych może ją wykorzystać do cięcia i spajania materiałów.

Cięcie laserem polega na punktowym wprowadzeniu wysokoenergetycznego strumienia tnącego (rys. 4.8). Podstawowym warunkiem poprawnego wykonania operacji i uzyskania wysokich parametrów obróbki jest precyzyjne prowadzenie strumienia tnącego.

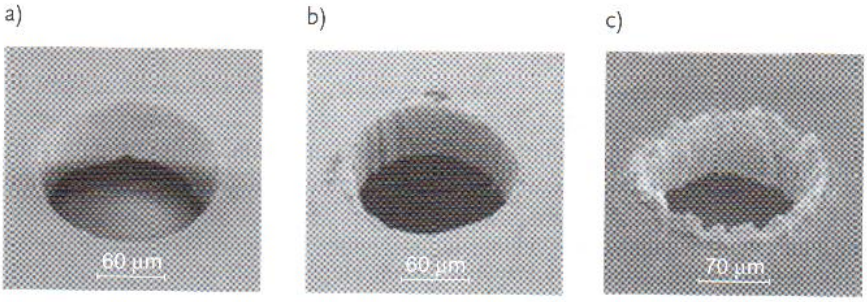


Rys. 4.7. Wycinanie otworów urządzeniem laserowym



Rys. 4.8. Schemat budowy głowicy do obróbki laserowej

Wiązka laserowa skupiona przez soczewkę zostaje skierowana w miejsce cięcia materiału (rys. 4.8). Energia skoncentrowana w wiązce miejscowo nagrzewa materiał do stanu płynnego. Strumień gazu wypływający z głowicy powoduje oczyszczenie i schłodzenie miejsca obróbki. Głównymi parametrami charakteryzującymi obróbkę laserową są prędkość przemieszczania się głowicy laserowej, częstotliwość impulsów oraz moc wiązki laserowej. Czas impulsu promienia laserowego może być różny (np. mikrosekundowy, nanosekundowy lub pikosekundowy). Krótszy czas impulsu sprzyja jakości obrobionej powierzchni (rys. 4.9).



Rys. 4.9. Dokładność wykonania powierzchni otworu strumieniem laserowym o częstotliwości: *a*) pikosekundowej, *b*) nanosekundowej, *c*) mikrosekundowej

Urządzenia laserowe są obecnie szeroko stosowane do cięcia zarówno materiałów metalowych, jak i niemetali. Są wykorzystywane w procesie cięcia m.in. stali niestopowych i wysokostopowych, aluminium, tytanu, tworzyw sztucznych, drewna, ceramiki.

Obróbką laserową można wykonywać precyzyjne operacje technologiczne na różnych materiałach z wydajnością i dokładnością znacznie przewyższającą metody konwencjonalne. Obróbkę tę charakteryzują bezkontaktowość, selektywność i możliwość pełnej automatyzacji. Bezkontaktowość zapewnia czystość miejsca obróbki. Wiązkę lasera można skupić do małych rozmiarów i selektywnie skierować ją np. w miejsca trudno dostępne. Proces obróbki przebiega bez nadmiernego nagrzewania i utleniania oraz z minimalną ilością zanieczyszczeń chemicznych.

Głównymi **zaletami** obróbki laserowej są:
- duża dokładność – do 0,001 mm;
- duża powtarzalność parametrów wykonanych przedmiotów;
- szybkość wykonania przedmiotów o skomplikowanych kształtach;
- niski poziom hałasu.

Do **wad** obróbki zaliczamy:
- duży koszt obróbki;
- konieczność obsługi urządzeń przez pracowników mających wysokie kwalifikacje.

PYTANIA I POLECENIA

1. Scharakteryzuj obszary zastosowania obróbki laserowej.
2. Jak jest zbudowana głowica laserowa?
3. Wyjaśnij, od czego zależy dokładność obróbki laserem.
4. Wymień zalety obróbki laserowej.

4.5. Obróbka plazmowa

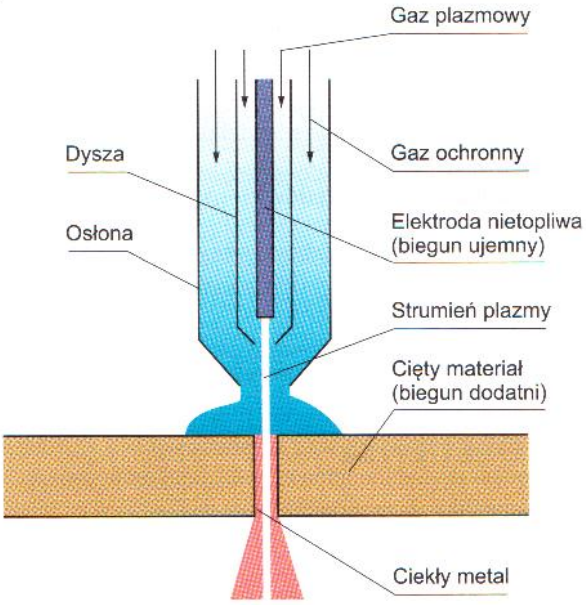
W TYM ROZDZIALE DOWIESZ SIĘ:

- na czym polega obróbka plazmowa
- jak przebiega proces cięcia strumieniem plazmy
- jakie są zalety i wady obróbki plazmowej

Do **obróbki plazmowej** wykorzystuje się strumień plazmy. Plazmą jest gaz, który przepływając przez łuk elektryczny, ulega jonizacji. Gazem plazmotwórczym najczęściej jest powietrze (w urządzeniach o dużych mocach stosuje się argon, azot, wodór, dwutlenek węgla oraz mieszanki argon-wodór i argon-hel).

Łuk elektryczny może być wytwarzany między elektrodą nietopliwą (biegun ujemny) umieszczoną w głowicy palnika plazmowego a materiałem obrabianym (biegun dodatni). Jest to tzw. **łuk zależny** stosowany w przypadku obróbki materiałów przewodzących prąd elektryczny. Łuk elektryczny może być wytwarzany również między elektrodami znajdującymi się we wnętrzu głowicy plazmowej. Jest to tzw. **łuk niezależny** stosowany do obróbki materiałów nieprzewodzących prądu elektrycznego.

Gaz plazmowy stapia i wydmuchuje ciekły metal ze szczeliny cięcia, gaz ochronny natomiast osłania obszar cięcia przed dostępem powietrza i zabezpiecza go przed zanieczyszczeniem (rys. 4.10).



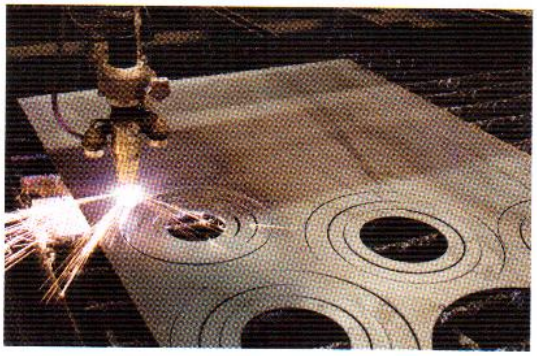
Rys. 4.10. Zasada obróbki plazmowej

Proces cięcia polega na topieniu i wyrzucaniu metalu ze szczeliny cięcia silnie skoncentrowanym strumieniem plazmy o temperaturze od 12 000 do 15 000°C. Strumień plazmy nadtapia i szybko odparowuje materiał, powodując jego rozdzielenie.

Podczas wykonywania obróbki plazmowej, w związku z wysoką temperaturą, wydzielają się szkodliwe dla zdrowia tlenki i azotki metali. Dlatego na stanowisku obróbki musi być zamontowana instalacja wentylacyjno-wyciągowa. Cięcie plazmowe pod wodą znacznie ogranicza wytwarzanie tlenków.

Krawędź cięcia jest zanieczyszczona produktami utleniania i jej kształt nie jest prostoliniowy. Niezbędna jest więc obróbka wykańczająca (np. szlifowanie) w celu usunięcia zanieczyszczeń.

Urządzenia do cięcia plazmą są przystosowane do ręcznego lub maszynowego cięcia plazmą powietrzną materiałów przewodzących prąd elektryczny: stali niestopowych i stopowych, aluminium i jego stopów, mosiądzu, miedzi, a także żeliwa. Specjalne wyposażenie palnika umożliwia cięcie w miejscach trudno dostępnych i we wszelkich pozycjach. Są również budowane urządzenia umożliwiające cięcie konstrukcji pod wodą, na dużych głębokościach. Przykład cięcia plazmowego blachy pokazano na rys. 4.11.



Rys. 4.11. Przykład cięcia plazmowego blachy

Zaletami obróbki plazmowej są:
- znaczna szybkość procesu;
- wąska strefa wpływu ciepła – stosunkowo niewielki wpływ temperatury na cały materiał;
- niewielka szczelina cięcia;
- możliwość cięcia bez nadpalania materiałów cienkich.

Do **wad** obróbki należą:
- duży hałas;
- silne promieniowanie;
- duża ilość gazów i dymu;
- trudności w utrzymaniu prostopadłości krawędzi cięcia.

PYTANIA I POLECENIA

1. Scharakteryzuj cechy obróbki plazmowej.
2. Opisz budowę głowicy plazmowej.
3. Wyjaśnij, co to jest plazma.
4. Wymień zalety i wady obróbki plazmowej.

4.6. Zasady bezpieczeństwa podczas wykonywania obróbek erozyjnych

W TYM ROZDZIALE DOWIESZ SIĘ:

- **jakie zasady bezpieczeństwa obowiązują podczas wykonywania obróbek elektroerozyjnych**

Podstawowym zadaniem jest zapewnienie warunków bezpieczeństwa i higieny pracy pracownikowi obsługującemu urządzenia do obróbek erozyjnych oraz poprawne funkcjonowanie stosowanych urządzeń.

Głównymi zagrożeniami bezpieczeństwa pracy podczas obróbek erozyjnych są:

- prąd elektryczny – może spowodować porażenie na skutek bezpośredniego lub pośredniego kontaktu z elementem maszyny znajdującym się pod napięciem;
- ciecze robocze – rozpryski i kontakt cieczy roboczej ze skórą mogą powodować poparzenia i uczulenia, a opary cieczy roboczej podrażnienia dróg oddechowych;
- elektrolity (dotyczy obróbki elektrochemicznej) – wdychanie oparów elektrolitu może powodować zatrucie, a jego rozpryski i rozlanie – oparzenia lub uczulenie skóry w wyniku jej kontaktu z elektrolitem;
- pyły materiałów ściernych i produktów ścierania (dotyczy obróbki ultradźwiękowej) – mogą powodować urazy oczu, dróg oddechowych i skóry;
- występowanie promieniowania laserowego o bardzo dużej gęstości mocy (dotyczy obróbki laserowej) – działa negatywnie na skórę i oczy;
- wysoka temperatura w miejscu wykonywania obróbki plazmowej – istnieje zagrożenie poparzenia i zagrożenie pożarowe oraz wybuchowe związane z oddziaływaniem strumienia plazmy;
- przedmioty obrabiane – ostre krawędzie tych przedmiotów mogą powodować skaleczenia, a ich upadek stłuczenia i zgniecenie ciała;
- pary i gazy powstające podczas procesów obróbki elektroerozyjnej– mogą powodować zatrucia i poparzenia.

Zalecenia dotyczące bezpieczeństwa pracy podczas obróbek erozyjnych

1. Przed uruchomieniem urządzenia należy sprawdzić jego stan techniczny i stosować tylko urządzenia sprawne.
2. Należy zachować ostrożność podczas napełniania przestrzeni roboczej urządzenia cieczą roboczą lub elektrolitem.
3. Urządzenia powinny mieć sprawne uziemienia ochronne; przewody oraz urządzenia elektryczne nie powinny być narażone na zawilgocenie i działanie cieczy roboczych.
4. Należy zapewnić wentylowanie pomieszczenia, w którym odbywa się obróbka.
5. Nie wolno naprawiać zauważonych uszkodzeń we własnym zakresie.
6. Należy schować długie włosy pod nakryciem głowy.
7. Trzeba stosować środki ochrony indywidualnej (np. środki ochrony oczu).

PYTANIA I POLECENIA

1. Jakie zagrożenia powodują ciecze robocze stosowane podczas obróbek erozyjnych?
2. Dlaczego niebezpieczne jest wdychanie oparów elektrolitów ?
3. Wymień zagrożenia występujące podczas obróbki ultradźwiękowej.
4. Jakie niebezpieczeństwa występują podczas obróbki laserowej i plazmowej?
5. Wymień zalecenia dotyczące bezpieczeństwa pracy podczas obróbek erozyjnych.

ZAPAMIĘTAJ

Obróbka elektrochemiczna ECM jest procesem kształtowania przedmiotów przez roztwarzanie elektrochemiczne, które zachodzi w warunkach elektrolizy. Obróbce ECM mogą być poddane przedmioty, które przewodzą prąd elektryczny. Stosujemy ją do wytwarzania przedmiotów o złożonych kształtach z materiałów trudno skrawalnych.
Obróbka ultradźwiękowa, zwana również udarowo-ścierną, jest rodzajem obróbki erozyjnej, która polega na wykruszaniu cząstek obrabianego materiału w wyniku uderzeń drgającego narzędzia w ziarna ścierne znajdujące się w zawiesinie wodnej między narzędziem a obrabianym materiałem. Wykorzystujemy ją do wykonywania otworów o skomplikowanych kształtach w materiałach nieprzewodzących prądu elektrycznego, np. w szkle, ceramice.
Obróbka laserowa polega na skierowaniu wiązki laserowej na powierzchnię materiału. Stosujemy ją do cięcia, spawania, hartowania, utwardzania i drążenia materiałów. Ślusarz w zakresie swoich zadań zawodowych może ją wykorzystać do cięcia i spajania materiałów. Metodą obróbki laserowej można wykonywać elementy o dokładności wymiarowej do 0,001 mm.
Do obróbki plazmowej wykorzystuje się strumień plazmy. Plazmą jest gaz, który przepływając przez łuk elektryczny, ulega jonizacji. Gazem plazmotwórczym najczęściej jest powietrze.Proces cięcia polega na topieniu i wyrzucaniu metalu ze szczeliny cięcia silnie skoncentrowanym strumieniem plazmy o temperaturze 12 000–15 000°C. Strumień plazmy nadtapia i szybko odparowuje materiał, powodując jego rozdzielenie.
Metody obróbki erozyjnej zapewniają wysoką dokładność wymiarową elementów maszyn, urządzeń i narzędzi.

SPRAWDŹ SWOJĄ WIEDZĘ

1. Wyjaśnij różnicę między obróbką elektroerozyjną a obróbką elektrochemiczną.
2. Scharakteryzuj proces wycinania drutem.
3. Wskaż różnice między obróbką laserową a obróbką plazmową.
4. Omów zjawisko erodowania materiału.
5. Na czym polega obróbka ścierno-erozyjna?
6. Scharakteryzuj procesy występujące podczas obróbki ultradźwiękowej.

LITERATURA

[1] J. Drętkiewicz-Więch, *Technologia mechaniczna: techniki wytwarzania*. WSiP, Warszawa, 2000.
[2] *Katalog Polskich Norm*.
[3] *Mały poradnik mechanika*, praca zbiorowa, WNT, Warszawa, 1994.
[4] J. Zawora, *Podstawy technologii maszyn*, WSiP, Warszawa, 2007.