



KURS

Cięcia tlenowego

PROWELD
TECHNIKA SPAWALNICZA
PROWELD.INFO.PL



Kursy spawalnicze

☎ 570 546 996

🌐 www.proweld.info.pl

✉ biuro.proweld01@gmail.com

BEZPIECZEŃSTWO I HIGIENA PRACY W SPAWALNICTWIE

WPROWADZENIE

Procesom spawania i cięcia termicznego towarzyszy wiele czynników, które mogą stanowić niebezpieczeństwo zagrażające obsłudze stanowisk spawalniczych oraz ich otoczeniu.

Do podstawowych zagrożeń należą:

- porażenie prądem elektrycznym,
- porażenie wzroku i skóry szkodliwym promieniowaniem,
- zatrucie szkodliwymi gazami, dymami i pyłami,
- poparzenie rozpryskami metali i żużli,
- eksplozja wybuchowych mieszanek gazowych,
- zagrożenie pożarowe,
- nadmierny hałas,
- radioaktywność i pole magnetyczne.

Rodzaj zagrożenia i stopień szkodliwości zależy od rodzaju procesu spawalniczego, rodzaju spawanego materiału, wielkości produkcji i organizacji pracy.

Braki i niedociągnięcia w zakresie zapewnienia bezpiecznych warunków pracy prowadzą często do wystąpienia wypadków oraz są przyczyną chorób zawodowych. Wśród głównych przyczyn wypadków przy pracach spawalniczych wymienia się brak doświadczenia zawodowego personelu spawalniczego (20%), niepełnosprawność pracowników (10%) i nieprzestrzeganie przepisów (70%). Zatem duże znaczenie w przeciwdziałaniu występującym zagrożeniom i powstawaniu wypadków w pracy ma zatrudnianie pracowników z wymaganymi uprawnieniami spawalniczymi oraz odpowiednie szkolenie załóg.

Odpowiedzialność za bezpieczne warunki pracy i ochronę środowiska spoczywa zarówno na pracodawcy jak i na pracownikach. Na pracodawcy ciąży obowiązek szkolenia w zakresie BHP, dopuszczanie pracowników do pracy zgodnie z ich kwalifikacjami i zapewnienie bezpiecznych warunków pracy. Pracownicy są zobowiązani do ścisłego przestrzegania obowiązujących instrukcji obsługi urządzeń, instrukcji bezpieczeństwa na stanowisku pracy oraz innych uregulowań organizacyjnych związanych ze stanowiskiem pracy.

ZAGROŻENIA PORAZENIEM PRĄDEM ELEKTRYCZNYM

Źródła zagrożeń porażenia prądem elektrycznym związane są zarówno z bezpośrednim przebiegiem procesu spawania, jak również z obsługą elektrycznych urządzeń pomocniczych wykorzystywanych w procesie spawania. Skutki oddziaływania prądu na organizm ludzki są bardzo groźne dla zdrowia, a często są zagrożeniem dla życia. Jego przepływ przez ciało ludzkie powoduje wydzielanie się dużych ilości ciepła, działa porażająco na układ nerwowy, wywołuje zjawisko

elektrolizy, a także może być przyczyną ciężkich, wtórnych urazów mechanicznych w wyniku upadku.

Wzrost temperatury ciała powyżej 50 °C, spowodowany przepływem prądu, powoduje zamieranie tkanek wskutek ścinania się białka. Natomiast prąd o dużym natężeniu może spowodować nawet zwęglenie części ciała, przez które przepływa.

Paraliż układu nerwowego, spowodowany przepływem prądu, objawia się zaburzeniami zmysłów wzroku, słuchu, równowagi, zakłóceniami pracy serca, a nawet zatrzymaniem oddechu. Szczególnie groźne dla porażonego są zakłócenia w pracy serca w postaci tzw. migotania komór serca, ponieważ w warunkach głębokiego omdlenia nie wykazuje on oznak życia i bez natychmiastowej pomocy medycznej dochodzi do śmierci.

Najsilniej na układ nerwowy oddziałuje prąd przemienny o częstotliwości 40-60 Hz, prąd stały jest pod tym względem mniej groźny. Prąd przemienny o natężeniu 0,01-0,025 A powoduje ból i skurcz mięśni ręki trzymającej przewód elektryczny uniemożliwiając jej oderwanie. Prąd przemienny większy od 0,05 A prowadzi do utraty przytomności, a powyżej 0,1 A grozi śmiercią.

Szczególnie groźne są wypadki związane z kontaktem spawacza z obwodem pierwotnym urządzeń spawalniczych, z powodu występującego tam wysokiego napięcia, co skutkuje często porażeniem śmiertelnym. Niebezpieczny też może być obwód wtórny tych urządzeń, a to z uwagi na napięcie biegu jałowego, które zależnie od urządzenia wynosi 62-100 V.

Wartość prądu elektrycznego płynącego przez organizm ludzki zależy od napięcia źródła prądu oraz oporu kontaktowego ciała. Im większy jest ten opór tym mniejszy płynie prąd. Sucha skóra i sucha odzież ma większą oporność elektryczną od wilgotnych. Natomiast wilgotne środowisko spawania, mokre i zabrudzone pyłem ubranie, wilgotna podłoga zmniejszają ogólny opór elektryczny i zwiększają przez to niebezpieczeństwo śmiertelnego porażenia prądem.

Przy użytkowaniu elektrycznych urządzeń spawalniczych i osprzętu należy w szczególności przestrzegać następujących wymagań bezpieczeństwa:

- nie dotykać gołymi rękami urządzeń pracujących pod napięciem,
- dbać o stan izolacji przewodów zasilających, ponieważ uszkodzona izolacja może być przyczyną przebicia i porażenia prądem,
- unikać pracy z urządzeniami elektrycznymi w wilgotnych pomieszczeniach lub w wilgotnym ubraniu, a w razie potrzeby nosić suchą odzież ochronną, gumowe rękawice oraz stać na izolacyjnych matach,
- nie dotykać elektrody, jeżeli występuje kontakt z przedmiotem spawanym lub ziemią, lub innej elektrody od innego urządzenia,
- nigdy nie należy pracować pojedynczo, zawsze wymagana jest obecność drugiej osoby,
- należy wyłączyć wszystkie urządzenia, które nie są używane,
- nie przekładać spawalniczych przez swoje ciało,
- przy pracy wewnątrz zbiorników, kotłów i innych metalowych pomieszczeń, stosować oświetlenie elektryczne o napięciu 24 V,

- używać tylko urządzeń sprawnych technicznie, stosować się do instrukcji obsługi urządzenia,
- instalację, naprawy i przeglądy elektrycznych urządzeń spawalniczych powinni wykonywać pracownicy mający odpowiednie uprawnienia.

ZAGROŻENIA PROMIENIOWANIEM ŹRÓDEŁ CIEPŁA SPAWANIA

Procesom spawania łukiem elektrycznym oraz płomieniem gazowym a także cięcia termicznego towarzyszy promieniowanie świetlne widzialne i niewidzialne, którego intensywność zależy od metody spawania oraz parametrów procesu. Na jego szkodliwe skutki narażone są oczy i skóra odsłoniętych części ciała spawacza.

Promieniowanie widzialne działa oślepiająco, nie pozwalając na obserwację miejsca spawania. Widzialne promieniowanie niebieskie powoduje krótkotrwałe ośnienie wzroku, natomiast długotrwałe jego oddziaływanie powoduje podrażnienie oczu, trwałe osłabienie wzroku i bóle głowy.

Niewidzialne promieniowanie podczerwone, przenika w głąb oka i powoduje przegrzanie gałki ocznej. Długotrwałe oddziaływanie powoduje uszkodzenie siatkówki. Skóra odsłoniętych części ciała pochłania 95% promieniowania podczerwonego, powodując silny wzrost temperatury na jej powierzchni.

Niewidzialne promieniowanie nadfioletowe jest silnie pochłaniane przez soczewkę, powoduje zapalenie spojówek, rogówki i powiek. Działając fotochemicznie na soczewkę powoduje powstawanie zaćmy, a długotrwałe narażanie prowadzi do utraty wzroku. Skutki działania promieniowania nadfioletowego na oczy odczuwa się już po kilku godzinach jako przykry ból oka, światłowstręt i łzawienie. Groźne w skutkach może być oddziaływanie promieniowania nadfioletowego na odsłonięte części ciała. Powoduje ono oparzenia podobne do oparzeń słonecznych, a wielokrotna ekspozycja skóry na intensywne promieniowanie ultrafioletowe wywołuje zwłóknienie skóry i zanik naskórka. Długotrwałe działanie tego promieniowania na skórę prowadzi do wystąpienia zmian nowotworowych.

Skuteczną ochronę przed szkodliwym działaniem promieniowania mogą zapewnić indywidualne środki ochrony spawacza takie jak okulary ochronne do spawania gazowego, przyłbice spawalnicze do spawania łukowego, rękawice spawalnicze oraz odzież ochronna. Stanowisko spawania powinno być oddzielone od innych stanowisk pracy za pomocą parawanów.

ZAGROŻENIA GAZAMI, DYMAMI I PYŁAMI SPAWALNICZYMI

Podczas spawania oraz cięcia termicznego wydzielają się duże ilości gazów, dymów, pyłów oraz par metali, które mają szkodliwy wpływ na zdrowie spawacza i osób przebywających w pobliżu stanowiska spawalniczego. Źródłami emisji gazów jest termiczny rozkład i sublimacja związków chemicznych wchodzących w skład

otulin elektrod otulonych, topników do spawania łukiem krytym, topników do lutowania, rozpad i jonizacja gazów spawalniczych. Podczas topienia metali w łuku spawalniczym zachodzi także parowanie metali i utlenianie par metali. W niższej temperaturze lotne substancje kondensują tworząc cząstki o wielkości 0,1-0,5 μm .

Ilość oraz skład chemiczny powstających gazów, dymów, pyłów oraz par metali zależy od metody spawania, rodzaju spawanego materiału podstawowego i materiałów dodatkowych oraz parametrów spawania.

Gazy, które powstają przy spawaniu, cięciu, lutowaniu itp. i stwarzają zagrożenie dla zdrowia spawacza to najczęściej ozon, tlenki azotu, tlenek węgla, fosgen, fluorowodór, a także produkty rozkładu związków chlorowych.

Szczególne toksycznością odznaczają się dymy spawalnicze, które są aerozolem mieszaniną bardzo drobnych cząstek pyłu i gazów. Również pary metali i ich tlenki stwarzają duże zagrożenie dla zdrowia. Do najczęściej spotykanych, szczególnie niebezpiecznych, zalicza się związki cynku, ołowiu, kadmu, aluminium i miedzi.

Celem ochrony pracowników przed skutkami narażenia na działanie niebezpiecznych dla zdrowia substancji należy przestrzegać przepisów określających wartości dopuszczalnych stężeń poszczególnych związków w powietrzu na stanowisku pracy. Skutecznym sposobem ochrony w tym przypadku jest sprawnie działający system wentylacji ogólnej i lokalnej na stanowisku spawalniczym. Szczególnym nadzorem należy objąć spawaczy pracujących w ciasnych pomieszczeniach (zbiornikach), gdzie oprócz wentylacji może być konieczny również nawiew świeżego powietrza.

ZAGROŻENIA POPARZENIEM ROZPRYSKAMI METALI I ŻUŻLI

Stosowane w procesach spawania źródła ciepła o wysokiej temperaturze znajdują się w bezpośredniej bliskości spawacza. Z tego względu istnieje bezpośrednie niebezpieczeństwo poparzenia ciepłem łuku, ciepłem płomienia gazowego oraz odpryskami metalu i żużla.

Źródłem zagrożenia poparzeniem w procesach spawania może być rozgrzana elektroda, gorąca spoina, proces wstępnego podgrzewania przedmiotów jak również zabiegi obróbki cieplnej złączy po spawaniu. Podczas spawania części metalowe nagrzewają się wskutek przewodnictwa ciepła nawet na znacznej odległości od miejsca pracy spawacza i mogą stać się źródłem zagrożenia poparzeniem.

Niestabilność procesów spawania jest przyczyną występujących gorących rozprysków metalu i żużli, które mogą powodować poparzenie spawacza, a także mogą wywołać zapalenie się materiałów łatwopalnych podczas prowadzenia prac spawalniczych. Do ochrony przed oparzeniami należy nosić nieuszkodzoną ochronną odzież spawalniczą i rękawice spawalnicze, a w szczególnych przypadkach także skórzany fartuch.

ZAGROŻENIE EKSPLOZJĄ MIESZANEK WYBUCHOWYCH

Niebezpieczeństwo wybuchu mieszanek gazowych występuje w pracach spawalniczych, w których stosuje się butle z gazami palnymi lub butle z tlenem. Gazy palne tworzą z powietrzem lub tlenem mieszaniny wybuchowe w bardzo szerokim zakresie stężeń. Do zainicjowania wybuchu takiej mieszanki wystarczy niewielka iskra. Spalaniu wybuchowemu mieszanki towarzyszy niszcząca fala detonacyjna i wysoka temperatura, będąca przyczyną pożarów. Do powstania mieszanek wybuchowych przy pracach spawalniczych przyczyniają się następujące czynniki:

- niewłaściwa obsługa butli, np. rzucanie, przewracanie mogące uszkodzić zawór butli,
- nieszczelność zaworów butlowych lub reduktorów,
- nieszczelność instalacji gazowej,
- magazynowanie wspólne gazów palnych z tlenem, chlorem itp.

Wybuchowi mogą ulec również butle z gazami sprężonymi. Dlatego należy z butlami obchodzić się bardzo ostrożnie, unikać wstrząsów, chronić przed uderzeniami itp. Należy je również chronić przed nagrzaniem, tzn. nie wystawiać na działanie promieni słonecznych, nie stawiać w pobliżu pieców lub ognisk, aby w ten sposób nie wywołać nadmiernego ciśnienia, mogącego spowodować rozerwanie butli. Bardzo niebezpieczne jest zanieczyszczenie butli oraz instalacji sprężonego tlenu smarami, olejami czy innymi tłuszczami.

Zagrożenie wybuchem występuje również podczas prac spawalniczych przy zbiornikach, rurociągach i innych obiektach przeznaczonych do przechowywania i transportu materiałów palnych. Wówczas prace mogą być prowadzone pod szczególnym nadzorem.

ZAGROŻENIE HAŁASEM

Hałas należy do najczęściej występujących w środowisku pracy czynników oddziałujących szkodliwie na organizm ludzki, a procesy spawalnicze są jego najpoważniejszymi źródłami. Szczególnie niebezpieczne okazują się procesy cięcia termicznego oraz natryskiwanie cieplne, podczas których poziom hałasu przekracza obowiązujące normy bezpieczeństwa, w wysokości 85 dB, a często osiąga wartość 110 dB zbliżając się do progu odczuwalnego bólu.

Poziom hałasu zależy od metody cięcia i spawania oraz od stosowanych parametrów procesu takich jak parametry prądowe, rodzaj stosowanych gazów itp. Źródłami hałasu w procesach cięcia i spawania są:

- urządzenia elektryczne do spawania i cięcia,
- wypływ strumienia gazów z dyszy palnika gazowego lub plazmowego,
- układy chłodzenia urządzeń spawalniczych,
- urządzenia wentylacyjne na stanowiskach pracy.

Praca w hałasie, oddziałującym na narządy słuchu może powodować upośledzenie sprawności narządów słuchu i uszkodzenie ucha środkowego. Ryzyko uszkodzenia narządów słuchu istotnie zwiększa się wraz ze wzrostem poziomu natężenia hałasu

i długości czasu ekspozycji na hałas oraz ze wzrostem udziału dźwięków o wysokiej częstotliwości i dźwięków impulsowych. Z tego względu w warunkach zagrożenia hałasem, należy zaopatrzyć się w osłonę uszu, stosując miękkie zatyczki i nauszniki.

ZAGROŻENIA POŻAROWE

Największe zagrożenie pożarowe występuje w pracach spawalniczych nieodpowiednio przygotowanych do wykonywania takich prac. Wysoka temperatura łuku spawalniczego, płomienia gazowego, a także powstające podczas spawania, zgrzewania i cięcia rozpryski mogą stać się przyczyną zapalenia się materiałów łatwopalnych, znajdujących się w pobliżu miejsca spawania. Szczególnie niebezpiecznie, ponieważ często lekceważone, są rozpryskujące się rozżarzone cząstki metalu, które rozprzestrzeniają się niekiedy na kilka metrów od miejsca spawania czy cięcia.

Do głównych przyczyn, sprzyjających powstawaniu i rozprzestrzenianiu się pożarów w pracach spawalniczych, należą:

- snop rozżarzonych cząstek metalu (iskier),
- krople ciekłego metalu,
- żarzące się cząstki żużla,
- wysoka temperatura łuku elektrycznego i płomienia gazowego,
- promieniowanie cieplne,
- niesprawna instalacja i urządzenia spawalnicze,
- wykonywanie prac spawalniczych w pobliżu obiektów będących niebezpiecznymi pod względem pożarowym i nieodpowiednio zabezpieczonymi,
- nieznajomość lub lekceważenie przepisów przeciwpożarowych,
- brak odpowiedniego nadzoru nad przebiegiem prac spawalniczych.

Bardzo ważnym działaniem zapobiegającym pożarom, jest kontrola miejsc i obiektów po zakończeniu prac spawalniczych.

ZAGROŻENIA RADIOAKTYWNOŚCIĄ I POLEM ELEKTROMAGNETYCZNYM

Promienie X oraz gamma mogą u człowieka, który otrzymał niebezpieczną dawkę promieniowania, spowodować wiele groźnych chorób, takich jak rozpad czerwonych ciałek krwi, uszkodzenie gruczołów i wiele innych.

Potencjalne źródło zagrożenia radioaktywnego występuje przy spawaniu metodą TIG (z ang. Tungsten Inert Gas) z użyciem elektrod wolframowych zawierających ok. 2% tlenku toru, przy spawaniu wiązką elektronów oraz podczas kontroli radiologicznej złączy spawanych.

Tlenek toru ThO_2 jest związkiem słabo promieniotwórczym i podczas spawania występuje w niewielkich stężeniach w dymach spawalniczych. Zagrożenie nim istnieje w przypadku całkowitego braku wentylacji stanowiska spawalniczego.

Większe zagrożenie radioaktywnością występuje w spawaniu wiązką elektronów. Szczególnie niebezpiecznym źródłem promieniowania X są urządzenia do spawania WE pracujące pod napięciem większym niż 60 kV.

Największe zagrożeniem promieniowaniem jonizującym występuje podczas badania złączy spawanych metodami radiologicznymi, które wykorzystują promieniowanie rentgenowskie X oraz promieniowanie γ izotopów promieniotwórczych.

Z uwagi na duże zagrożenie radioaktywnością personel obsługujący urządzenia do spawania wiązką elektronów oraz wykonujący badania radiologiczne, musi mieć indywidualne wskaźniki napromieniowania.

W procesach spawalniczych występuje również zagrożenia polem elektromagnetycznym, którego źródłami mogą być:

- urządzenia indukcyjne do nagrzewania i topienia metali,
- zgrzewarki elektryczne odporowe,
- urządzenia i wyposażenie do spawania elektrycznego, w tym:
 - a) spawalnicze źródła prądu,
 - b) przewody spawalnicze,
 - c) łuk elektryczny.

Negatywny wpływ długotrwałego działania promieniowania elektromagnetycznego na organizm na ludzki przejawia się zwiększoną zachorowalnością na choroby układu nerwowego, a ponadto:

- bólami głowy,
- nerwową drażliwością,
- zaburzeniami czynności serca i mózgu,
- zaburzeniami rytmów biologicznych,
- uczuciem mrowienia skóry.

Ciało ludzkie wystawione na promieniowanie elektromagnetyczne adsorbuje część energii pola i zamienia ją na ciepło, co w konsekwencji prowadzi do niebezpiecznego wzrostu jego temperatury.

PRZEPISY DOTYCZĄCE BEZPIECZEŃSTWA I HIGIENY PRACY W PRACACH SPAWALNICZYCH.

Obowiązujące przepisy w sprawie bezpieczeństwa i higieny pracy w pracach spawalniczych, wydane w rozporządzeniu ministra gospodarki z dnia 27 kwietnia 2000 r. zawarte są w Dz. U. Nr 40 poz. 470. Zarządzenia oparte na podstawie Kodeksu pracy, art. 237 §2, dotyczą uregulowania zasad bezpieczeństwa i odnoszą się między innymi do:

- spawalni i stanowisk spawalniczych,
- wyposażenia i materiałów technologicznych,
- kwalifikacji personelu spawalniczego,
- wykonywania prac spawalniczych.

W ujęciu Ustawy spawalnia i stanowiska spawalnicze są rozumiane następująco:

- Stanowisko spawalnicze – jest to stanowisko pracy, na którym

są wykonywane prace przy zastosowaniu procesów spajania, takich jak spawanie, napawanie, lutowanie, zgrzewanie i cięcia termicznego metali i tworzyw termoplastycznych.

- Stałe stanowisko spawalnicze – jest to stanowisko pracy przeznaczone do powtarzalnego wykonywania prac spawalniczych, którego wyposażenie techniczne i instalacje zasilające są na stałe zainstalowane.
- Ruchome stanowisko spawalnicze – jest to stanowisko pracy przeznaczone do okresowego wykonywania prac spawalniczych, którego wyposażenie techniczne i instalacje zasilające są kompletowane doraźnie na czas wykonywania określonej pracy.
- Spawalnia – jest to pomieszczenie przystosowane lub wydzielona część pomieszczenia, w którym są zlokalizowane stałe stanowiska spawalnicze.

ZALECENIA I PRZEPISY BHP OBOWIĄZUJĄCE UCZESTNIKÓW LABORATORIUM

1. Do ćwiczeń laboratoryjnych studenci powinni przystąpić ubrani w fartuch ochronny oraz inne środki ochrony osobistej przewidziane do użycia na danym stanowisku spawalniczym, takie jak okulary, przyłbice, rękawice itp.
2. Zabrania się samowolnego uruchamiania urządzeń znajdujących się na spawalni. Studenci mogą uruchamiać i obsługiwać urządzenia laboratoryjne jedynie za zgodą i pod nadzorem prowadzącego ćwiczenie.
3. W szczególności, ze względu na bezpieczeństwo uczestników laboratorium, zabrania się studentom:
 - obserwacji procesów spawania bez środków ochrony wzroku,
 - dotykania rozgrzanych przedmiotów bezpośrednio po spawaniu lub cięciu,
 - dotykania przewodów będących pod napięciem,
 - kierowania płomienia lub innych źródeł ciepła na butle ze sprężonymi gazami lub inne urządzenia lub osoby,
 - opierania się o urządzenia, przewody i inne elementy stanowisk laboratoryjnych,
 - samowolnej naprawy urządzeń spawalniczych i dokonywania zmian w ich konstrukcji,
 - używania urządzeń spawalniczych do innych celów niż to przewidziano w ćwiczeniu,
 - bezmyślnego manipulowania przyciskami i pokrętkami aparatury badawczej i innych urządzeń pomiarowych,
 - zdejmowania osłon, demontażu urządzeń oraz usuwania innych elementów wyposażenia laboratorium mających wpływ na bezpieczeństwo osób przebywających na spawalni,
 - samowolnego opuszczania stanowiska laboratoryjnego w trakcie odbywania ćwiczeń,
 - samowolnego przechodzenia do innych stanowisk laboratoryjnych, lub innych grup ćwiczeniowych, a także załatwianie podczas ćwiczeń spraw nie związanych z tematem zajęć laboratoryjnych,

9. CIĘCIE TERMICZNE

CEL ĆWICZENIA

Celem ćwiczenia jest zapoznanie studentów z:

- wybranymi urządzeniami do cięcia termicznego,
- przebiegiem cięcia,
- wynikami cięcia, czyli stanem i jakością krawędzi materiałów ciętych różnymi metodami.

9.1. WPROWADZENIE

Cięcie termiczne to rozdzielanie materiału za pomocą strumienia ciepła. W zależności od metody, proces rozdzielania jest albo skutkiem spalania w tlenie metalu w szczelinie cięcia i wydmuchnięcia tlenków, albo stopienia, ewentualnie odparowania metalu, a następnie usunięcia frakcji ciekłej i gazowej przez strumień gazu.

Wszystkie metale, poza szlachetnymi, relatywnie łatwo ulegają utlenianiu. Szczególnie szybko proces ten przebiega w obecności czystego tlenu i w podwyższonej temperaturze. Intensywne utlenianie, będące wynikiem reakcji egzotermicznej, czyli przebiegającej z wydzielaniem ciepła, to spalanie. Zjawisko to dotyczy szeregu metali i te można ciąć poprzez lokalne spalanie.

Aby cięcie przez spalanie, nazywane często cięciem tlenem, było możliwe, metal musi spełnić dwa warunki:

- temperatura zapłonu metalu w tlenie musi być niższa od jego temperatury topnienia,
- temperatura topnienia powstających tlenków musi być niższa od temperatury zapłonu.

Pożądane jest, aby były spełnione dwa kolejne warunki:

- reakcja spalania powinna być silnie egzotermiczna,
- przewodność cieplna metalu powinna być jak najniższa.

Spośród wszystkich metali technicznych warunki te spełniają: żelazo, tytan i wolfram. Reakcja egzotermiczna spalania żelaza w tlenie daje ciepło ok. 270 kJ/mol, tytanu – aż 900 kJ/mol. Większość dodatków stopowych wprowadzanych do metali utrudnia cięcie, w przypadku stali od pewnego poziomu ich zawartości cięcie staje się niemożliwe. Utrudnienia te są głównie skutkiem wzrostu lepkości stopionego metalu i żużła, ograniczenia wymiany ciepła w materiale oraz spadku aktywności utleniania.

Jedynym typowym dodatkiem stopowym, który ułatwia cięcie stali przez lokalne spalanie, jest mangan, jego duża zawartość kompensuje niekorzystny wpływ innych dodatków stopowych. Nikiel nie ma zdecydowanie negatywnego wpływu aż do zawartości 35%, wolfram – do 15%. Maksymalna zawartość chromu i krzemu, przy której możliwe jest cięcie, to ok. 4%, Mo i V – ok. 5%, a węgla – do 1,6%. Bardziej

szczegółowe dane zestawiono w tab. 9.1. Negatywny wpływ dodatków ma charakter łączny, czyli w praktyce zawartość węgla musi być znacząco mniejsza od dopuszczalnej, gdyż w stalach zawsze występują inne dodatki stopowe. Sposobem na cięcie stali o nieco większej od granicznej zawartości dodatków stopowych jest wstępne podgrzanie (tab. 9.2). Do określania równoważnika węgla przy cięciu bywa stosowany wzór ogólny (9.1). Do obliczania temperatury wstępnego podgrzewania stali wykorzystywana jest bardziej dokładna zależność (9.2). Temperatura podgrzania określana jest wzorem (9.3).

$$C_e = C + Mn/6 + (Cr + Mo + V)/5 + (Ni + Cu)/15 \quad [\%] \quad (9.1)$$

$$C_e = C + 0,155(Cr + Mo) + 0,14(Mn + V) + 0,11Si + 0,045(Ni + Cu) \quad [\%] \quad (9.2)$$

$$T_p = 500 \times [C_e \times (1 + 0,0002g) - 0,45]^{0,5} \quad [^{\circ}C] \quad (9.3)$$

gdzie: g – grubość materiału [mm].

Znaczący wpływ na wydajność cięcia ma także czystość tlenu stosowanego do cięcia. Jeśli przyjąć, że użycie tlenu o czystości 99,5% jest normą, to obniżenie czystości do 98,5% wymaga zwiększenia ciśnienia o 25%, wydatku gazu o 20%, a prędkość cięcia spada o 20%. Tlen o czystości 97,5% wymaga wzrostu ciśnienia i wydatku tlenu o 50%, a prędkość cięcia spada o połowę. Dane dotyczą stali o grubości ok. 30mm, dla większej grubości różnice są bardziej znaczące, a stali o grubości 300 mm i większej tlen o czystości 97,5% nie przecina w ogóle.

Tab. 9.1. Wpływ dodatków stopowych na możliwość cięcia stali przez lokalne spalanie

pierwiastek	zawartość [% wag.]	
	brak wpływu	utrudnia cięcie
węgiel	do 0,45	0,45 – 1,6
krzem	do 0,5	0,5 – 4,0
aluminium	do 0,5	0,5 – 10,0
molibden	do 2,0	2,0 – 5,0
chrom	do 2,0	2,0 – 4,0
wolfram	do 2,0	2,0 – 15,0
nikiel	do 15,0	15,0 – 35,0

Wielkości podane w tablicy 9.1. należy traktować orientacyjnie, źródła istotnie je różnicują, maksymalne zawartości w ostatniej kolumnie dotyczą zwykle możliwości cięcia po znacznym podgrzaniu.

Tab. 9.2. Zalecenia dotyczące obróbki cieplnej przy cięciu stali z różną zawartością składników stopowych

Zawartość składników stopowych C _e [% wag.]	Zalecenia
do 0,54	Bez ograniczeń
0,54 – 0,7*	Podgrzać wstępnie do 150 – 250 °C
0,7 – 0,94*	Podgrzać wstępnie do 250 – 350 °C, po cięciu powoli chłodzić
Ponad 0,94*	Podgrzać wstępnie powyżej 350 °C po cięciu chłodzić powoli z piecem
* brak podgrzania spowoduje zahartowanie SWC i ewentualne pęknięcia	

Gazy palne, stosowane do podgrzewania metalu przy cięciu przez spalanie, to zwykle acetylen lub propan, rzadziej wodór, gaz ziemny lub koksowniczy. W przypadku cięcia w bardzo niskich temperaturach otoczenia bywają stosowane paliwa płynne, np. benzyna. Acetylen zapewnia szybkie i silne nagrzanie materiału, przez co proces cięcia może rozpocząć się szybko, co zapewnia oszczędność gazu. Jest to szczególnie istotne w przypadku potrzeby dokonywania krótkich cięć (wielokrotnego rozpoczynania procesu). Propan korzystnie wpływa na jakość krawędzi cięcia, ale nagrzanie materiału do temperatury zapłonu wymaga niemal trzykrotnie więcej czasu w porównaniu z acetylenem, przez co ten gaz bywa używany do wykonywania długich cięć. Właściwości wymienionych gazów palnych zestawiono w tab. 9.3.

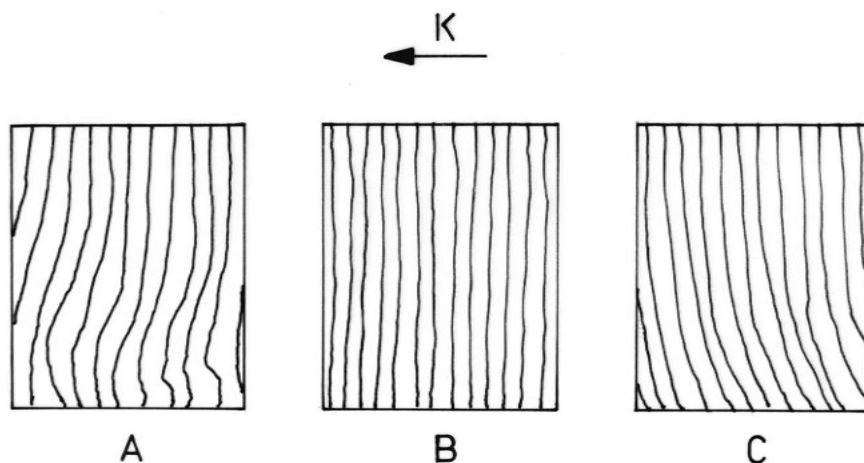
Tab. 10.3. Właściwości gazów palnych

Gaz	Temperatura płomienia ¹ [°C]	Ciepło spalania [kJ/m ³]	Wydatek tlenu	Współczynnik efektywności ²
acetylen	3350	53000	1,1	1
wodór	2100	11000	0,4	5,2
propan	2600	87000	3,6	0,6
gaz ziemny	2100	34000	1,0	1,6
gaz koksowniczy	2000	17000	0,6	3,0
Uwagi : 1 – podczas spalania w tlenie, 2 – czyli ilość gazu potrzebna do wykonania tego samego zadania w porównaniu do acetyleny, wszystkie wielkości przybliżone				

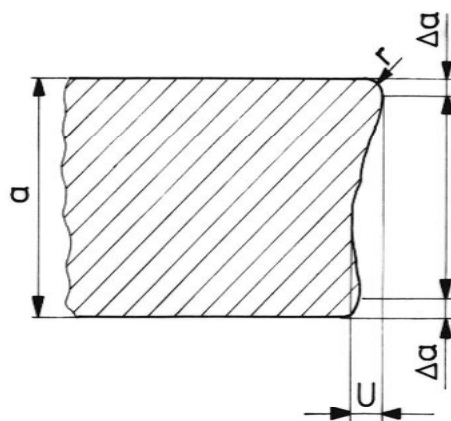
Cięcie termiczne powoduje charakterystyczne odchylenia rzeczywistego kształtu krawędzi ciętej od teoretycznego. Od strony, z której działa źródło ciepła, wzdłuż krawędzi pojawia się zaokrąglenie, a głębiej w materiale następuje stopniowe rozprężanie strumienia gazu, przez co szczelina się rozszerza. Linia cięcia jest także falista na swej długości. Na powierzchni cięcia pojawiają się charakterystyczne wżery, które są w przybliżeniu prostopadłe do krawędzi przy optymalnej prędkości cięcia, odchylają się w głębi materiału do tyłu przy zbyt szybkim cięciu, albo do przodu przy cięciu zbyt powolnym (rys. 9.1).

W celu określenia jakości powierzchni ciętej lub sprecyzowania wymagań wobec niej, stosuje się następujące wskaźniki (rys. 9.2):

- odchyłka prostopadłości i pochylenia „ U ”, czyli maksymalne odchylenie rzeczywistej krawędzi cięcia od teoretycznej, mierzone na grubości materiału
- średnia wysokość chropowatości R_z mierzona na pięciu odcinkach pomiarowych na długości linii cięcia,
- promień nadtopienia górnej krawędzi cięcia „ r ”,
- próg cięcia „ n ”, występujący wyraźnie przy nadmiernej prędkości cięcia,
- wżery na powierzchni cięcia.



Rys. 9.1. Wżery na powierzchni ciętego materiału; A – zbyt mała prędkość cięcia, B – prawidłowa prędkość cięcia, C – zbyt duża prędkość cięcia, K – kierunek cięcia



Rys. 9.2. Rzeczywista geometria krawędzi cięcia (przekrój poprzeczny do kierunku cięcia):
a – grubość materiału, U – odchyłka prostopadłości, r – promień zaokrąglenia krawędzi, Δa – obszar przy powierzchniach pomijany w ocenie.

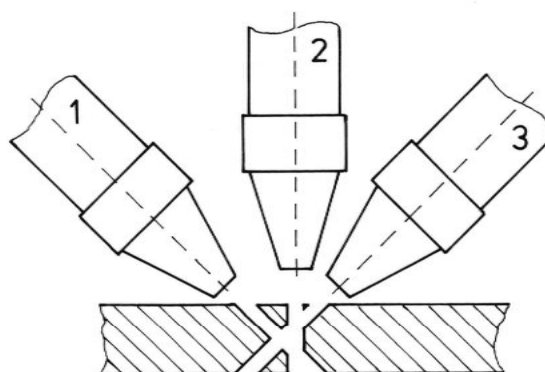
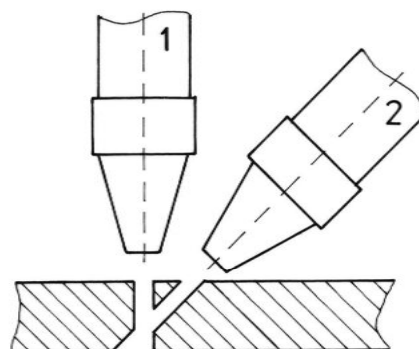
W normie PN-EN ISO 9013:2003 zostało pominięte zagadnienie falistości linii cięcia, czyli rozbieżności między teoretycznym, a praktycznym jej przebiegiem na długości cięcia, chociaż podano dwie klasy tolerancji wymiarów wycinanych elementów w odniesieniu do wymiarów nominalnych.

Z praktycznego punktu widzenia istotną rolę odgrywa także szerokość linii cięcia, gdyż w przypadku wycinania wielu elementów, np. z arkusza blachy, ich wzajemna odległość musi być co najmniej równa szerokości linii cięcia. Dla dużej liczby elementów o małych wymiarach może to być wielkość znacząca – przekraczająca istotnie 10% powierzchni materiału. Dlatego dąży się do stosowania technologii, w których szczelina cięcia jest jak najwęższa, a jakość obu krawędzi identyczna, co pozwala na zastosowanie wspólnej linii cięcia dla dwóch sąsiednich elementów na arkuszu.

Zwykle minimalna szerokość linii cięcia wynosi ok. 1,5 średnicy dyszy tlenu tnącego, jest znacznie większa przy cięciu plazmowym i mniejsza przy cięciu laserowym. Istnieją sposoby dalszego jej zmniejszenia, co zostanie omówione niżej.

Podczas cięcia pojawia się strefa wpływu ciepła (SWC), ale jej znaczenie jest mniejsze, niż podczas spawania, gdyż rozdzielanie materiału sprzyja uwolnieniu części naprężeń. Mimo tego przy cięciu precyzyjnym planuje się jego przebieg w taki sposób, aby naprężenia i odkształcenia skupiły się w tych częściach materiału, które stanowią odpady. Zmiany strukturalne w SWC mogą stanowić problem, gdyż w przypadku stali skłonnych do hartowania może nastąpić utwardzenie krawędzi cięcia, co utrudnia jej późniejszą obróbkę mechaniczną. Zmiany składu chemicznego materiału występują zwykle w jeszcze mniejszej objętości – na powierzchni cięcia, gdzie metal został nadtopiony. Mogą one obejmować częściowe wypalenie niektórych składników, oraz, w przypadku niektórych technologii cięcia, nasycenie innymi pierwiastkami – węglem z gazu palnego, azotem z gazu tnącego itd. Może to również prowadzić do utwardzenia materiału lub zmian jego właściwości korozyjnych. W SWC zdarzają się także mikropęknięcia, podobne do pęknięć hartowniczych, które mogą stać się ogniskami korozji oraz karbami, koncentrującymi naprężenia.

Ze względu na występowanie SWC oraz odchyłeń geometrycznych na krawędziach cięcia często zaleca się ich finalną obróbkę mechaniczną przez skrawanie lub szlifowanie. Operacje takie podnoszą koszt wykonania, ale nawet łączny koszt cięcia termicznego i wykańczającej obróbki mechanicznej jest niemal zawsze znacznie niższy od cięcia mechanicznego (które też nierzadko wymaga obróbki wykańczającej). W przypadku przygotowywania elementów do spawania zwykle nie przewiduje się obróbki mechanicznej po cięciu. Szczególnym przypadkiem jest ukosowanie do spawania. Gdy wymagane jest ukosowanie jednostronne, stosuje się często dwa palniki, gdy dwustronne – trzy (rys. 9.3). Przyjmuje się przy tym zasadę najmniejszej powierzchni pojedynczego cięcia, a więc najpierw dzieli materiał, a później odcina naroża (chyba, że dwustronne ukosowanie dotyczy dwóch elementów o wspólnej krawędzi cięcia). Połączenie cięcia i ukosowania ma przyczyny ekonomiczne – drugie cięcie odbywa się po podgrzaniu materiału przez pierwszy palnik tnący, a więc z mniejszym wydatkiem gazu palnego.



Rys. 9.3. Ukosowanie blach do spawania z użyciem dwu lub trzech głowic tnących;
1, 2, 3 – kolejność ustawienia głowic wzdłuż linii cięcia

9.2. ODMIANY CIĘCIA TERMICZNEGO

Cięcie termiczne ma wiele odmian, dzięki temu można wybrać optymalną metodę dla konkretnej aplikacji. Ogólna tendencja polega na zwiększaniu wydajności cięcia (prędkości i grubości rozdzielanego materiału) oraz dokładności (precyzji odwzorowania linii cięcia i geometrii krawędzi). Znaczącą rolę odgrywa aspekt ekonomiczny i tam, gdzie nie jest konieczna wysoka jakość, stosuje się metody najwydajniejsze, często nie najnowocześniejsze.

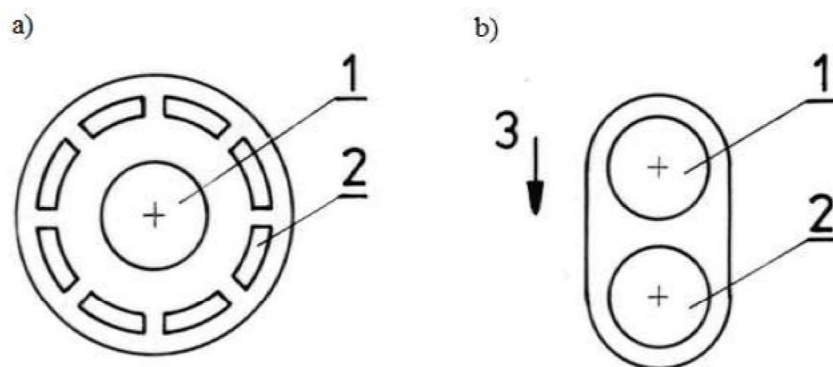
Metody cięcia termicznego można podzielić na dwie grupy:

1. Cięcie przez spalanie, które wymaga zastosowania w procesie strumienia czystego tlenu i jest ograniczone do metali, które spełniają określone warunki (patrz rozdz. 9.1). Ponieważ jednak obecnie ponad 80% konstrukcji metalowych wykonuje się ze stali, a spośród nich ok. 80% stanowią stale niestopowe, to zakres zastosowania cięcia tlenem obejmuje potencjalnie ponad połowę możliwych aplikacji. Wyróżnić tu można:
 - a) cięcie tlenem,
 - b) cięcie tlenowo – proszkowe,

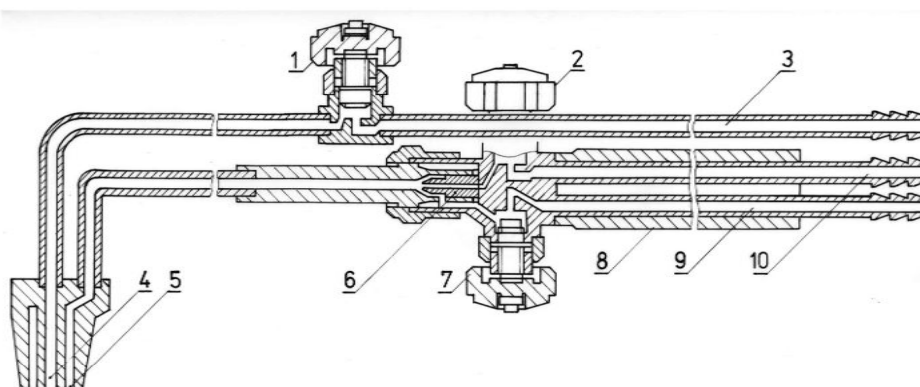
- c) cięcie lancą,
 - d) cięcie łukowe,
 - e) cięcie elementów grubościennych,
 - f) cięcie o podwyższonej wydajności.
2. Cięcie przez topienie, stosowane w przypadku metali, które nie spełniają wymagań umożliwiających cięcie tlenem. Wówczas zamiast spalania metalu w tlenie należy go podgrzać do temperatury topnienia lub odparować i usunąć stopiony metal oraz jego pary ze szczeliny cięcia. Konieczna jest do tego nadzwyczaj wysoka koncentracja ciepła, niemożliwa do osiągnięcia przy zastosowaniu klasycznych palników, spalających mieszanki gazowe. Do tej grupy zaliczyć można:
- a) cięcie plazmowe,
 - b) cięcie laserowe,
 - c) drążenie wiązką elektronów.

9.2.1. CIĘCIE TLENEM

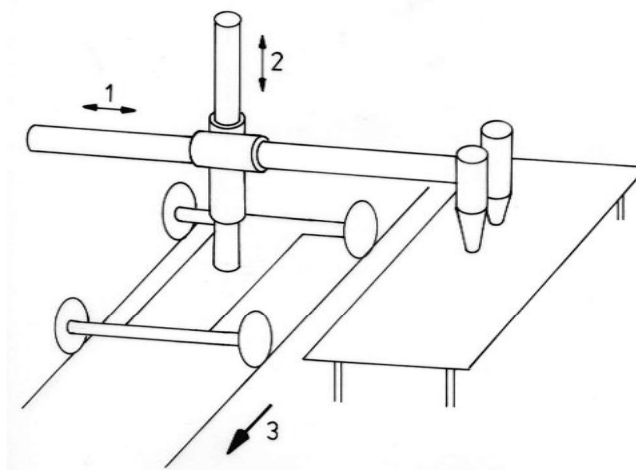
Do cięcia tlenem stosuje się zarówno palniki koncentryczne, jak i posobne (tandemowe) – rys. 9.4. Te pierwsze są stosowane zwykle do cięcia ręcznego oraz kształtowego, te drugie do cięcia zmechanizowanego, prostoliniowego. Jako gaz podgrzewający do cięcia ręcznego najczęściej stosuje się acetylen, do cięcia zmechanizowanego – propan. Korzystny wpływ na jakość cięcia ma optymalnie dobrana i niezmienna odległość wylotu dyszy palnika od powierzchni ciętego materiału. Dlatego palniki ręczne (rys. 9.5) często zaopatruje się w proste rolki prowadzące. Innym czynnikiem, korzystnie wpływającym na jakość cięcia, jest utrzymywanie stałej, optymalnej prędkości palnika. Dlatego zastosowanie cięcia zmechanizowanego (rys. 9.6), w którym można precyzyjnie ustalić zarówno odległość dyszy od materiału, jak i prędkość posuwu, prowadzi do znacznego wzrostu jakości krawędzi ciętej, np. dokładność odwzorowania, w porównaniu z cięciem ręcznym, zwiększa się nawet ponad dziesięciokrotnie. Dalszy wzrost jakości uzyskuje się po zastosowaniu precyzyjnych układów sterowania głowicą w dwóch, a nawet trzech osiach. Do sterowania dwuosiowego były stosowane początkowo układy nadążne z metalowymi wzorcami i rolkami magnetycznymi (rys. 9.7), później układy optyczne, śledzące kontrastowe linie specjalnych rysunków. Obecnie powszechnie stosuje się metody programowania cyfrowego, umożliwiające także zmianę prędkości ruchu palnika podczas cięcia. Zastosowanie termicznych i optycznych czujników umożliwia kontrolę procesu cięcia w czasie rzeczywistym. Tak wyposażone stanowiska do cięcia tlenem umożliwiają uzyskiwanie jakości i dokładności wykonania porównywalnej z cięciem plazmowym.



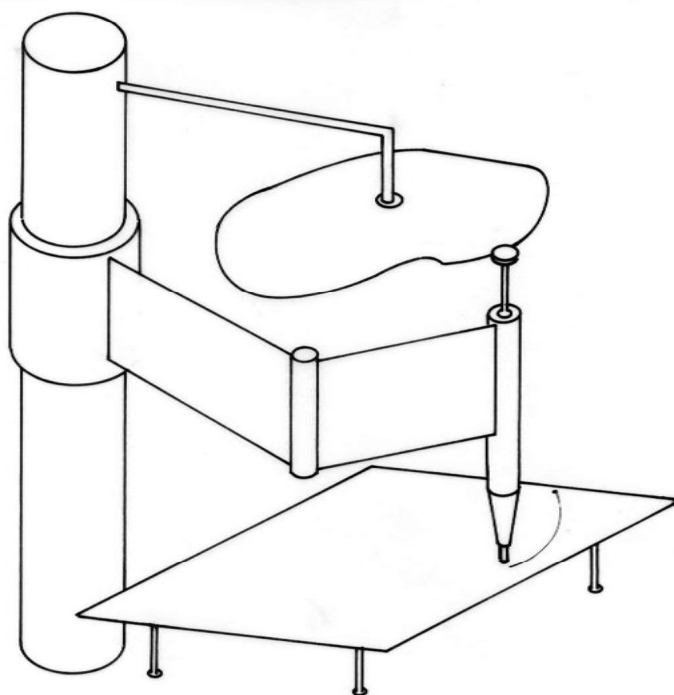
Rys. 9.4. Widok od czola na głowice Wissa (a) i Jottranda (b); 1 – dysza tlenu tnącego, 2 – dysza mieszanki podgrzewającej, 3 – kierunek cięcia palnikiem z głowicą b



Rys. 9.5. Ręczny palnik do cięcia płomieniowego; 1 – zawór tlenu tnącego, 2 – zawór tlenu mieszanki podgrzewającej (widok), 3 – doprowadzenie tlenu tnącego, 4 – dysza tlenu tnącego, 5 – dysza mieszanki podgrzewającej, 6 – inżektor, 7 – zawór acetyleny, 8 – rękojeść, 9 – doprowadzenie acetyleny, 10 – doprowadzenie tlenu mieszanki podgrzewającej



Rys. 9.6. Zmechanizowana głowica do cięcia płomieniowego z palnikiem posobnym; 1,2 – ruchy dostawcze, 3 – kierunek cięcia



Rys. 9.7. Palnik do cięcia z kopiałem rolkowym (rolką magnetyczną)

9.2.2. CIĘCIE TLENOWO-PROSZKOWE

Pierwszym sposobem na zwiększenie wydajności cięcia stali o większej zawartości składników stopowych stało się zastosowanie dodatkowo proszku czystego żelaza, wdmuchiwanego przez specjalną dyszę do strefy cięcia. Metodę zastosowano po raz pierwszy w USA w 1944 r. Żelazo spalające się w tlenie wytwarza dodatkowe ciepło oraz zwiększa nieco rzadkość żuźla. Zamiast proszku do strefy cięcia może być także podawany cienki drut żelazny.

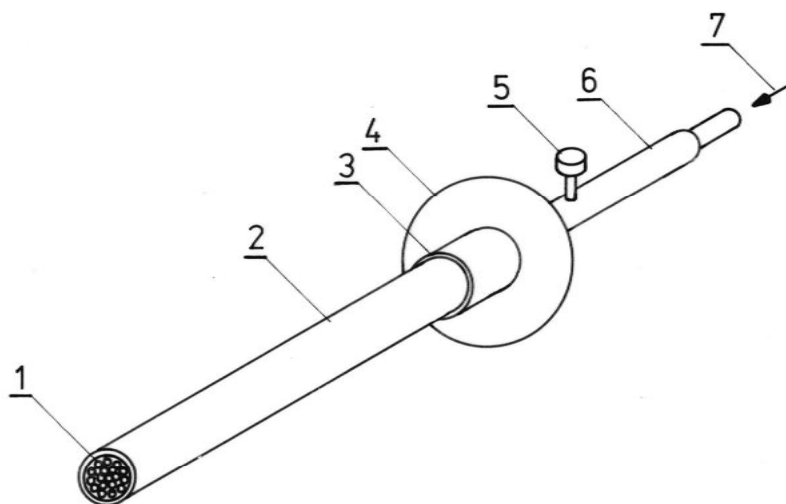
Odmianą cięcia tlenowo-proszkowego jest cięcie z zastosowaniem sproszkowanych topników. Zwykle są one mieszane z proszkiem żelaznym, a ich zadaniem jest wiązanie składników stopowych ciętej stali (głównie chromu) w związki o niższej temperaturze topnienia niż proste tlenki.

Dzięki zastosowaniu proszku żelaznego można zwiększyć wydajność cięcia oraz ciąć stale o nieco większej zawartości składników stopowych. Zastosowanie topników pozwala jeszcze bardziej przesunąć granicę dopuszczalnej zawartości niektórych pierwiastków w stali przeznaczonej do cięcia.

9.2.3. CIĘCIE LANCĄ

W sytuacjach, gdy nie jest wymagana duża dokładność cięcia elementów wielkowymiarowych i grubościennych można stosować lance tlenowe, których koncepcja została opatentowana w USA w 1922 r. Lanca, to cienkościenna rurka ze stali niskowęglowej, zwykle o średnicy od 15 do 30 mm i długości ok. 3 m,

mocowana w uchwycie z tarczą ochronną. Wewnątrz rurki znajdują się pręty żelazne o średnicy 3-4 mm, zajmujące najczęściej ok. 60% jej przekroju (rys. 9.8). Aby rozpocząć cięcie, koniec lancy nagrzewa się za pomocą palnika acetylenowo-tlenowego do temperatury białego żaru, a następnie od strony uchwytu przepuszcza strumień tlenu pod ciśnieniem 0,6-1,4 MPa. Następuje wtedy zapłon rozgrzanego żelaza w tlenie, palnik podgrzewający zostaje wyłączony i proces spalania odbywa się wyłącznie za sprawą silnej reakcji egzotermicznej. Lancą można ciąć nie tylko metale z żeliwem włącznie, ale i materiały niemetalowe, np. skały. Ogromnie efektywne jest użycie lanc do cięcia zbrojonego betonu, np. po katastrofach budowlanych.



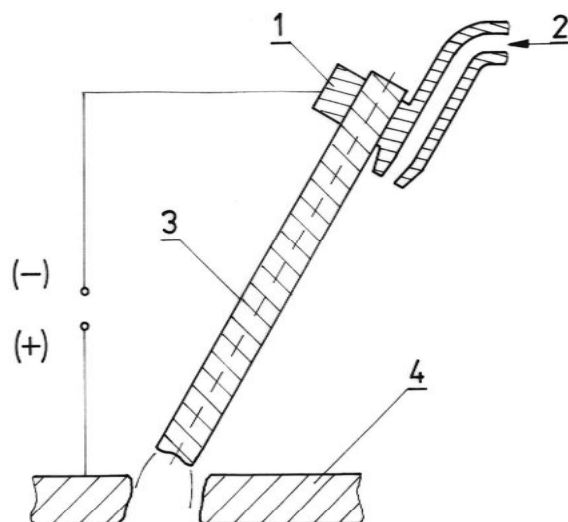
Rys. 9.8. Lancia tlenowa; 1 – pręty żelazne, 2 – rurka stalowa, 3 – zacisk do mocowania rurki, 4 – tarcza ochronna, 5 – zawór tlenu, 6 – rękojeść, 7 – tlen z butli

Dla zwiększenia wydajności stosuje się czasem lance wypełnione prętami tytanowymi. Odmianą lancy tlenowej jest rurka stalowa, do której jest podawany strumień proszku żelaznego i tlenu. Stapianie lancy jest wtedy wolniejsze. Czasami stosuje się w takim procesie mieszaninę proszku żelaznego i aluminium.

9.2.4. CIĘCIE ŁUKOWE

Łuk elektryczny wytwarza znaczne ilości ciepła i pozwala na utrzymanie temperatury przekraczającej 6000 °C, czyli dwukrotnie większej niż płomień acetylenowo-tlenowy. Ciśnienie łuku może także przyczyniać się do usuwania stopionego materiału ze szczeliny cięcia. W praktyce jest jednak konieczne dodatkowe oddziaływanie medium gazowego na stopiony metal i żużel.

Najprostszym sposobem wykorzystania ciepła łuku do cięcia jest zastosowanie specjalnych elektrod otulonych, w których otulinie znajduje się dużo składników gazotwórczych. Jest to metoda ręczna, niedokładna, mało wydajna i tworząca bardzo szeroką szczelinę cięcia.



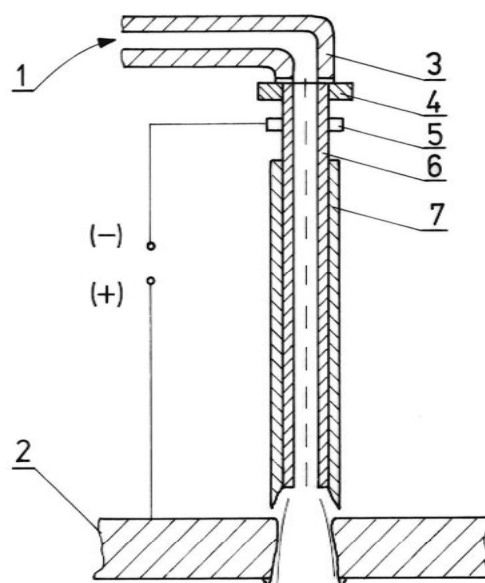
Rys. 9.9. Przebieg cięcia łukowo-powietrznego; 1 – uchwyt elektrody, 2 – doprowadzenie sprężonego powietrza, 3 – elektroda grafitowa, 4 – cięty materiał

Lepsze wyniki daje zastosowanie litej elektrody grafitowej o średnicy od 3 do 20 mm, umieszczonej w specjalnym uchwycie do którego jest doprowadzone powietrze pod ciśnieniem 0,5-0,7 MPa. Dysza znajduje się w uchwycie pod elektrodą (rys. 9.9). Dla zwiększenia trwałości elektrod pokrywa się je często cienką warstwą miedzi. Taka metoda jest nazywana cięciem łukowo-powietrznym.

Jeszcze lepsze wyniki daje zastosowanie elektrod rurkowych, przez które przepuszcza się tlen (cięcie łukowo-tlenowe, zastosowane po raz pierwszy przez Colemana w 1900 r.). Początkowo były to rurki grafitowe, ale z racji ich wielkiej łamliwości zastąpiono je rurkowymi, stalowymi elektrodami otulonymi (rys. 9.10). Zwykle stosuje się otulinę rutyłową (patrz rozdz. 2. Spawanie elektrodami otulonymi). Średnica elektrod wynosi od 5 do 8 mm, a najmniejsza średnica kanału tlenowego – 1,6 mm. Stosuje się je do cięcia stali o grubości nie przekraczającej 75 mm i metali kolorowych – do 15 mm.

Rzadko stosowaną w praktyce technologią jest cięcie metodą GTA (inaczej TIG, patrz rozdz. 3. Spawanie w osłonach gazowych). W porównaniu ze spawaniem stosuje się większe natężenia przepływu gazu ochronnego i dysze o zmodyfikowanej geometrii.

Procesy łukowe z użyciem elektrody grafitowej są często stosowane do żłobienia, czyli wykonywania w materiale rowków o głębokości od kilku do kilkudziesięciu mm. Jest to często praktykowane w celu usuwania wad powierzchniowych odlewów oraz niezgodności spawalniczych (brak przetopu grani, podtopienie lica itd.). W takim przypadku elektrody są ustawiane nad materiałem nie pionowo, jak do cięcia, a pod kątem ok. 35°.



Rys. 9.10. Przebieg cięcia łukowo-tlenowego; 1 – tlen tnący, 2 – cięty materiał, 3 – uchwyt, 4 – zacisk mocujący z uszczelką, 5 – styk prądowy, 6 – rdzeń elektrody (rurka stalowa), 7 – otulina

9.2.5. CIĘCIE ELEMENTÓW GRUBOŚCIENNYCH

Możliwość cięcia elementów grubościennych (dla stali – ponad 300 mm) to szczególnie atut cięcia termicznego i jedyna praktyczna możliwość cięcia elementów o grubości ponad 500 mm. Na dodatek wydajność cięcia niewiele ustępuje wielkościom osiąganym dla materiałów o mniejszej grubości, a relacja między szerokością szczeliny i grubością ciętego materiału jest tym bardziej korzystna, im jest on grubszy.

Cięcie elementów grubościennych wymaga specjalnego podejścia, np. ze wzrostem grubości stali obniża się ciśnienie tlenu (tab. 9.4). Pod przedmiotem musi być wolna przestrzeń dla nieograniczonego wyrzutu żużla równa co najmniej 60% grubości cięcia. Przy cięciu stali o grubości ponad 1000 mm stosuje się drugą dyszę gazu podgrzewającego, przemieszczającą się za dyszą tnącą, przy grubości materiału ponad 2000 mm przechodzi przez nią nawet 65% gazu palnego. Za względu na wielkie ilości wydzielanego ciepła konieczna jest lepsza ochrona elementów konstrukcji palnika, znacząco zwiększa się np. z tego powodu odległość między dyszą tnącą a materiałem.

Tab. 9.4. Przykładowe parametry cięcia elementów grubościennych ze stali niestopowych

Grubość	mm	300	2500
Ciśnienie tlenu	MPa	0,3	0,09
Wydatek tlenu	m ³ /h	30	500
Wydatek propanu	m ³ /h	3	80
Prędkość cięcia	m/h	9	0,9
Odległość dyszy	mm	30	100

9.2.6. CIĘCIE O PODWYŻSZONEJ WYDAJNOŚCI

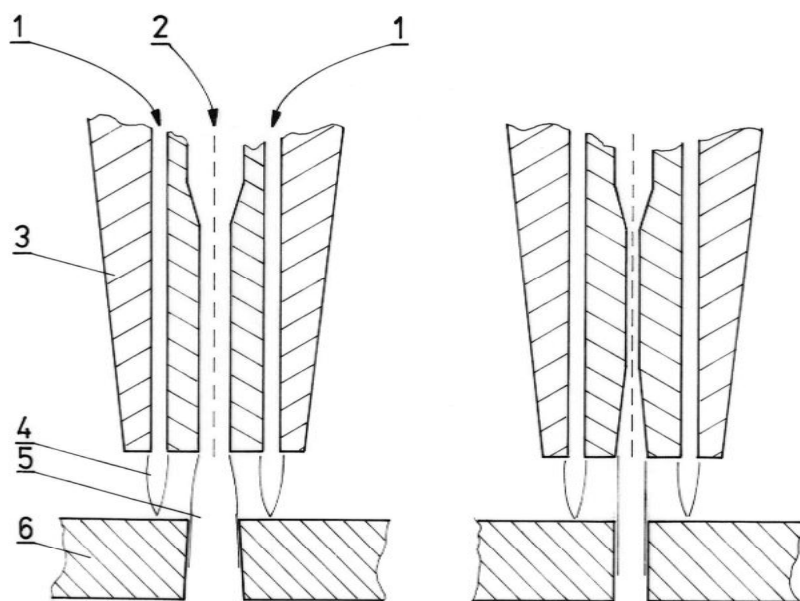
Zwiększenie wydajności cięcia służy przede wszystkim poprawie wskaźników ekonomicznych, często pod tym pojęciem rozumie się łączne nakłady na przygotowanie elementu, a więc cięcie o podwyższonej dokładności, dzięki któremu nie ma konieczności końcowej obróbki mechanicznej krawędzi, również znacząco zwiększa wydajność procesu.

Oczywistymi sposobami podwyższenia wydajności jest zwiększanie koncentracji ciepła na materiale ciętym, ale znaczące wyniki w tym obszarze zapewniło dopiero stosowanie metod cięcia przez topienie. W przypadku cięcia przez spalanie można zwiększyć wydajność zmniejszając szerokość szczeliny cięcia. Uzyskuje się to stosując tzw. dysze stożkowe o specjalnej geometrii (rys. 9.11) oraz zwiększając ciśnienie tlenu ponad 0,7 MPa. Przykładowo cięcie tym sposobem płyty stalowej o grubości 100 mm tlenem pod ciśnieniem 4,2 MPa zapewnia prędkość ponad 15 m/h i szerokość szczeliny cięcia 2,1 mm.

Spore efekty daje zastosowanie dysz z wymuszonym zawirowaniem tlenu tnącego. Otóż stwierdzono, że w procesie spalania metalu uczestniczy tylko wierzchnia warstwa strumienia tlenu i znaczna część tego gazu przechodzi na drugą stronę materiału w stanie niezmienionym. Po zawirowaniu wykorzystanie tlenu rośnie nawet o 50%. Także zastąpienie pojedynczej dyszy tnącej dwiema, z których druga jest przesunięta o ok. 10 mm do tyłu i ok. 1 mm w bok, zwiększa wydajność cięcia przy niezmienionym wydatku tlenu i minimalnie szerszej szczelinie cięcia.

W przypadku cięcia blach cienkich celowe jest zastosowanie palników posobnych, w których dysza tlenowa znajduje się bliżej materiału, niż dysza mieszanki podgrzewającej. Maleje przez to nieco przegrzanie materiału i skłonność do rozlewania się żuźla po jego spodniej powierzchni. W układach trzydyszowych jest stosowana druga dysza tlenowa, która służy do oczyszczania powierzchni szczeliny cięcia.

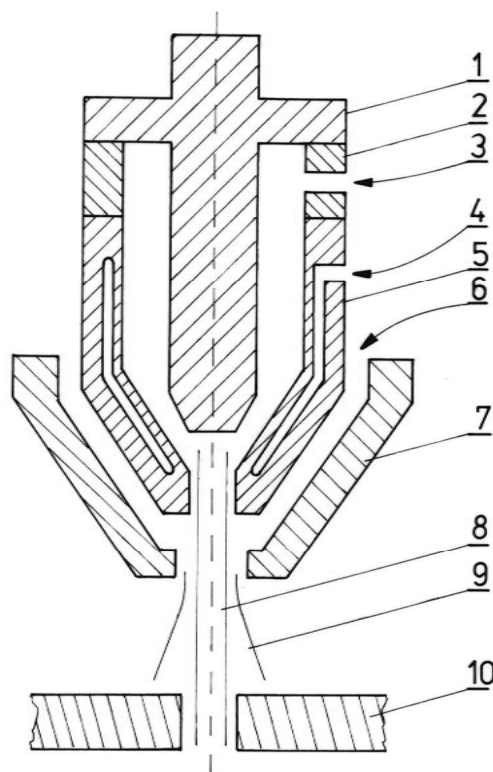
Doskonałe efekty zapewnia pakietowanie blach cienkich, dzięki czemu równocześnie wycina się kilka identycznych elementów. Łączna grubość pakietów nie przekracza zwykle 60 mm, a grubość pojedynczych blach – 12 mm. Zaletą takiego rozwiązania jest tworzenie zaokrąglonej krawędzi cięcia tylko na najwyższej blasze. Aby i tego uniknąć stosuje się technologię „cięcia pakietowego z blachą złomową”. Górna blacha jest w niej przeznaczona na złom i bywa, że jest to rzeczywiście materiał wcześniej wybrakowany. Zastosowanie takiej wierzchniej blachy ze stali niskowęglowej umożliwia także cięcie pakietu blach stopowych, wierzchnia blacha działa wtedy jak proszek czy drut żelazny stosowane w opisanych wyżej metodach.



Rys. 9.11. Schemat głowicy do cięcia z dyszą klasyczną (z lewej) i stożkową (z prawej);
1 – mieszanka palna, 2 – tlen tnący, 3 – korpus dyszy, 4 – płomień podgrzewający,
5 – strumień tlenu tnącego, 6 – materiał cięty

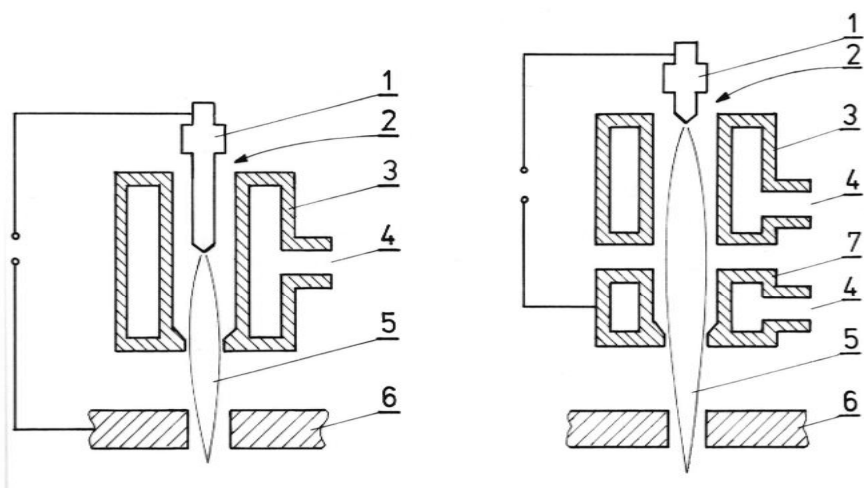
9.2.7. CIĘCIE PLAZMOWE

W przypadku cięcia plazmowego źródłem ciepła oddziaływującego na materiał jest kontrolowany strumień plazmy. Plazma, to częściowo lub całkowicie zjonizowany gaz. Stan ten bywa osiągany w wysokiej temperaturze, wynoszącej w przypadku częściowej jonizacji kilkanaście do kilkudziesięciu tysięcy °C. Taką temperaturę osiąga się oddziałując na gaz ciepłem łuku elektrycznego, a jednocześnie gwałtownie sprężając go np. w dyszy o odpowiedniej geometrii. Plazma dla potrzeb cięcia jest generowana w specjalnych głowicach (rys. 9.12), które konstrukcyjnie bardzo przypominają głowice do spawania metodą GTA (patrz rozdz. 3). Zasadnicza różnica, to konstrukcja dyszy gazowej, która dla potrzeb tworzenia plazmy musi powodować gwałtowny wzrost ciśnienia przepływającego gazu. Dysza bardzo silnie się nagrzewa, toteż wykonuje się ją z miedzi jako konstrukcję masywną, chłodzoną przez wbudowany obieg wodny. Klasyczne elektrody (dla gazów obojętnych) są wykonywane najczęściej z wolframu z dodatkiem toru lub lantanu i mają trwałość do 20 h pracy. Ich średnica wynosi 2-5 mm, a średnica otworu dyszy od 1,2 do 7 mm. Cięcie prowadzi się prądem stałym o normalnej polaryzacji (minus na elektrodzie, dzięki czemu wydziela się na niej tylko 30% ciepła łuku). Napięcie łuku wynosi 50–200 V, natężenie 1000 A i więcej. Przepływ gazu plazmotwórczego może być znaczący i wynosić nawet ponad 100 dm³/min. Podczas cięcia, w celu optymalizacji przebiegu procesu, zmieniają się trzy parametry: natężenie prądu, prędkość ruchu głowicy oraz odległość wylotu dyszy od materiału.



Rys. 9.12. Schemat głowicy do cięcia plazmą z dodatkową osłoną gazową; 1 – katoda, 2 – pierścień izolujący, 3 – gaz plazmotwórczy, 4 – medium chłodzące, 5 – metalowa dysza plazmowa, 6 – gaz ochronny, 7 – ceramiczna dysza gazu ochronnego, 8 – strumień plazmy, 9 – gaz ochronny, 10 – materiał cięty

Istnieją dwie podstawowe odmiany cięcia plazmowego: łukiem zależnym, który jarzy się między elektrodą, a ciętym materiałem oraz łukiem niezależnym, nazywanym też wewnętrznym, jarzącym się między elektrodą, a dyszą (rys. 9.13). Pierwsza z odmian jest znacznie popularniejsza, gdyż zapewnia dodatkowe podgrzewanie materiału ciętego ciepłem łuku. Ciąć można w ten sposób tylko materiały przewodzące prąd. Łuk niezależny jest stosowany do cięcia materiałów nieprzewodzących, a czasem także do precyzyjnego cięcia materiałów metalicznych o małej grubości. Wadą tej metody jest przyspieszone zużycie dysz. Łuk wewnętrzny jest też często stosowany podczas rozpoczynania procesu cięcia łukiem zależnym i służy do wstępnej jonizacji gazu plazmotwórczego. Do jego krótkotrwałego zajarzenia służą specjalne bloki zasilacza, nazywane jonizatorami.



Rys. 9.13. Schemat głowicy z łukiem zależnym (z lewej) i niezależnym (z prawej); 1 – katoda, 2 – gaz plazmotwórczy, 3 – dysza, 4 – medium chłodzące, 5 – strumień plazmy, 6 – cięty materiał, 7 – anoda

Wyższa temperatura procesu cięcia, niż w przypadku cięcia płomieniowego i łukowego, umożliwia topienie i odparowanie praktycznie wszystkich metali technicznych, a strumień gazu o wysokim ciśnieniu i dużej prędkości przepływu ułatwia usuwanie stopionego metalu ze szczeliny cięcia. Także koncentracja ciepła jest wysoka, wynosi od 10^7 do 10^8 W/cm² dla łuku wewnętrznego i 10^8 – 10^9 W/cm² dla łuku zewnętrznego.

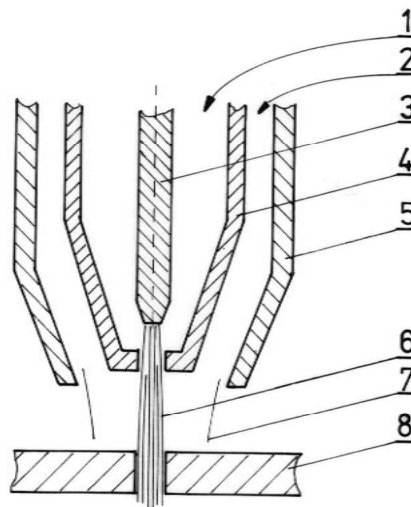
W porównaniu z cięciem tlenowym, cięcie plazmowe powoduje powstanie szerszej szczeliny, natomiast SWC jest zwykle węższa. Dodatkowy problem stwarza hałas przekraczający 110 dB, powodowany przez osiągnięty prędkości naddźwiękową strumień gazu. Oznacza to konieczność otaczania stanowisk do cięcia plazmowego ekranami akustycznymi. Korzystne jest zastosowanie głowic z dodatkową zewnętrzną koncentryczną dyszą, doprowadzającą strumień wody, pełniący funkcję kurtyny (rys. 9.14). Zawęża ona strumień gazu ochronnego, chłodzi materiał rodzimy i obniża poziom hałasu do 95 dB. Znaczne obniżenie poziomu hałasu, do mniej niż 75 dB, można uzyskać prowadząc cięcie plazmowe pod wodą, w specjalnie skonstruowanych basenach. Rozwiązuje to także inny problem, a mianowicie intensywnego pylenia, towarzyszącego cięciu plazmowemu. Pyły – to ziarenka stopionego i powtórnie zestalonego metalu, często częściowo lub całkowicie utlenione. W przypadku cięcia pod wodą są one zatrzymywane i tworzą zawiesinę, a następnie osad, który musi być systematycznie usuwany ze zbiornika. Zastosowanie kurtyny wodnej lub cięcia pod wodą radykalnie rozwiązuje problem intensywnej emisji promieniowania ultrafioletowego, które może być groźne dla pracowników obsługi.

Gazy plazmotwórcze to: argon, azot, wodór i, coraz częściej, powietrze. Powietrze jest najtańszym z nich, a zawarty w nim tlen częściowo spala podgrzany metal, zwiększając wydajność procesu. Powietrze powoduje jednak przyspieszone zużycie elektrod i dysz. Argon stosuje się do cięcia stali stopowych, stopów aluminium

i miedzi, azot – do cięcia cienkich blach, powietrze – do stali niestopowych, dodatek tlenu korzystnie wpływa na jakość krawędzi cięcia.

W przypadku zastosowania gazów aktywnych konieczne jest zastąpienie katod wolframowych z dodatkiem toru i lantanu elektrodami cyrkonowymi lub hafnowymi. Ich trwałość pozostaje jednak niewielka, rzędu 5 h pracy.

Zwiększenie efektywności cięcia plazmowego osiągnięto dzięki zastosowaniu w latach 90-tych ubiegłego wieku mieszanek bogatych w tlen i skonstruowaniu dysz, zapewniających stworzenie zawirowanego strumienia gazu, podobnie jak przy cięciu płomieniowym. Do zawirowania strumienia służy dysza o specjalnej konstrukcji (metoda hydefinition) lub pole magnetyczne (fineplasma).



Rys. 9.14. Schemat głowicy do cięcia plazmowego z kurtyną wodną. 1- gaz plazmotwórczy, 2 – woda, 3 – katoda, 4 -metalowa dysza gazowa, 5 – ceramiczna dysza wodna, 6 – strumień plazmy, 7 – pierścieniowy strumień wody, 8 – cięty materiał

9.2.8. CIĘCIE LASEROWE

Lasery (rys. 9.15) służą do generowania koherentnej wiązki światła, dzięki wzbudzeniu określonego medium (ciała stałego, gazu) za pomocą doprowadzonej z zewnątrz energii. Najistotniejszą cechą lasera jest możliwość koncentrowania energii na bardzo niewielkiej powierzchni, nawet do gęstości 10^{10} W/cm^2 . Największą wadą jest natomiast nadzwyczaj niekorzystna relacja między mocą, niezbędną do zasilania urządzenia, a mocą generowaną – początkowo nie przekraczała ona 1 procenta!

W zależności od przeznaczenia w technice stosuje się różnorodne lasery, ich konstrukcja i specyfika są następujące:

1. Lasery rubinowe – ośrodek czynny, to rubin. Wzbudzony, generuje wiązkę o długości fali $0,6943 \mu\text{m}$. Lasery te mają małą sprawność i niewielką moc.
2. Lasery neodymowe Nd:YAG – ośrodkiem czynnym jest granat itrowo-aluminiowy z domieszką neodymu. Emituje promieniowanie w zakresie bliskiej podczerwieni. Granat ma niski próg wzbudzenia, co ułatwia ciągłą

emisję promieniowania. Lasery tego typu mają sprawność do 2%. Dopiero domieszkowanie granatu holmem powoduje wzrost sprawności do 5%.

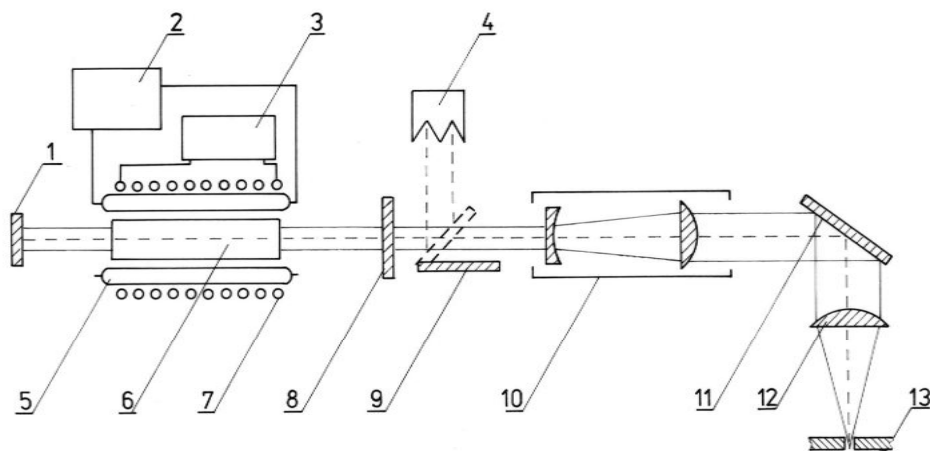
3. Lasery neodymowe Nd-glass, w których ośrodkiem czynnym są pręty ze szkła optycznego z domieszką Nd_2O_3 . Emitują wiązkę o takiej samej długości jak Nd-YAG. Ośrodek czynny jest tańszy i łatwiej wykonywać z niego elementy o dużych wymiarach. Zasadnicza wada, to małe przewodnictwo cieplne pręta i konieczność jego intensywnego chłodzenia.
4. Lasery diodowe – HDPL wykorzystują zjawisko emisji promieniowania przez diody świecące, głównie z GaAs domieszkowanego Al, In lub P, emitujące fale długości 900-990 nm. Dioda emituje światło o mocy kilku mW - łączy się je w pręty, a te w pakiety. Moc laserów HDPL nie przekracza 4 kW, ale ich sprawność jest rekordowo wysoka – do 50%. Lasery tego typu umożliwiają obecnie tworzenie ognisk o gęstości mocy mniejszej niż 10^5 W/cm^2 i praktycznie nie nadają się do cięcia termicznego.
5. Lasery pompowane diodowo – lasery Nd:YAG pompowane laserami diodowymi. Daje to wzrost sprawności energetycznej nawet o 35%. Wszystkie wyżej wymienione typy laserów mogą używać światłowodów (nawet o długości 100 m) do przekazywania wiązki od generatora do głowicy.
6. Lasery CO_2 (molekularne) wykorzystują jako ośrodek czynny mieszanek $\text{CO}_2 + \text{N}_2 + \text{He}$ w proporcjach 3:3:20, pod ciśnieniem kilku do kilkudziesięciu kPa (lasery małej mocy) lub do 5 MPa (lasery dużej mocy), przepływającą przez rurę wyladowczą. Emitowane promieniowanie mieści się w zakresie średniej podczerwieni z dominującą linią fali $10 \mu\text{m}$. Sprawność energetyczna dochodzi do 14%. Produkowane są lasery:
 - z podłużnym przepływem medium – gaz jest chłodzony na zewnątrz rury wyladowczej, co pozwala na osiąganie mocy do 7 kW,
 - z przepływem poprzecznym o dużym natężeniu. Gdy ciśnienie wynosi kilka MPa, a elektrody są zabezpieczone przed wyladowaniem łukowym, osiągalna jest moc do 45 kW,
 - bezprzepływowe – SLAB. Wyladowanie zachodzi w szczelinie między dwiema płaskimi elektrodami, ośrodek jest wzbudzany przez generator wysokiej częstotliwości. Osiągają moc do 5 kW, ale wyróżniają się małymi wymiarami i minimalnym zużyciem medium czynnego – jedna butla wystarcza na rok pracy.
7. Lasery ekscymerowe, działają i są skonstruowane podobnie do laserów CO_2 , lecz ośrodkiem aktywnym jest mieszanina gazów $\text{CO}_2 + \text{N}_2 + \text{He} + \text{O}_2 + \text{CO} + \text{Xe}$.

Istnieją trzy typy konstrukcji układu optycznego: nieruchoma głowica sprzężona mechanicznie z laserem i ruchomy stół z przedmiotem obrabianym, głowica z laserem umieszczona na ruchomym ramieniu i nieruchomy stół oraz nieruchomy laser i stół, a ruchoma głowica (tzw. latająca optyka). Ostatnie z tych rozwiązań jest stosowane najczęściej.

W przypadku cięcia laserowego znajdują zastosowanie trzy mechanizmy cięcia. Przy największej koncentracji energii proces odbywa się przez odparowanie materiału,

przy mniejszej gęstości następuje cięcie przez topienie i wydmuchiwanie stopionego metalu strumieniem gazu. Do metali spełniających warunki cięcia termicznego tlenem (głównie stale niskostopowe) stosuje się cięcie przez wypalanie, w którym metal wzdłuż linii cięcia jest spalany w strumieniu czystego tlenu. Dodatkowym medium w pierwszej metodzie jest gaz obojętny (argon, azot), w drugiej azot lub powietrze, w trzeciej tlen o dużej czystości.

Cięcie przez odparowanie jest stosunkowo mało wydajne, cięcie przez topienie zapewnia większą wydajność, ale jest mniej dokładne. Największe prędkości cięcia, bo nawet trzykrotnie większe, niż przy cięciu przez topienie, osiąga się przy cięciu przez wypalanie, ale linia cięcia jest szersza i występuje ryzyko utlenienia krawędzi ciętego materiału. Do wykonywania otworów stosuje się najczęściej lasery z generatorem stałym (rubinowe), a ostatnio lasery ekscymerowe.



Rys. 9.15. Schemat przecinarki laserowej; 1 – zwierciadło tylne, 2 – zasilacz, 3 – pompa medium chłodzącego 4 – układ tłumienia wiązki, 5 – lampa pompująca, 6 – pręt laserowy, 7 – układ chłodzenia, 8 – zwierciadło przednie (półprzepuszczalne), 9 – zwierciadło ruchome, 10 – teleskop (poszerza wiązkę), 11 – zwierciadło, 12 – soczewka ogniskująca, 13 – materiał cięty

Przebieg cięcia laserowego determinuje szereg czynników, związanych z konstrukcją urządzenia, parametrami lasera, wybranymi parametrami procesu, rodzajem materiału ciętego, geometrią i rozmieszczeniem przestrzennym wycinanych elementów.

Pierwszym czynnikiem jest moc urządzeń. Wraz ze wzrostem mocy zwiększa się maksymalna możliwa grubość ciętego materiału i maksymalna prędkość cięcia. Najbardziej masowo produkowane lasery do cięcia mają moc nie przekraczającą 5 kW. Wraz ze wzrostem mocy narastają trudności z uzyskaniem wiązki wysokiej jakości, rośnie także koszt urządzenia.

Drugim czynnikiem jest rozkład energii w wiązce, wynikający z jej drgań poprzecznych. Rozkład energii wiązki na jej przekroju poprzecznym określa się skrótem TEM (Transverse Electromagnetic Mode – poprzeczna fala elektromagnetyczna). Największe skupienie wiązki i najmniejszą rozbieżność zapewnia rozkład jednomodowy, podstawowy - TEM_{00} . Charakteryzuje ją gaussowski rozkład natężenia promieniowania i amplitudy pola elektrycznego. Wymuszanie pracy

lasera w modzie podstawowym wiąże się jednak ze znacznym zmniejszeniem energii promieniowania, od 2 razy w laserach CO₂ do 5-6 razy w laserach ciała stałego, w porównaniu z wiązką wielomodową. Zastosowanie wiązki wielomodowej wiąże się z mniejszymi stratami energii, ale możliwość jej ogniskowania jest bardziej ograniczona, lasery generujące takie wiązki lepiej nadają się do spawania, niż do cięcia.

Średnica ogniska jest kolejnym czynnikiem, wpływającym na proces cięcia. Dla zapewnienia możliwości znacznego skupienia wiązki przez soczewki pożądane jest tworzenie wiązki pierwotnej o maksymalnie dużej średnicy, co zapewnia zastosowanie w układzie optycznym tzw. teleskopu. Potem średnica wiązki zależy tylko od ogniskowej soczewki lub zwierciadła. Im jest ona mniejsza, tym silniejsze skupienie. Dlatego do wiercenia zaleca się krótkie ogniskowe, pozwalające na stworzenie plamki o średnicy od 0,0025 do 1,5 mm, co zapewnia moc powyżej 10⁹ W/cm². Do cięcia wystarczy wiązka o średnicy ogniska od 0,5 do 1,5 mm, zapewniająca moc 10⁶-10⁷ W/cm². Dla laserów CO₂ zaleca się ogniskową 125 mm i ognisko o średnicy 0,25 mm (głębokość ogniska – 0,5 mm).

O jakości cięcia decyduje także położenie ogniska wiązki. Położenie ogniska jest określane względem górnej powierzchni materiału. Gdy ognisko znajduje się dokładnie na jego powierzchni, przyjmuje się, że $f = 0$, gdy jest poniżej, to $f < 0$, gdy znajduje się ponad materiałem – $f > 0$.

Kolejnym czynnikiem jest dobór gazu towarzyszącego i sposobu jego doprowadzenia. Używa się w tym celu: azotu, argonu, tlenu i sprężonego powietrza. Zastosowanie powietrza może być uzasadnione tylko jego niską ceną, gdyż jakość powierzchni ciętych jest wtedy najgorsza. Tlen zapewnia wysoką wydajność procesu w przypadku cięcia metali spalających się w tlenie z wydzielaniem ciepła. Jakość powierzchni ciętych jest wtedy wysoka (przede wszystkim niewielka chropowatość). Zastosowanie azotu jest szczególnie uzasadnione do cięcia stali wysokostopowych, aluminium i innych metali nieżelaznych, ogranicza jednak prędkość cięcia oraz wymusza bardzo precyzyjną regulację parametrów cięcia. Powierzchnie cięte z zastosowaniem azotu są również utwardzone. Argon, zalecany do cięcia niobu, tantalu, molibdenu i wanadu, wymaga zastosowania wiązki większej mocy ze względu na straty energetyczne powodowane jego niskim potencjałem jonizacji.

Ciśnienie gazu towarzyszącego waha się w bardzo szerokich granicach – od kilku do 800 kPa. Co ciekawe, przy cięciu cienkich blach tlenem jego ciśnienie musi być znacznie większe, niż w przypadku przecinania znacznie grubszych blach o analogicznym składzie.

Pożądana jest minimalizacja szerokości szczeliny, powstającej podczas cięcia. W zależności od grubości materiału wynosi ona od 0,1-1,0 mm. Zmniejszeniu jej szerokości sprzyja zastosowanie dysz gazowych małej średnicy i precyzyjne regulowanie odległości dyszy od ciętego materiału, która powinna być zbliżona do średnicy dyszy gazowej - czyli wynosić 0,5-2,0 mm. Ważne jest, aby dysza była dokładnie współosiowa z wiązką lasera i zapewniała laminarny wpływ gazu. Dopuszczalny błąd współosiowości wynosi $\pm 0,05$ mm.

Prędkość cięcia zależy nie tylko od mocy lasera i możliwości układu napędowego głowicy, musi być ona ściśle dobrana do składu chemicznego i stanu materiału ciętego.

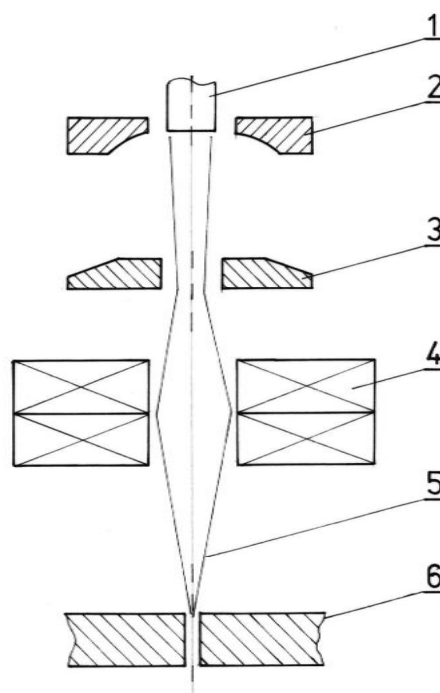
Dla danej mocy wiązki (tu: laser CO₂ moc 3 kW) i rodzaju ciętego materiału prędkość cięcia jest odwrotnie proporcjonalna do grubości, np. dla stali niskostopowej grubości 1 mm prędkość cięcia wynosi 10 m/min, dla grubości 5 mm – 3 m/min, grubości 10 mm – 1,6 m/min, a 20 mm – 0,7 m/min. Dla tego samego lasera prędkość cięcia aluminium zmienia się od 11 m/min dla grubości 1 mm, przez 2,4 m/min dla grubości 3 mm, do 0,9 m/min dla grubości 6 mm. Przyjmuje się przy tym zwykle, że maksymalna prędkość cięcia, osiągalna w danych warunkach, zapewnia najlepszą jakość powierzchni ciętych.

Duży wpływ na cięcie ma skład chemiczny i stan materiału ciętego. Nawet niewielkie zmiany składu wywołują konieczność dokonywania zmian w parametrach cięcia. W krajach wysoko rozwiniętych pojawiły się ostatnio stale „przyjazne obróbce laserowej” („laser friendly”). W przypadku metali nieżelaznych wyraźnie trudniej jest ciąć metale czyste niż stopy. Inaczej, niż w przypadku klasycznych metod cięcia termicznego, ogromny wpływ na proces cięcia ma stan powierzchni materiału, nawet niewielkie zabrudzenia mogą doprowadzić do niepełnego przetopu.

Cięcie laserowe bywa rozpatrywane jako alternatywa dla cięcia plazmowego. Bezdyskusyjna jest przewaga urządzeń laserowych, jeśli chodzi o dokładność odwzorowania wycinanych kształtów – może być lepsza niż $\pm 0,1$ mm, gdy dla cięcia plazmowego wynosi co najwyżej $\pm 0,15$ mm. Także szerokość linii cięcia plazmowego jest znacznie większa – np. dla stali grubości 6 mm wynosi odpowiednio 3,2 i 0,3 mm. Strefa wpływu ciepła przy cięciu laserowym jest co najmniej dwukrotnie węższa, niż przy cięciu plazmowym (w praktyce różnica może być nawet pięciokrotna). Także utwardzenie powierzchni ciętych jest w przypadku cięcia laserowego mniejsze niż przy cięciu plazmowym.

9.2.9. DRAŻENIE WIĄZKĄ ELEKTRONÓW

Wiązka elektronów została po raz pierwszy wykorzystana do topienia metalu w 1910 r. Stwierdzono, że w przypadku zastosowania bardzo dużego napięcia przyspieszającego można nadać elektronom niemal nieograniczoną energię kinetyczną. Same elektrony są natomiast tak małe, że uderzając w dowolną przeszkodę oddają jej energię na bardzo małej powierzchni, nagrzewając ją błyskawicznie. Na dodatek sterowanie wiązką jest relatywnie proste dzięki zastosowaniu soczewek magnetycznych (rys. 9.16).



Rys. 9.16. Schemat drążarki elektronowej; 1 – katoda, 2 – elektroda sterująca, 3 – anoda, 4 – soczewki elektromagnetyczne (ogniskujące i sterujące), 5 – wiązka elektronów, 6 – materiał cięty

Generowana wiązka ma jako narzędzie dwie wady: elektrony oddają energię każdej napotkanej przeszkodzie, np. atomom gazu, jakie napotykają na swej drodze. Dlatego wiązka elektronów zachowuje swą energię jedynie w próżni i cięcie z jej użyciem powinno odbywać się w komorach próżniowych. Po drugie, hamowane elektrony wyzwalają kwanty promieniowania przenikliwego, zwanego promieniowaniem X lub rentgenowskim. Dlatego obszary obróbki wiązką należy ekranować dla ochrony personelu.

W praktyce cięcie wiązką elektronów bywa stosowane do wykonywania precyzyjnych elementów z cienkich blach, np. do produkcji elementów lamp elektronowych dużej mocy. Znacznie częściej wiązki elektronów używa się do drążenia precyzyjnych otworów o małej średnicy. Przykładowo w blachach, tworzących elementy konstrukcji turbin gazowych nowej generacji, jest takich otworów po kilka milionów.

9.3. ZASTOSOWANIA CIĘCIA TERMICZNEGO

Cięcie termiczne zastosował po raz pierwszy E. Menne w 1901 r. Do wypalania korków w otworach spustowych wielkich pieców. Gaz palny – wodór oraz tlen doprowadzano koncentrycznymi, stalowymi rurami do prostych dysz, skierowanych na korek.

W 1904 r. Niemiec E. Wiss opatentował acetylenowo-tlenowy, koncentryczny palnik do cięcia, a Belg H. Jottrand, w 1905 r. – palnik posobny. Palniki obydwu typów błyskawicznie znalazły licznych użytkowników, a cięcie zyskało powszechne

uznanie po zastosowaniu go do demontażu mostu na Elbie w Barby, co zajęło ok. 5 dni, podczas gdy zastosowanie metod klasycznych wymagałoby pięciu tygodni pracy.

Bardzo szybko skonstatowano, że za pomocą palnika Wissa można prowadzić cięcie kształtowe, trudne bądź niemożliwe do wykonania metodami mechanicznymi. Konkurencyjność cięcia termicznego wobec mechanicznego była tym większa, im grubszy materiał miał być cięty. Już w 1913 r. po raz pierwszy przecięto blok stalowy o grubości 1 m. Niemożność cięcia tlenem metali nieżelaznych i większości stali wysokostopowych nie stanowiła początkowo istotnego mankamentu, gdyż nieczęsto wykonywano z tych metali konstrukcje grubościennne, a cienkie elementy można było ciąć mechanicznie.

Zastosowanie w 1957 r. cięcia plazmowego umożliwiło także cięcie termiczne metali nie spełniających warunków cięcia przez wypalanie tlenem. Zastosowanie po 1960 r. cięcia laserowego stworzyło możliwość cięcia wszystkich materiałów z dużą dokładnością i niewielkimi stratami.

Cięcie termiczne jest uznawane za podstawowy sposób przygotowywania elementów konstrukcji metalowych o grubościach przekraczających 30 mm, a w szczególności konstrukcji spawanych. Dokładność cięcia stale zwiększa się i jest możliwe precyzyjne wycinanie elementów, które nie wymagają dalszych operacji technologicznych w odniesieniu do krawędzi cięcia, bez obróbki mechanicznej mogą nawet tworzyć pary kinematyczne.

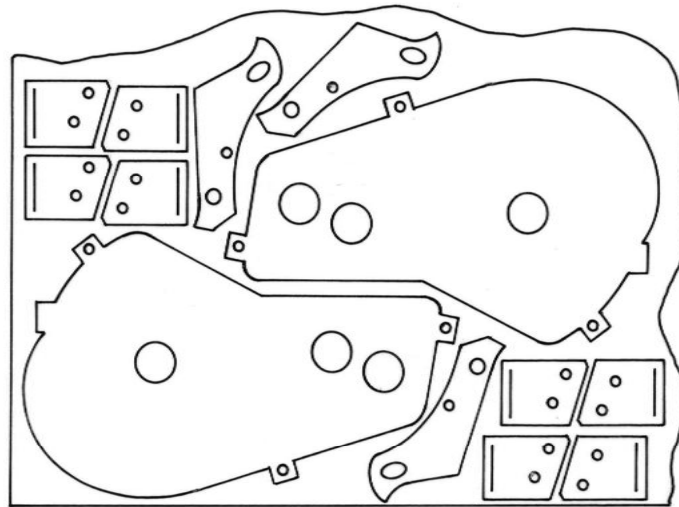
W przypadku elementów metalowych o małej grubości, czyli do 30 mm, zalety cięcia termicznego, to wysoka wydajność (prędkość cięcia blach o grubości ok. 1 mm wynosi nawet powyżej 1 m/s), dokładność i rekordowo niski koszt jednostkowy.

Na coraz szerszą skalę stosuje się cięcie termiczne materiałów niemetalowych – tworzyw sztucznych, tkanin, choć ograniczenie stanowi często ryzyko zapalenia ciętego materiału. Wdrażane są technologie cięcia materiałów kompozytowych, blach pokrywanych tworzywami sztucznymi i innych, zaawansowanych materiałów.

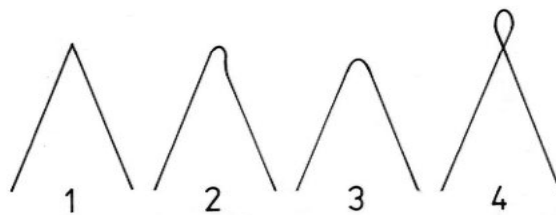
9.4. CZĘŚĆ PRAKTYCZNA

1. Zapoznanie z konstrukcją i obsługą najpowszechniej stosowanych urządzeń do cięcia termicznego, metodami cięcia, jego przebiegiem oraz rezultatami cięcia w postaci wyciętych elementów, z uwzględnieniem jakości krawędzi.
2. Omówienie i przedstawienie ręcznego palnika inżektorowego z koncentryczną dyszą, zmechanizowanego palnika z układem posobnym dysz, palnika do kształtowego cięcia z wykorzystaniem wzorców i rolki magnetycznej, palnika do ręcznego cięcia plazmą powietrzną.
3. Pokaz zapalania i regulacji płomienia palników, sposób nagrzewania materiału przed rozpoczęciem cięcia oraz cięcia ręcznego tlenem i zmechanizowanego cięcia tlenem blach stalowych o grubości od 3 do 15 mm oraz blachy aluminiowej grubości 3mm plazmą powietrzną.

4. Omówienie szczególnych cech krawędzi ciętych elementów oraz porównanie ich jakości. Wyniki cięcia należy porównać z wynikami cięcia plazmowego i laserowego materiałów o podobnej grubości i składzie.
5. Prezentacja ogólnych zasad rozmieszczania elementów do cięcia na arkuszach blach (tzw. rozkrój – rys. 9.17) oraz sposobów cięcia elementów z ostrymi krawędziami (rys. 9.18).
6. Opisanie zasady przebijania materiału przed cięciem oraz omówienie typowych niezgodności i zaburzeń procesu cięcia termicznego.



Rys. 9.17. Przykładowe rozmieszczenie detali do wycięcia na arkuszu blach



Rys. 9.18. Przykładowe geometryczne ograniczenia dokładności odwzorowania konturu ciętego elementu o ostrych krawędziach (1) wynikające z bezwładności głowicy (2) i średnicy strumienia tnącego (3). Rozwiązaniem może być zastosowanie trajektorii „z pętlą” (4)

UWAGI DO SPRAWOZDANIA

Sprawozdanie z ćwiczenia powinno obejmować:

- opis prezentowanych urządzeń,
- obserwacje dotyczące przebiegu cięcia,
- porównanie jakości krawędzi ciętych w kontekście obowiązujących norm.

LITERATURA

- [1] PILARCZYK J., *Poradnik Inżyniera. Spawalnictwo*. Tom 2, WNT, Warszawa 2005.
- [2] KLIMPEL A. *Technologia spawania i cięcia metali*, Wyd. Politechniki Śląskiej. Gliwice 1997.
- [3] POLEWOJ G. SUCHININ G. *Gazopłamenna obróbka metali*, Akademia. Moskwa 2005.
- [4] JÓZWICKI R. *Technika laserowa i jej zastosowania*, Oficyna Wyd. Politechniki Warszawskiej. Warszawa 2009.
- [5] SCHELLHASE M. *Der Schweisslichtbogen – ein technologisches Werkzeug*, Verlag Technik. Berlin 1985.
- [6] Schweissen. G- E- MAG-Schweissen. Thermisches Trennen. Verlag Technik. Berlin 1985.

WYKAZ NORM

- PN-EN ISO 9013:2003 Cięcie termiczne – Klasyfikacja cięcia termicznego – Specyfikacja geometrii wyrobu i tolerancje jakości.
- PN EN 2820:1997 Badania odbiorcze przecinarek do cięcia tlenowego. Dokładność odwzorowania. Charakterystyki działania.
- PN-74/M-69103 Spawalnictwo. Przecinarki półautomatyczne do cięcia tlenem. Wymagania i budowa.