

Z historii cięcia termicznego

History of thermal cutting

Streszczenie

Cięcie termiczne jest jedną z najistotniejszych i najpowszechniej stosowanych technologii spawalniczych. Jego rozwój postępował wraz z ewolucją technologii spawania, poczynając od przełomu XIX i XX wieku. Jako pierwsze zastosowano w praktyce cięcie płomieniowe przez spalanie metalu z użyciem tlenu, a jako gazy palne stosowano wodór i acetylen. Inaczej niż technologie spawania, cięcie tlenowe niemal natychmiast zyskało uznanie i popularność. Znacznie wolniej rozwijało się cięcie łukowe. Dopiero zastosowanie cięcia łukowo-plazmowego doprowadziło do wzrostu praktycznego znaczenia tej grupy technologii. Po relatywnie długim okresie doskonalenia urządzeń i technologii ogromną popularność zdobyło cięcie laserowe, które intensywnie rozwija się do dziś.

Słowa kluczowe: cięcie termiczne, cięcie tlenem, cięcie przez topienie

Abstract

Thermal cutting is one of most important and popular welding technologies. Its development progressed in parallel to evolution of welding starting from last years of XIX th century. The fuel gas cutting by burning of metal in oxygen was introduced first and hydrogen and acetylene were used as the fuel gases. Different to pure welding the oxygen cutting was recognized very fast and became very popular. Much slower was progress in arc cutting. Only introduction of arc-plasma cutting has led to growth of practical role of this group of technologies. After relatively protracted period of polishing of equipment and technologies huge popularity was gained by laser cutting which still grows and develops very fast.

Keywords: thermal cutting, oxygen cutting, cutting by melting

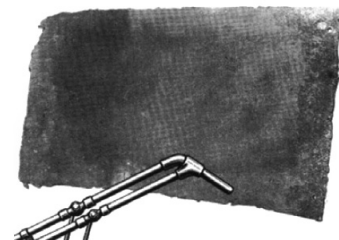
Wstęp

Cięcie termiczne, inaczej niż spawanie, służy nie łączeniu, a dzieleniu materiałów. Jest jednak zaliczane do technologii spawalniczych za sprawą podobieństwa zjawisk, procesów i technologii stosowanych w obu przypadkach.

W odległej przeszłości cięcie metali nie stanowiło problemu, gdyż praktykowano je bardzo rzadko i wyłącznie w odniesieniu do materiałów o małej grubości. Dominujące wówczas technologie przetwarzania metali: odlewanie i przeróbka plastyczna nie wymagały cięcia, a co najwyżej wykańczającej obróbki ścierniej (szlifowania i polerowania). Dopiero rewolucja przemysłowa, której istotną częścią był błyskawiczny wzrost produkcji żelaza i stali, umożliwiła rozpoczęcie produkcji wielkogabarytowych konstrukcji metalowych, a one z kolei wymagały zwykle zastosowania półproduktów, które przed użyciem trzeba było dopasować do założonych wymiarów, a to wymagało często ich cięcia. Szybko okazało się, że stosowanie powszechnie znanych metod cięcia mechanicznego: z użyciem nożyc, gilotyn i pił ma liczne ograniczenia, związane z grubością materiału, geometrią cięcia i wydajnością procesu. Na dodatek zużycie narzędzi tnących było bardzo szybkie, a dokładność cięcia pozostawiała wiele do życzenia. Dlatego wszelkie wynalazki w dziedzinie cięcia metali były przyjmowane z dużą uwagą, a próby ich praktycznego zastosowania nierzadko wyprzedzały poszukiwania naukowych podstaw nowych procesów.

Cięcie płomieniowe

Pierwsza, udokumentowana próba cięcia tlenem miała miejsce 24.12.1890 r. w Hanowerze. Użyto w niej palnika Fletchera zasilanego gazem miejskim z domowej instalacji oświetleniowej oraz tlenem, zmagazynowanym pod ciśnieniem w trzech niewielkich butlach. Celem było włamanie do tamtejszego Banku Krajowego (Landesbank). Próba skończyła się niepowodzeniem, gdyż tlenu starczyło tylko do przecięcia zewnętrznej płyty pancernej drzwi do sejfów. Anonimowy włamywacz porzucił sprzęt, który został znaleziony przez pracowników banku dopiero po świętach [1]. Kolejna, tym razem udana próba miała miejsce w 1901 r. w Londynie, gdzie został w ten sposób otwarty sejf w banku pocztowym. I tu autor wynalazku pozostał anonimowy.



Rys. 1. Palnik Fletchera użyty do próby włamania i blacha wycięta za jego pomocą z sejfów w Hanowerze w 1890 r. [1]

Fig. 1. The Fletcher torch used for the robbery and a steel plate of the safe in Hanover cut with it

W tym samym roku niemiecki chemik dr Ernst Menne wypróbował swoje urządzenie, służące do wypalania otworów w karkach spustowych wielkich pieców. Menne był zatrudniony w oddziale wielkich pieców górniczej spółki akcyjnej Cöln-Müsener w Creuztal. Skonstruował prosty palnik z dwiema koncentrycznymi dyszami – wewnętrzna dostarczała tlen, zewnętrzna – acetylen. Rozwiązanie zostało opatentowane w 1901 r. w Niemieckim Urzędzie Patentowym [2]. Nie było to wprawdzie urządzenie do cięcia w pełnym tego słowa znaczeniu, ale wykorzystywało zjawisko spalania metalu w tlenie.

Pomysł Menne rozwinął niemiecki konstruktor Ernst Wiss pracujący w Fabryce Chemicznej Griesheim-Elektron we Frankfurcie nad Menem i zajmujący się wcześniej z powodzeniem konstruowaniem urządzeń do spawania płomieniowego. Opracował w 1903 r. pełnowartościowy palnik do cięcia tlenem z koncentryczną dyszą: centralną był podawany tlen, a zewnętrzną, szczelinową – mieszanka acetylenowo-tlenowa. Rok później odbyły się pierwsze prezentacje tego palnika połączone z cięciem stalowych blach o grubości do 20 mm [3].

W tym samym czasie swój palnik do cięcia przedstawił Belg F. Jottrand pracujący dla firmy Deutsche Oxhydric GmbH z Düsseldorfu. Miał on konstrukcję posobną, w której dysza tlenu tnącego znajdowała się za dyszą mieszanki podgrzewającej. W ten sposób palnik w mniejszym stopniu nadawał się do cięcia kształtowego, ale lepiej wykorzystywał ciepło płomienia acetylenowo-tlenowego. Obie firmy wystąpiły do niemieckiego urzędu patentowego i uzyskały wspólny „patent uzupełniający” D.R.P. 143640, dotyczący metody „szybkiego usuwania, wiercenia, cięcia, demontażu i innych (metod obróbki) materiałów metalowych” [4]. W odróżnieniu od patentu Menne zastrzeżono specyficzne cechy konstrukcji palników, w których była wykorzystywana mieszanka gazów tworząca płomień podgrzewający. Jottrand opatentował swój palnik także w USA (patent US 866866, opublikowany we wrześniu 1907 r.). Oba typy palników szybko zyskały dużą popularność, a ich możliwości potwierdziła spektakularna operacja demontażu mostu żelaznego na Łabie w miejscowości Barby zbudowanego w 1875 r. W 1908 r. usunięcie centralnego przęsła o rozpiętości 24 m zajęło pięć dni, podczas gdy klasyczne jej roznitowanie miało zająć cztery tygodnie. Podobną operację przeprowadzono z równie spektakularnym skutkiem rok później demontując most na Renie w Kolonii. Firmy Griesheim i Deutsche Oxhydric próbowały zmonopolizować rynek cięcia termicznego nie tylko sprzedając palniki, ale i zobowiązując kupujących do zaopatrywania się w gazy

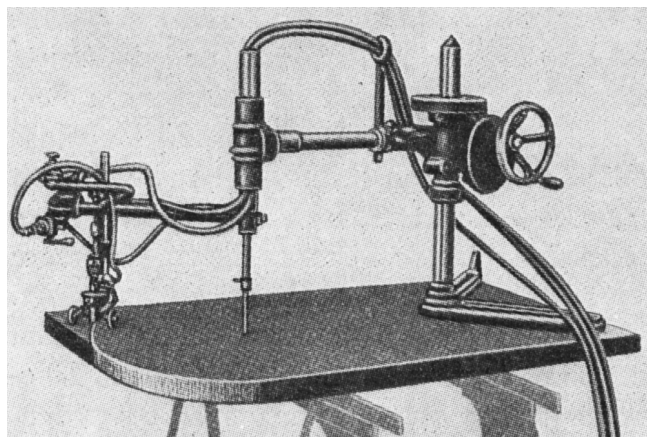
techniczne do ich zasilania wyłącznie w swoich sklepach. Wysokie ceny urządzeń (podobno za pierwszy palnik Wissa firma Krupp zapłaciła w 1905 r. 10 000 marek w złocie!) i błyskawicznie rosnąca popularność metody skłoniła wiele mniejszych firm do produkcji własnych palników, które sprzedawano po ok. 300 marek. Przeciwko naruszeniu praw patentowych konsekwentnie występowały obie firmy i w ciągu kilku lat liczba równocześnie toczących się spraw sądowych przekroczyła 500! Nadzieją na legalne złamanie monopolu było wygaśnięcie patentu Menne w maju 1916 r., ale sąd przedłużył jego ważność do 1921 r. [3] Dopiero później produkcja palników podobnych do konstrukcji Wissa i Jottranda stała się legalna.

W międzyczasie urządzenia systematycznie udoskonalano. Wiss skonstruował w 1906 r. pierwszy palnik zaopatrzony w miniaturowy wózek z metalowymi kołami, który ułatwiał cięcie prostoliniowe, a przede wszystkim gwarantował stałą odległość między wylotem dyszy palnika, a materiałem, co jest warunkiem uzyskania krawędzi wysokiej jakości. W 1908 r. przeprowadzono pierwsze udane próby cięcia płomieniowego pod wodą [5]. W 1913 r. po raz pierwszy przecięto płytę stalową grubości metra [6]. W tym samym roku firma Griesheim zaprezentowała pierwszą głowicę do cięcia termicznego, umieszczoną na napędzanym przez silnik elektryczny traktorze, który mógł poruszać się także po torach krzywoliniowych [7].



Rys. 2. Dr Ernst Menne – twórca pierwszego palnika do cięcia. [1]

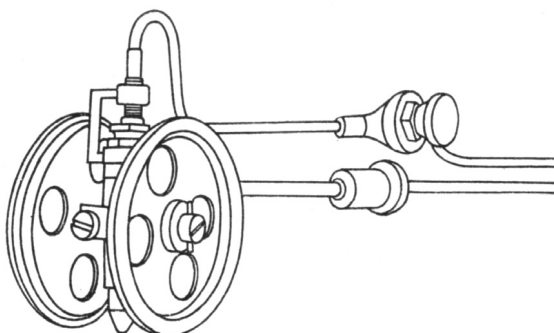
Fig. 2. Dr Ernst Menne – inventor of the first dedicated cutting torch



Rys. 4. Stołowy palnik do cięcia po okręgu ok. 1910 r. [3]

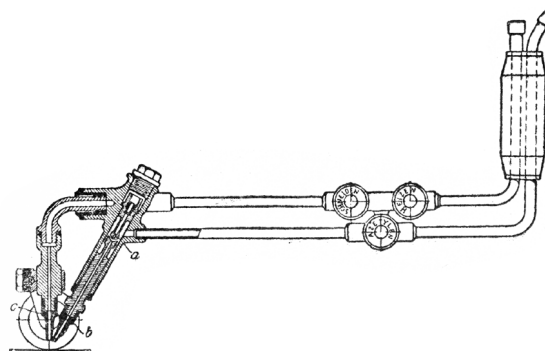
Fig. 4. A table torch for circular cutting. About 1910

Ogromne znaczenie miało cięcie elementów grubościennych podczas pierwszej wojny światowej, gdy gwałtownie rosło zapotrzebowanie na pancerze o coraz większej odporności, stosowane przede wszystkim do budowy wielkich okrętów wojennych. Po wojnie cięcie termiczne okazało się natomiast niezastąpione podczas złomowania nadwyżek sprzętu wojskowego. Najwięcej takich prac prowadzono w Niemczech, które Traktat Wersalski zobowiązywał do zniszczenia wszelkiej ciężkiej broni. Wtedy też po raz pierwszy na szerszą skalę cięto stale stopowe, głównie zawierające nikiel i mangan.



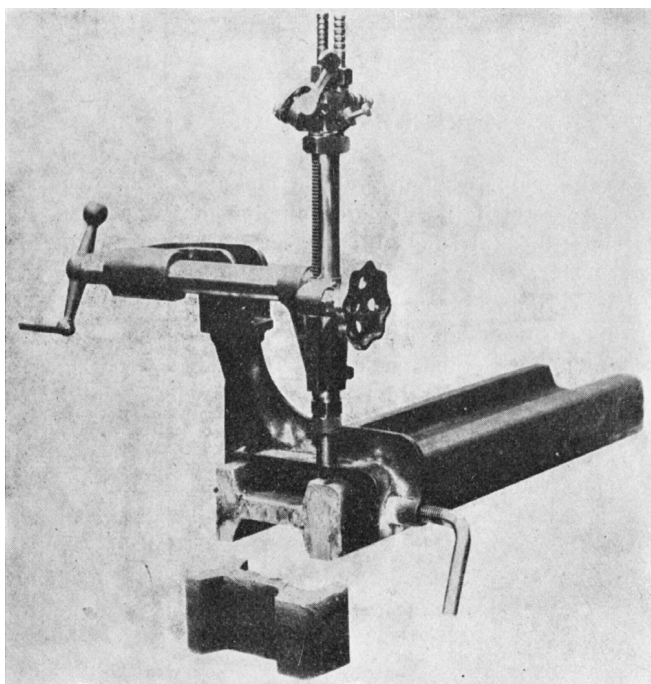
Rys. 3. Pierwszy palnik Wissa z wózkiem prowadzącym 1906 r. [3]

Fig. 3. First Wiss torch with the trolley 1906



Rys. 5. Palnik acetylenowo-tlenowy do cięcia ok. 1915 r. [8]

Fig. 5. Oxygen-acetylene torch for cutting. About 1915

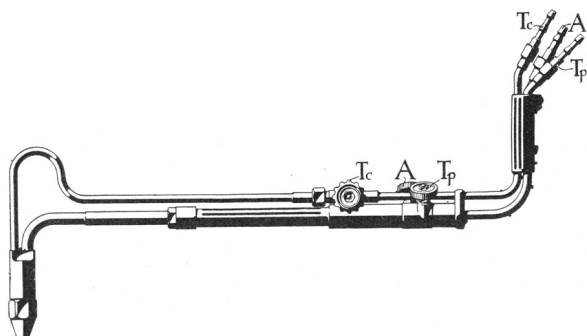


Rys. 6. Palnik do przecinania szyn ok. 1915 r. [8]
Fig. 6. Torch for rail cutting. About 1915

W 1922 r. w USA została skonstruowana lanca tlenowa, służąca do cięcia elementów grubościennych [3]. Jej zastosowanie stało się powszechne po zakończeniu II wojny światowej, gdy na masową skalę cięto złomowany sprzęt wojskowy oraz zniszczone konstrukcje metalowe w obiektach przemysłowych, tworzących infrastrukturę komunikacyjną (głównie zburzone mosty) oraz budowlaną.

W odrodzonej Rzeczypospolitej zwracano dużą uwagę na technologie spawalnicze. Publikowano opracowania naukowe i poradniki spawalnicze, w których opisywano także urządzenia do cięcia termicznego z użyciem tlenu i acetylenu lub wodoru [8]. Liderem w dziedzinie produkcji takich urządzeń, ale też i zdecydowanym propagatorem spawalnictwa były zakłady Perun sp. akc., które produkowały różnorodne palniki do ręcznego cięcia stali o grubości do 600 mm (Normus, Rex-Uniwersalny, Normus-As), żeliwa (Pyrokopt), obcinania nitów (Pyrosekator), cięcia pod wodą, a także dostarczały importowane maszyny do automatycznego cięcia tlenem (np. Pantotom B 33 i Oxytom), gdyż „zastępowanie odlewów częściami wycinanymi za pomocą maszyn do cięcia i spawaniem, co jest charakterystyczną cechą współczesnych konstrukcji, już zapewnia maszynie do cięcia zastosowanie wprost olbrzymie” (pisownia oryginalna) [9].

Kolejnym krokiem było wdrożenie w USA cięcia kształtowego z wykorzystaniem szablonów stalowych i poruszających się po ich krawędziach rolek magnetycznych sprzężonych mechanicznie z palnikami. Pierwsze takie urządzenie skonstruował w 1921 r. Leslie Hancock, wykorzystując jako napęd rolki elektryczny silniczek z gramofonu.



Palnik „Normus As” do cięcia.
T_c — tlen do podgrzewania, T_c — do cięcia, A — acetylen.

Rys. 7. Polski palnik Perun Normus-As [9]
Fig. 7. Polish torch Perun Normus-As

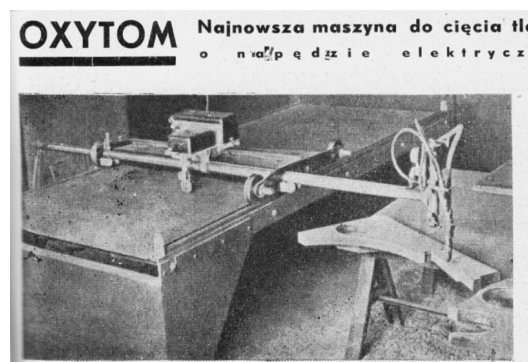
Dopiero w 1939 r. pojawiły się, również w USA, palniki do cięcia, zasilane propanem-butanem, gdyż stwierdzono, że zapewnia on uzyskanie krawędzi cięcia o jeszcze wyższej jakości. Co ciekawe, w Polsce jeszcze 30 lat później nie zwracano w należyty sposób uwagi na zalety zastosowania tego gazu palnego do cięcia [10]. Na początku lat 50. ub. wieku relatywnie drogie szablony stalowe zastąpiono specjalnymi szablonami papierowymi na kontrastowym podkładzie, których krawędzie były śledzone przez proste układy fotooptyczne.

W 1944 r. po raz pierwszy zastosowano w USA cięcie tlenowo-proszkowe, w którym do obszaru cięcia, oprócz mieszanki acetylenowo-tlenowej i tlenu doprowadzano także strumień proszku żelaznego. Ten ostatni, podgrzany przez płomień, spalał się w tlenie generując dodatkowe ciepło, które ułatwiało i przyspieszało proces cięcia. Metodę zastosowano po raz pierwszy w celu przyspieszenia produkcji statków transportowych typu Liberty i Victory pełniących służbę konwojową na Atlantyku i Pacyfiku [11]. W ich przypadku stosowano nie tylko spawanie i cięcie termiczne, ale i budowę modułową, a poszczególne sekcje powstawały często w zakładach nie mających wcześniej nic wspólnego z przemysłem okrętowym. Po wojnie stwierdzono, że dodatek proszku żelaznego umożliwia także cięcie stali o większej zawartości składników stopowych, niż dopuszczalna dla klasycznego cięcia tlenem.



Rys. 8. Reklama palnika Normus-As [9]

Fig. 8. Dr Ernst Menne – inventor of the first dedicated cutting torch



Rys. 9. Automat do cięcia wzorcowego Oxytom z elektrooptycznym układem śledzenia rysunku. 1934 r. [9]

Fig. 9. Oxytom machine for pattern cutting with electro-optical tracking of the drawing. 1934

a) R U N

PALNIK

REX-UNIwersalny

o 7-ju zamiennych końcówkach do spawania i 8-iej końcówce do cięcia, z 3 gilmami i 5 dyszami wraz z wózkiem i cyrkiem.

Patrz dane charakterystyczne na stroniej następniej

CZĘŚCI ZAMIENNE STALE NA SKŁADZIE

WYRÓB KRAJOWY

W Y R O B Y

b) R U N

PALNIK PYROKOPI

o 3-ach dyszach do cięcia żeliwa

DANE CHARAKTERYSTYCZNE

Nr. końcówki	Cięcie acetylenem w wytwornicy				
	Grubość żeliwa mm	Szybkość cięcia mig/dz	Zużycie tlenu litr/godz	Zużycie acetylenu litr/godz	Ciśnienie tlenu at
1	5	1.50	5,000	1,200	9-10
2	80	1.10	7,500	1,700	10-11
3	100	0.85	8,500	2,100	10-12

Nr. końcówki	Cięcie acetylenem z butli		
	Grubość żeliwa mm	Ciśnienie tlenu at	Ciśnienie tlenu at
1	75-80	10-12	0.2
2	100-120	11-13	0.3
3	150-165	12-15	0.4

W Y R O B Y

c) E R U N

PALNIK HUTNICZY

DO USUWANIA WAD POWIERZCHNIOWYCH NA PÓLFABRYKATACH WALCOWNIANYCH

Zamiast uciążliwego wycinania rys na wlewkach ścinakiem - można

S Z Y B K O ● WYPALIĆ JE
T A N I O ● PALNIKIEM
NIEZAŁWODNIE ● HUTNICZYM

Demonstracje na żądanie.

PALNIK DO CIĘCIA POD WODĄ

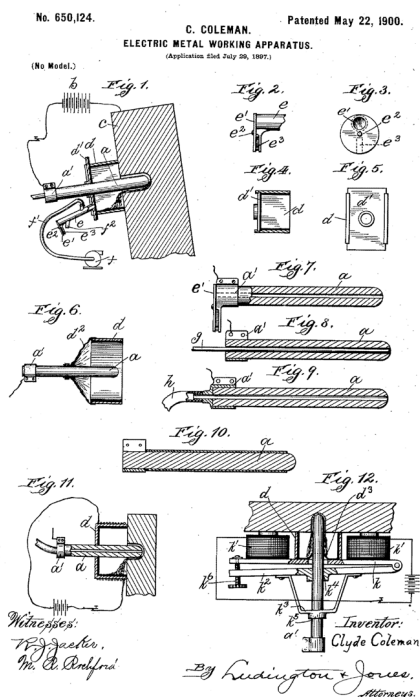
Szczegółowy opis przesyłamy na żądanie.

W Y R O B Y

Rys. 10. a) Palnik Perun Rex-Uniwersalny, w prawej części rysunku końcówka do cięcia, wózek prowadzący i cyrkiel do cięcia [9], b) reklama palnika Perun do cięcia żeliwa [9], c) Reklama palnika Perun do cięcia żeliwa [9]
Fig. 10. a) Perun Rex-Uniwersalny torch. In the right part of the drawing – the cutting nozzle, trolley and compasses for cutting, b) advertisement of the Perun made torch for cutting of cast iron, c) advertisement of the Perun made torch for cutting of cast iron

Cięcie łukowe

Niemal równolegle z cięciem przez spalanie metalu w tlenie po jego wstępnym podgrzaniu za pomocą palnika eksperymentowano nad wykorzystaniem w tym celu łuku elektrycznego. Pierwsze takie urządzenie opatentował w USA w 1900 r. inż. Clyde Coleman [12]. Zastosował on elektrodę w postaci cienkościennej grafitowej rurki, przez którą do strefy cięcia podawano tlen. Co ciekawe, tlen był tylko jednym z gazów, które autor patentu proponował stosować, jego pomysły dotyczyły również podawania do strefy cięcia sproszkowanych ciał stałych (związków chemicznych), które miały przyspieszyć proces dzielenia materiału. Jego pomysł nie zyskał dużej popularności z racji delikatności elektrody, a przede wszystkim szerokiej i nieregularnej szczeliny cięcia (najcieńsze elektrody miały średnicę 5 mm, szczelina była jeszcze co najmniej o 2 mm szersza, a proces prowadzono ręcznie).



Rys. 11. Rysunek patentowy Colemana dotyczący cięcia łukowego [12]
Fig. 11. Coleman's patent drawing concerning arc cutting

Oryginalny pomysł pojawił się w 1921 r. w polskiej publikacji [8]. Chodziło o wykorzystanie do cięcia łukowej spawalniczej głowicy Zerenera połączonej dyszą doprowadzającą tlen tnący. W tym czasie, a i później w Polsce patenty, dotyczące cięcia łukowego były najwyraźniej zupełnie nieznanymi.

Nieco później próbowano wykorzystywać do cięcia metalu wirujący dysk włączony w obwód elektryczny. Łuk żarzył się między krawędzią dysku, a ciętym materiałem, a ciekły metal wyrzucała ze szczeliny siła odśrodkowa. Był to pierwszy sposób cięcia termicznego, w którym metal nie był spalany, a jedynie topiony i usuwany mechanicznie (przez wydmuchiwanie). Co ciekawe, taka metoda bywa stosowana do produkcji proszków metalicznych [13].

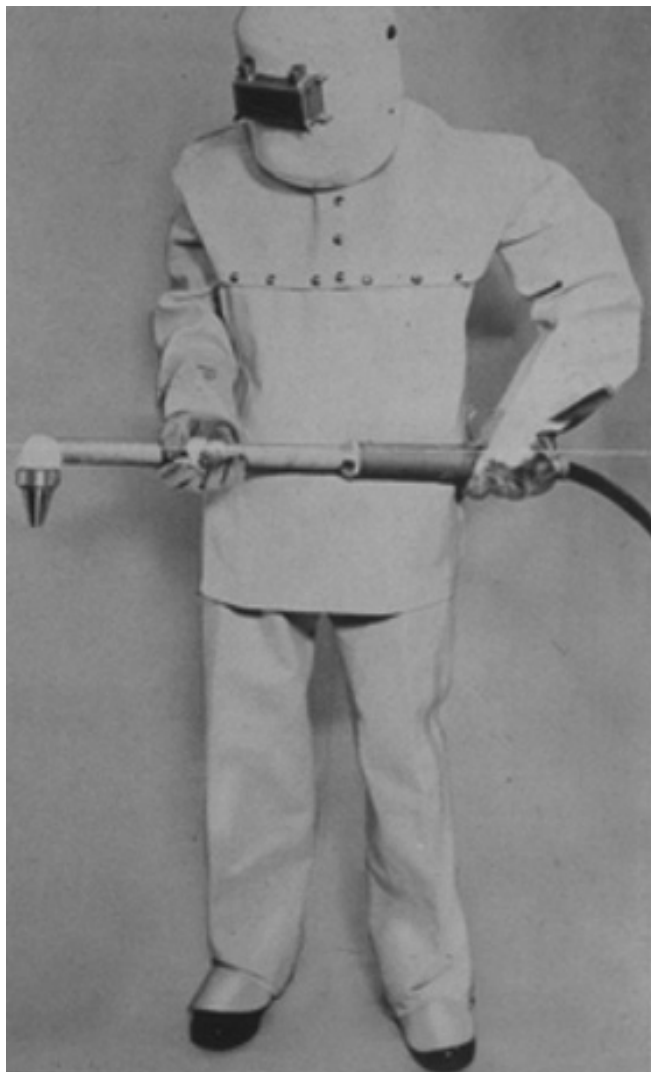
Cięcie przez topienie stali i jej wydmuchiwanie ze szczeliny pod działaniem strumienia gazu praktykowano także stosując lite elektrody grafitowe wraz z uchwytyami zaopatrzonymi w dyszę, do której dostarczano sprężone powietrze oraz elektrody grubościenne z otulinami celulozowymi lub specjalnymi (np. zawierającymi do 80% tlenku manganu). Do dzisiaj specjalne elektrody otulone są stosowane do żłobienia.

W pierwszej połowie lat 50. ub. wieku zaczęto stosować do cięcia stali stopowych oraz metali nieżelaznych, głównie stopów aluminium, spawalnicze urządzenia łukowe GTA i GMA [14]. W pierwszym przypadku stosowano zwiększony przepływ mieszanki gazów ochronnych, w drugim – zwiększone ciśnienie gazu oraz niestopowy drut stalowy.

Cięcie strumieniem energii skoncentrowanej

Pierwsze urządzenie spawalnicze, wykorzystujące jako źródło ciepła łuk plazmowy było dziełem Roberta M. Gage i powstało w 1957 r. Cztery lata wcześniej Gage rozpoczął próby topienia tytanu łukiem elektrycznym w Linde Research Laboratories (należących do Union Carbide) w Nowym Jorku [15]. Już październiku 1955 r. po raz pierwszy użył łuku plazmowego do cięcia aluminium, a dwa lata później uzyskał patent, dotyczący łuku plazmowego [16]. W 1958 r. firma Linde zaczęła propagować cięcie plazmowe stali nierdzewnej i przez 16 lat dzięki patentowi była praktycznie monopolistą w tej dziedzinie na Zachodniej Półkuli. W 1964 r. James Browning z amerykańskiej firmy Thermal Dynamics Corp. uzyskał patent [17] na urządzenie plazmowe o podwójnym przepływie (Dual Flow Plasma Arc), w którym gazem

plazmotwórczym był azot, a gazem ochronnym/tnącym powietrze (przy cięciu stali niestopowej), CO₂ (dla stali stopowej) oraz argon (do cięcia aluminium). W 1965 r. pojawiły się informacje o zastosowaniu kurtyny wodnej dla strumienia plazmy, a trzy lata później Richard Couch z amerykańskiej firmy Hypertherm Inc. opatentował urządzenie z promieniowym wtryskiem wody do strumienia plazmy azotowej [18]. W 1980 r. rozpoczęto sprzedaż urządzeń, w których do cięcia wykorzystano plazmę powietrzną (PAK-3 firmy Thermal Dynamics w USA i ZIP-Cut firmy SAF w Europie), a trzy lata później pojawiło się pierwsze urządzenie do cięcia plazmą tlenową. W obu przypadkach elektrody wolframowe zastąpiono hafnowymi lub cyrkonowymi.



Rys. 12. Operator z ręcznym palnikiem do cięcia plazmowego, ok. 1960 r. [24]

Fig. 12. The operator with hand-held plasma cutting device. About 1960

W Polsce uważnie obserwowano rozwój spawalniczych technologii plazmowych [19], eksperymentowano i z powodzeniem konstruowano urządzenia plazmowe do cięcia, jednym z pierwszych był półautomat ACA-500 [20], którego prototyp powstał w Instytucie Spawalnictwa w 1963 r. [21]

Wiązki elektronów użyto po raz pierwszy do topienia metalu już w 1905 r. i było to pierwsze w historii zastosowanie w tym celu energii skoncentrowanej – Marcello v. Pirani stopił w ten sposób tantal [22]. W 1939 r. grupa niemieckich uczonych zgłosiła patent, dotyczący perforowania wiązką cienkich folii metalowych w celu produkcji precyzyjnych filtrów [23]. Kolejnym zastosowaniem było drążenie otworów, także w materiałach o bardzo wysokiej twardości [24],

a dopiero pod koniec lat 50. ub. wieku zaczęto stosować wiązkę elektronów do precyzyjnego cięcia kształtowego metali.

Spośród źródeł energii skoncentrowanej najpóźniej zaczęto stosować do cięcia wiązkę laserową. Za autorów pomysłu stworzenia generatora koherentnej wiązki światła uchodzą Ch. Townes i A. Schawlow pracujący w laboratoriach firmy Bell Telephone, z których pierwszy był jednym z twórców MASERa, za co otrzymał w 1964 r. Nagrodę Nobla. W 1957 r. za sprawą Townesa tematem zainteresował się G. Gould (Schawlow był jego szwagrem), który wymyślił nazwę LASER. Townes i Schawlow wystąpili o patent w 1958 r. Townes – o rok później. Pierwszy działający laser skonstruował jednak w maju 1960 r. kto inny – T. Maiman pracujący w laboratoriach Hughesa w Malibu w USA. Był to impulsowy laser rubinowy, ale jego moc była tak niska, że techniczne zastosowania okazały się bardzo ograniczone. W tym samym roku A. Javan, W. Bennet i D. Herriot rozpoczęli prace nad laserem gazowym emitującym wiązkę ciągłą. W 1962 r. za pomocą wiązki laserowej wywiercono otwór w diamencie [25]. Dopiero jednak skonstruowany przez C. Kunara w 1964 r. laser CO₂ okazał się urządzeniem wystarczająco dużej mocy, aby zastosować go do cięcia metali [26]. Nadzieje z tym związane były bardzo duże, czego pośrednim dowodem jest scena z filmu o agencie 007 pt. „Goldfinger” z 1964 r., w której wiązka lasera przecina grubą złotą płytę. W rzeczywistości po raz pierwszy udało się przeciąć blachę stalową grubości 1 mm dopiero w 1967 r. Dokonał tego P. Houldcroft z The Welding Institute z Cambridge (Wlk. Brytania) używając militarnego lasera CO₂ użyczonego przez Services Electronic Research Laboratory z Harlow. Laser miał moc 300 W, a jego ośrodek czynny mieścił się w cylindrze o długości 10 m (!).

W opublikowanej wówczas informacji na temat sukcesu technologicznego podano, podobno przez pomyłkę, że grubość ciętych blach stalowych wynosiła nie 1/10 cala (co też byłoby nieprawdą), a 1 - 10 cali, czyli maksymalnie 254 mm [27]. Pierwszą przemysłową maszyną do cięcia laserowego było jednoosiowe urządzenie wyprodukowane przez BOC w 1970 r. Kolejnym krokiem milowym w rozwoju cięcia laserowego było zastosowanie w 2008 r. przez firmę Salvagini włóknowego lasera firmy IPG Photonics do cięcia metali, włącznie z miedzią i mosiądzami. Wykazano przy tym, że laser włóknowy o mocy 2 kW może z powodzeniem konkurować z laserem CO₂ o mocy 4 kW [28]. Obecnie do cięcia coraz częściej stosuje się także lasery dyskowe [29].



Rys. 13. Pierwsze cięcie laserowe stali grubości 1 mm. [26]

Fig. 13. World's first laser cutting of the 1/25 inch thick steel plate

Podsumowanie

Historia cięcia termicznego jest znacznie bardziej burzliwa, niż klasycznego spawania. Powszechna akceptacja i błyskawiczne rozpowszechnienie płomieniowego cięcia tlenem znacznie wyprzedziło wzrost znaczenia technologii spawalniczych. Inaczej, niż w przypadku spawania, zastosowanie jako źródła ciepła łuku elektrycznego okazało się dość trudne i nigdy nie stanowiło istotnej konkurencji dla metod płomieniowych. Próby zastosowania do cięcia źródeł energii skoncentrowanej podjęto dopiero w drugiej połowie XX wieku, ich możliwości rosną stosunkowo powoli, a barierą w ich rozpowszechnieniu, inaczej niż w przypadku cięcia płomieniowego, jest wysoka cena aparatury oraz ograniczona grubość ciętych materiałów. Możliwe do przewidzenia kierunki rozwoju cięcia termicznego, to dalszy wzrost precyzji cięcia tlenem dzięki zastosowaniu zaawansowanych metod sterowania i kontrolowania procesu oraz spadek kosztów cięcia laserowego dzięki zastosowaniu laserów nowych typów.

Literatura

- [1] Beckert M.: Aus der Geschichte des autogenen Brennschneidens. w: Schweißen und Schneiden 2001 nr 2.
- [2] Menne E.: Beseitigen von Ofenansätzen und dergl. bei Hochöfen und anderen Öfen oder zum Durchschmelzen hinderlicher Metallmassen vermittels eines Gebläses. Deutsches Reich Patent D.R.P. 137588. Berlin 1901.
- [3] Bernsdorf G.: Auf heißen Spuren vom Schmieden, Loten und Schweißen. VEB Fachbuchverlag. Leipzig 1986.
- [4] Verfahren und Vorrichtungen zum Schneiden von Metallgegenständen usw. unter Anwendung eines Lotrohrs und von Sauerstoff. Deutsches Reich Patent D.R.P. 216963. Berlin 1905.
- [5] Jansen H.: Brennschneiden unter Wasser. w: Schweißen und Schneiden 1962 nr 8.
- [6] Schimpke P. Die neueren Schweißverfahren. Springer-Verlag. Berlin Heidelberg 1926.
- [7] Bruenn E.: Brennschneiden und Trennen. VEB Verlag Technik Berlin 1954.
- [8] Porębski E.: Łączenie metali. Zgrzewanie, stapianie, lutowanie i przecinanie. Spółka Wydawnictw Technicznych. Lwów 1921.
- [9] Perun. Kalendarz Spawalniczy nr 5, Warszawa 1935.
- [10] Poradnik spawalniczy wyd.3. WNT Warszawa 1970.
- [11] Lipiński J.: Druga wojna światowa na morzu. Wyd. Morskie, Gdańsk 1976.
- [12] Coleman C. Electric metal-working apparatus. US Patent Office 650124A 1900.
- [13] Frous F. (red.) Poroskovaja metallurgija titanowych splavov. Izd. Metallurgija Moskva 1985.
- [14] Hull W.G.: Use of Gas-Shielded Arc processing for cutting of non-ferrous metals, w: Welding and Metal Fabrication 1954 nr 5.
- [15] Almqvist E.: History of Industrial Gases. Kluwer Academic/Plenum Publishers. New York 2003.
- [16] Gage R. Arc Torch and Processes. US Patent 2806124A 1957.
- [17] Browning J. Electric Arc Torch US Patent 3139509A. 1964.
- [18] Couch R., Dean R. Plasma arc torch having liquid laminar flow jet for arc constriction. US Patent 3641308A 1972.
- [19] Brzozowski W., Mikoś M., Reda J., Wang R.: Palniki plazmowe do cięcia metali. w: Przegląd Spawalnictwa 1963 nr 10.
- [20] Czech J., Ozaist J.: Półautomat do cięcia plazmą typu ACa-500. w: Biuletyn Informacyjny Instytutu Spawalnictwa 1964 nr 22.
- [21] Szczeciński Z.: Kronika Instytutu Spawalnictwa z lat 1945-96. Wyd. Instytutu Spawalnictwa Gliwice 1998.
- [22] Boehm S. Der Elektronenstrahl als Werkzeug fuer die Fuegentechnik. DVS Berichte Band 299. DVS Media GmbH, Duesseldorf 2014.
- [23] Ardenne M. Bodo V. Device for producing filters. US Patent 2267714A. 1941.
- [24] Steigerwald K-H. Drilling by electrons. US Patent 2793281A. 1957.
- [25] McNeil I. (ed.) An Encyclopaedia of the History of Technology. Routledge 2002.
- [26] Lackner M. (ed.) Lasers in Chemistry vol.1. Wiley VCH Verlag GmbH, Weinheim 2008.
- [27] Hilton P. In the Beginning... (the History of Laser Cutting). w: Papers of 21st International Congress of Applications of Lasers and Electro-Optics. Scottsdale, Arizona 2002.
- [28] Hansson R. The Rise of Fiber Laser Cutting. w: Biuletyn f-my Salvagini 2011.
- [29] Chrobak G. TruDisk – nowoczesne lasery na ciele stałym do zastosowań spawalniczych. w: Spajanie 2011 nr 2.