

PRACA DOKTORSKA

WPLYW SKŁADU OCHRONNEJ ATMOSFERY
GAZOWEJ NA ILOŚĆ ROZPRYSKÓW I WŁAS-
NOŚCI MECHANICZNE ZŁĄCZ PRZY SPA-
WANIU STALI ELEKTRODĄ TOPLIWĄ

Andrzej Ambroziak

Publikacja nie zawiera nowego
rozwiązania zagadnienia technicznego
nadającego się do opatentowania.

RZECZNIK PATENTOWY

Mgr inż. Teodor Torosiewicz

2.08.77



Promotor:

Prof.dr hab.inż. Władysław Kaczmar

Wrocław, 1977 r

Nr 3644

mgr inż. Andrzej Ambroziak

Instytut

Technologii Budowy Maszyn

Politechniki Wrocławskiej

ul. Łukasiewicza 3/5

50-371 WROCŁAW

Słowa kluczowe: spawanie, rozprysk, mieszaniny gazów,
spoina, własności mechaniczne

Komunikat wpłynął; lipiec 1977 r

SPIS TREŚCI

	str
WSTĘP	4
1. GAZY OCHRONNE I ICH MIESZANINY STOSOWANE DO SPAWANIA STALI ELEKTRODA TOPLIWA	6
1.1. Argon	6
1.2. Dwutlenek węgla	9
1.3. Mieszanki gazów	9
1.3.1. Argon z dwutlenkiem węgla	9
1.3.2. Dwutlenek węgla z tlenem	10
1.3.3. Argon , dwutlenek węgla - tlen	11
2. PRZECHODZENIE METALU ELEKTRODOWEGO PRZEZ ŁUK SPAWAL- NICZY	12
3. STAN BADAŃ NAD ZJAWISKIEM ROZPRYSKU PRZY SPAWANIU STALI W OSŁONIE GAZÓW	21
3.1. Powstanie ^{wa} rozprysków	21
3.2. Rodzaje rozprysków metalu	27
3.3. Czynniki wpływające na intensywność rozprysku metal przy spawaniu w osłonie CO ₂	30
3.3.1. Właściwości elektryczne obwodu spawalniczego ...	30
3.3.2. Skład chemiczny drutu elektrodowego	32
3.3.3. Parametry procesu spawania	33
3.4. Sposoby zapobiegania rozpryskowi metalu	38
4. WŁASNOŚCI MECHANICZNE ZŁĄCZ SPAWANYCH W OSŁONIE CO ₂ I MIESZANIN GAZÓW	42
4.1. Wpływ gazu ochronnego na procesy zachodzące podczas spawania	42
4.2. Właściwości mechaniczne złączy spawanych w osłonie CO ₂ i mieszanin gazów	46

5. CEL I ZAKRES PRACY	49
6. METODYKA BADAŃ	51
7. BADANIA WSTEPNE	55
7.1. Wpływ indukcyjności źródła prądu na ilość powstających rozprysków	55
7.2. Wpływ długości wolnego końca elektrody na ilość rozprysków	57
7.3. Sprawdzenie dokładności sporządzania mieszanin gazów	60
7.4. Wpływ gazu ochronnego na geometrię napoin	63
7.5. Wydajność stapiania drutu elektrodowego w zależ- ności od składu gazu ochronnego	70
8. WPŁYW SKŁADU GAZU OCHRONNEGO NA ILOŚĆ POWSTAJACYCH ROZPRYSKÓW	73
8.1. Wykonanie złączy spawanych	73
8.2. Wpływ składu atmosfery ochronnej na ilość roz- prysków powstających podczas spawania	76
8.2.1. Mieszanina $Ar+CO_2$	76
8.2.2. Mieszanina CO_2+O_2	85
8.2.3. Mieszanina trójskładnikowa $Ar+CO_2+O_2$	89
9. BADANIA PRZECHODZENIA METALU ELEKTRODOWEGO W ŁUKU..	94
10. WPŁYW SKŁADU GAZU OCHRONNEGO NA WŁASNOŚCI ZŁACZ SPAWANYCH	104
10.1. Sprawdzenie składu chemicznego i własności mechanicznych materiału rodzimego i drutów spawalniczych	104

10.2. Wykonanie złącz spawanych	108
10.3. Obserwacje wizualne złączy spawanych	113
10.4. Określenie własności mechanicznych złączy spawanych	116
10.5. Pomiary twardości	126
10.6. Badania metalograficzne materiału rodzimego i złączy spawanych	128
10.6.1. Badania makroskopowe	128
10.6.2. Badania mikroskopowe	132
10.7. Skład chemiczny spoin	137
10.8. Badania własności stopiwa, w zależności od składu gazu ochronnego	139
10.8.1. Określenie własności mechanicznych stopiwa..	139
10.8.2. Wtrącenia niemetaliczne w stopiwie	146
10.8.3. Analiza chemiczna stopiwa	146
11. ANALIZA WYNIKÓW	151
12. WNIOSKI	158
13. LITERATURA	160

WSTĘP

W ostatnich 15 - latach we wszystkich przemysłowo rozwiniętych krajach, proces spawania w osłonie dwutlenku węgla przeżywa intensywny rozwój. Dotychczas nie udało się opanować niezawodnego sterowania przepływem kropeł podczas spawania w osłonie samego CO_2 . Skutkiem tego, część kropeł metalu z topiącej się elektrody, nie trafia do jezioraka ciekłego metalu, lecz osadza się na materiale rodzimym obok spoiny, oraz w dyszy gazowej uchwytu spawalniczego. Oczyszczenie złączy spawanych z rozprysków jest jedną z najbardziej pracochłonnych operacji. W konstrukcjach wykonanych przez półautomatyczne lub automatyczne spawanie w osłonie CO_2 , a wymagających dokładnego oczyszczenia z rozprysków, przeznaczają się na usuwanie ich do 40 % czasu przeznaczonego na proces spawania [1].

Rozpryski w dyszy gazowej uchwytu spawalniczego są powodem zwarć między dyszą a rurką kontaktową, które wpływają na szybsze zużywanie się dyszy. Celem usunięcia rozprysków z dyszy gazowej spawacz musi 20 do 30 razy w ciągu zmiany przerywać proces spawania. Na tę pracochłonną operację traci on w czasie jednej zmiany roboczej około 50 minut [2]. Krople stali wyrzucone z przestrzeni łuku, oraz osadzone w dyszy gazowej powodują zakłócenia w laminarnym wypływie gazu ochronnego, przyczyniając się przez to do porowatości spoin. Rozpryski nie usunięte z blach stają się ośrodkami korozji, a wpadające do rowka spawalniczego mogą być przyczyną niepełnego przetopu, pęcherzy lub wtrąceń niemetalicznych.

Rozprysk należy traktować również jako główną przyczynę strat drutu elektrodowego. Tak więc rozprysk stali jest obecnie najważniejszym zagadnieniem przy spawaniu elektrodą topliwą w osłonie gazów [3] .

W Polsce w ostatnich latach zwiększyła się znacznie produkcja stali o podwyższonej wytrzymałości, przeznaczonych do budowy konstrukcji spawanych. Hutnictwo dostarcza coraz to nowe stale spawalne o gwarantowanych własnościach mechanicznych. Wobec powszechnego stosowania technologii spawania półautomatycznego w procesie wytwarzania konstrukcji, niezbędnym jest, aby własności mechaniczne wykonywanych złączy ze stali spawalnych o podwyższonej wytrzymałości, dorównywały co najmniej innym, bardziej pracochłonnym technologiom spawania. Można to uzyskać między innymi przez zmianę składu atmosfery ochronnej podczas spawania.

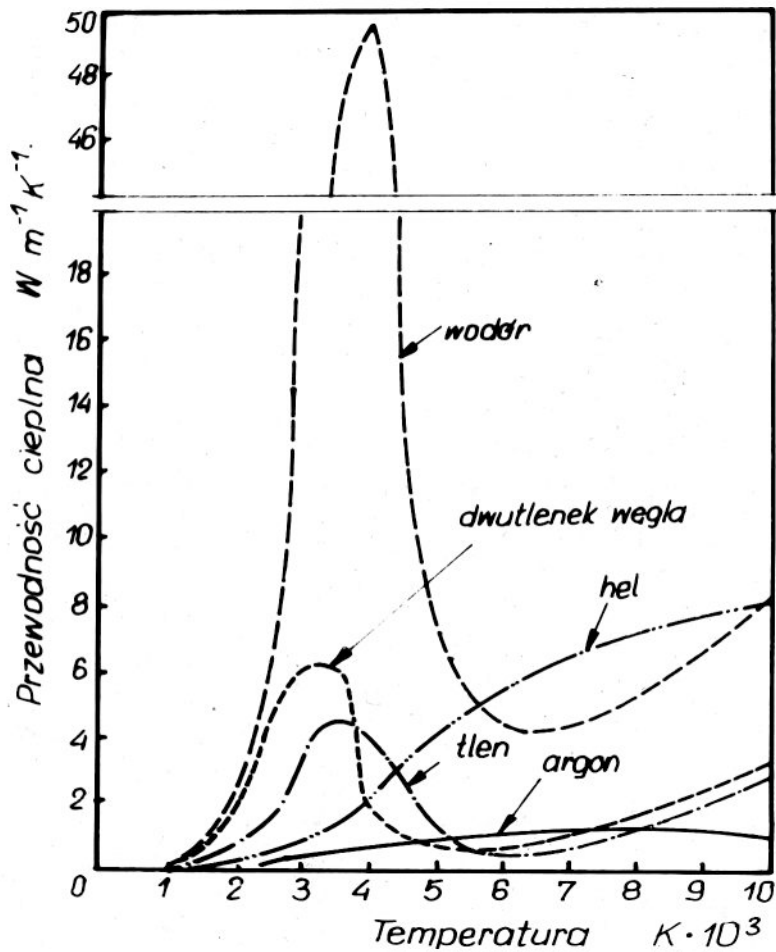
1. GAZY OCHRONNE I ICH MIESZANINY STOSOWANE DO SPAWANIA STALI ELEKTRODĄ TOPLIwą

1.1. Argon

Argon posiada względnie niską przewodność cieplną /rys.1/. Silny radialny spadek temperatury powoduje wytworzenie łuku z długotrwałym jądrem plazmowym, zapewniającym stabilne jarzenie się łuku. Taki rozkład temperatur powoduje powstanie głębokiego wtopu w miejscu działania jądra, a na zewnątrz - szerokiego powierzchniowego wtopienia czyli tzw. „palcowego wtopu”.

Cechą charakterystyczną argonu jako gazu ochronnego jest to, że w słupie łuku jest niski spadek napięcia /ok.6 V/cm [5] /, skutkiem czego zmiany długości łuku mają niewielki wpływ na napięcie.

Sam argon nie jest w praktyce stosowany przy spawaniu stali węglowych, ponieważ łuk jarzący się w argonie ma tendencję do błędzenia po krawędziach próbek. Dlatego spawa się w mieszaninie gazowej z dodatkiem tlenu /1-5 %/ lub CO₂. Poza tym przez dodanie gazów aktywnych takich jak O₂ lub CO₂ obniża się napięcie powierzchniowe kropli metalu dzięki temu, że egzotermiczne reakcje utleniania Fe, Si i Mn podnoszą temperaturę przechodzącej kropli.



Rys.1 Zależność przewodności cieplnej gazów od temperatury [4]

Tabela 1

Własności fizyczne gazów osłaniających łuk elektryczny w procesach spawalniczych [6,7,8]

Rodzaj gazu	Masa atomowa-cząsteczk.	Gęstość przy 273K i 760 mm kg/m ³	Ciepło właściwe kJ/kg·K/	Lepkość dynamicz. przy 20°C 10 ⁻¹ Pa·s	Współczynnik przewodnictwa cieplnego W/ m·K /	Potencjał jonizacji eV
Argon /Ar/	39,94	1,7833	0,524	224,0	0,0163	15,7
Hel /He/	4,0024	0,17847	5,237	196,8	0,1401	24,6
Dwutlenek węgla CO ₂	44,01	1,977	0,845	148,0	0,0143	14,3
Tlen /O ₂ /	32,00	1,429	0,913	201,8	0,247	13,6
Powietrze suche	28,96	1,2047	1,006	180,8	0,0249	-

1.2. Dwutlenek węgla

Powszechne zastosowanie dwutlenku węgla jako gazu ochronnego do spawania nastąpiło przed przeszło 25 laty, pomimo iż badania nad możliwością takiego rozwiązania prowadzone były znacznie wcześniej [9]. Zaletą CO_2 jest jego niski koszt i łatwość dostępu. Natomiast podstawowe wady spawania w osłonie CO_2 to:

- rozprysk metalu
- konieczność intensywnego odtleniania jeziora spawalniczego
- tendencja do głębokiego, wąskiego przetopu przy wysokich natężeniach prądu, co sprzyja gorącym pęknięciom
- nierówny zewnętrzny wygląd spoiny, wysoki nadlew lica.

1.3. Mieszanki gazów

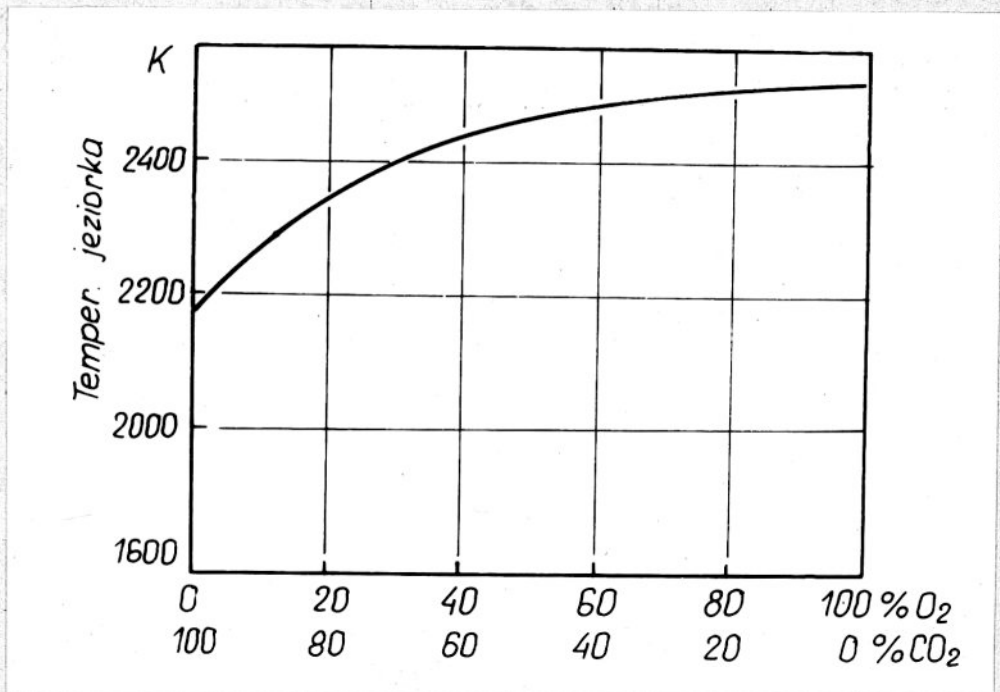
1.3.1. Argon z dwutlenkiem węgla

Dodanie dwutlenku węgla do Ar w ilości powyżej 12% powoduje zmianę własności plazmy w skupie łuku wskutek dysocjacji i zjawiska rekombinacji. Przewodność cieplna zwiększa się, a promieniowy spadek temperatury na przekroju łuku jest znacznie mniejszy. Ulega zmianie kształt wtopienia, tak iż zanika niekorzystny „palcowy” wtop.

Według badań [10, 11 i innych] wynika, że najkorzystniejsze efekty dają mieszanki zawierające 75% - 80% Ar i 25% - 20% CO_2 .

1.3.2. Dwutlenek węgla z tlenem

Stosowane do spawania mieszanki $\text{CO}_2 + \text{O}_2$ zawierają zwykle 20 - 40 % tlenu. Dodatek tlenu do osłony gazowej intensyfikuje przebieg egzotermicznych reakcji w łuku, powodując zwiększenie temperatury jeziora spawalniczego /rys.2/ i głębszy przetop.



Rys.2 Wpływ zawartości tlenu w mieszaninie $\text{CO}_2 + \text{O}_2$ na temperaturę jeziora spawalniczego [5].

Głębszy przetop, w porównaniu do spawania w osłonie dwutlenku węgla, jest wywołany także przez większe wypalanie krzemu.

Zmniejszenie bowiem jego ilości w stopiwie powoduje większą rzadkopląnność metalu, a przez to łuk spawalniczy może łatwiej odsunąć ciekły metal [5].

W Japonii spawanie w mieszaninie $\text{CO}_2 + \text{O}_2$ /tzw. metoda CS/ ma duże znaczenie przemysłowe. W celu zmniejszenia wypalania się składników stopowych stosuje się specjalne druty o zawartości manganu nawet do 2,2% [5, 12].

1.3.3. Argon - dwutlenek węgla - tlen

Stosowane w spawalnictwie mieszaniny trójskładnikowe zawierają do 7% tlenu i do 25% CO_2 [5, 11]. Zapewniają one stabilne jarzenie się łuku i korzystny kształt wtopienia.

Koszt ich wytwarzania jest często niższy niż mieszaniny dwuskładnikowej $\text{Ar} + \text{CO}_2$, gdyż można stosować argon o mniejszym stopniu czystości [13].

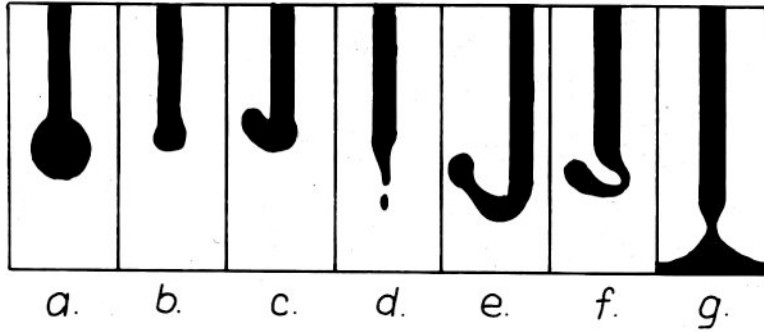
2. PRZECHODZENIE METALU ELEKTRODOWEGO PRZEZ ŁUK SPAWALNICZY

Przechodzenie materiału elektrody topliwiej podczas spawania jest dla oka nieuchwytnie, ponieważ odbywa się ze znaczną prędkością. Dlatego już od wielu lat badacze posługują się urządzeniami filmującymi, które pozwalają na obserwację tego przebiegu w tempie zwolnionym. Pomimo szybkiego rozwoju wiedzy o fizyce łuku, charakter przechodzenia metalu jest nadal przedmiotem coraz bardziej skomplikowanych badań, co potwierdzają na przykład eksperymenty prowadzone w przestrzeni kosmicznej [14].

Przechodzenie materiału przez łuk może mieć różnorodny charakter, zależny od wielu, w sposób złożony, powiązanych ze sobą czynników. Do najważniejszych należy zaliczyć [15]:

- ilość energii wprowadzanej do strefy łuku
- charakterystykę obwodu spawania /indukcyjność, pojemność, oporność itp/
- rodzaj osłony gazowej łuku
- własności fizyczne materiałów i osłony gazowej
- średnicę drutu elektrodowego
- długość wolnego wylotu elektrody
- parametry spawania.

Ten sam autor, opierając się na pracach [8, 16] rozróżnia siedem sposobów przechodzenia metalu elektrodowego w łuku spawalniczym/ rys.3/.



Rys. 3 Sposoby przechodzenia metalu elektrody przez łuk spawalniczy

- a - grubokropłowe, przy małych gęstościach prądu oddziaływania
- b - drobnokropłowe, wskutek sił elektrodynamicznych oraz strumieni plazm-owych
- c - drobnokropłowe z unoszeniem kropli do góry /spawanie z biegunowością ujemną na elektrodzie/
- d - natryskowe
- e - kropłowe, przy czym krople są połączone z elektrodą długą unoszącą się zagiętą szyjką /podczas spawania biegunowością ujemną/
- f - kropłowe, przy czym kropla jest umieszczona na długiej, ruchomej szyjce,
- g - kropłowe, przy czym krople są odrywane wskutek zwarć.

S.Kłosowski [17] na podstawie obserwacji procesu spawania uogólnił zagadnienie przechodzenia materiału w łuku spawalniczym i wyodrębnił przechodzenie grubokropliste, drobnokropliste-natryskowe, mieszane oraz przechodzenie w postaci ciągłej strugi.

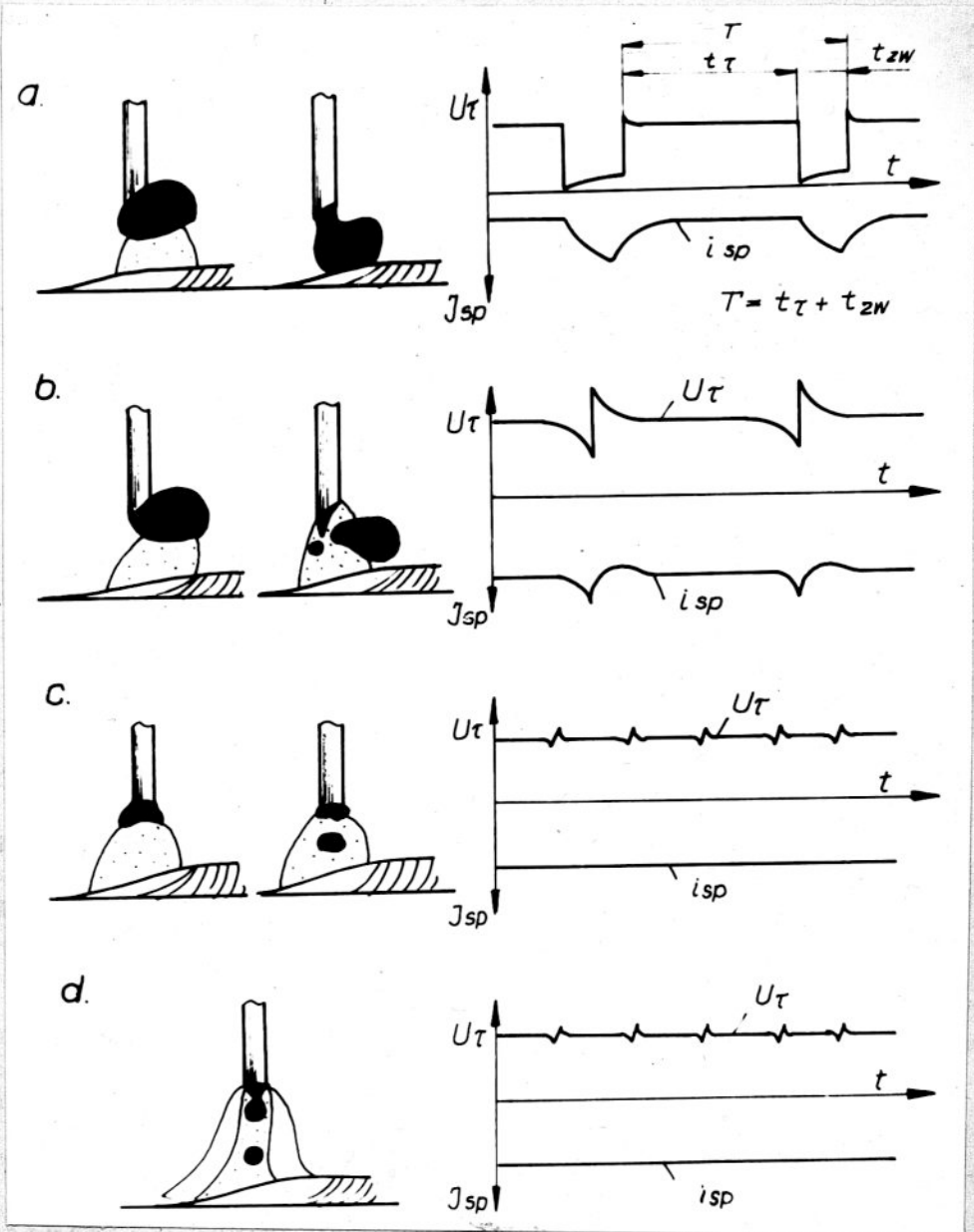
A.G. Potapjevskij [18,19] rozróżnia takie rodzaje przechodzenia metalu elektrodowego podczas spawania elektrodą topliwą w gazach ochronnych /rys.4 / jak:

- grubokroplowe ze zvarciami / $d_k > 1,5 d_e$ /
- grubokroplowe bez zvarc
- krople średniej wielkości bez zvarc / $d_k = 0,7-1,4 d_e$ /
- strumieniowe

Natomiast norma RFN wydana w roku 1970 /DIN 1910/ [20,21] wyodrębnia następujące typy łuku spawalniczego, a w powiązaniu z tym rodzaje przejścia materiału elektrodowego:

- łuk strumieniowy, przejście metalu drobnokroplowe bez zvarc,
- łuk długi, przejście metalu grubokroplowe ze zvarciami,
- łuk krótki, przejście metalu drobnokroplowe w czasie zvarc.

Wśród badaczy istnieją sprzeczne poglądy na to, czy możliwe jest podczas spawania w osłonie CO_2 , uzyskanie strumieniowego przechodzenia metalu elektrodowego. Jedni twierdzą, że jest ono już w zakresie parametrów prądowych stosowanych przez spawaczy [22], drudzy, że jest możliwe przy gęstości prądu $175-250 A/mm^2$ [23], a jeszcze inni, że strumieniowe przechodzenie metalu nie występuje [24].



Rys.4 Rodzaje przechodzenia metalu elektrodowego podczas spawania w gazach ochronnych [18]

- a - grubokropłowe ze zwarciami,
- b - grubokropłowe bez zwarć,
- c - krople o średniej wielkości, bez zwarć,
- d - strumieniowe

Spawanie łukiem krótkim charakteryzuje się przejściem kropel o małej średnicy w czasie zwarć. Napięcie łuku wynosi wtedy 17-20 V [22]. Jest to sposób spawania stosowany w pozycjach przymusowych, przy wykonywaniu warstw przetopowych, oraz podczas spawania blach cienkich.

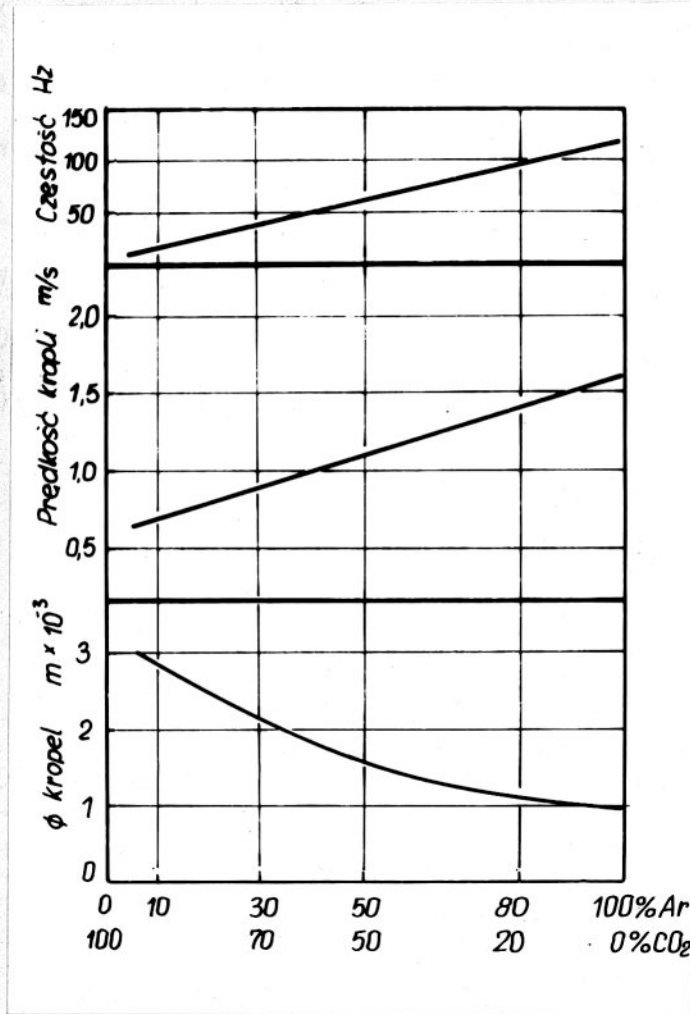
Z uwagi na małą wydajność stapiania, mimo małego rozprysku metalu, proces ten nie może być wykorzystany do spawania w pozycji podolnej blach o grubości większej od 4 mm.

Istnieje kilkanaście hipotez wyjaśniających przechodzenie metalu elektrodowego w łuku. Ich weryfikację zamieszczono w pracy [17].

Zgodnienie, które w ostatnich latach jest przedmiotem badań uczonych, to wyjaśnienie różnic w przechodzeniu kropel metalu w zależności od składu ochronnej atmosfery gazowej.

Przeprowadzone badania [25,26,27,28] wykazały, że stosując mieszanki argonu z dwutlenkiem węgla można wpływać na przeniesienie metalu elektrodowego od grubokropłowego ze zwarciami, charakterystycznego dla spawania w osłonie CO_2 , do drobnokropłowego /rys.5/.

Spawanie w mieszaninie $\text{CO}_2 + \text{Ar}$ wpływa na wymiar i częstość przechodzących kropel, a przy natężeniu prądu spawania 220A i napięciu łuku 30V, dla mieszaniny 50% Ar + 50% CO_2 , otrzymuje się strumieniowe przeniesienie metalu [26].



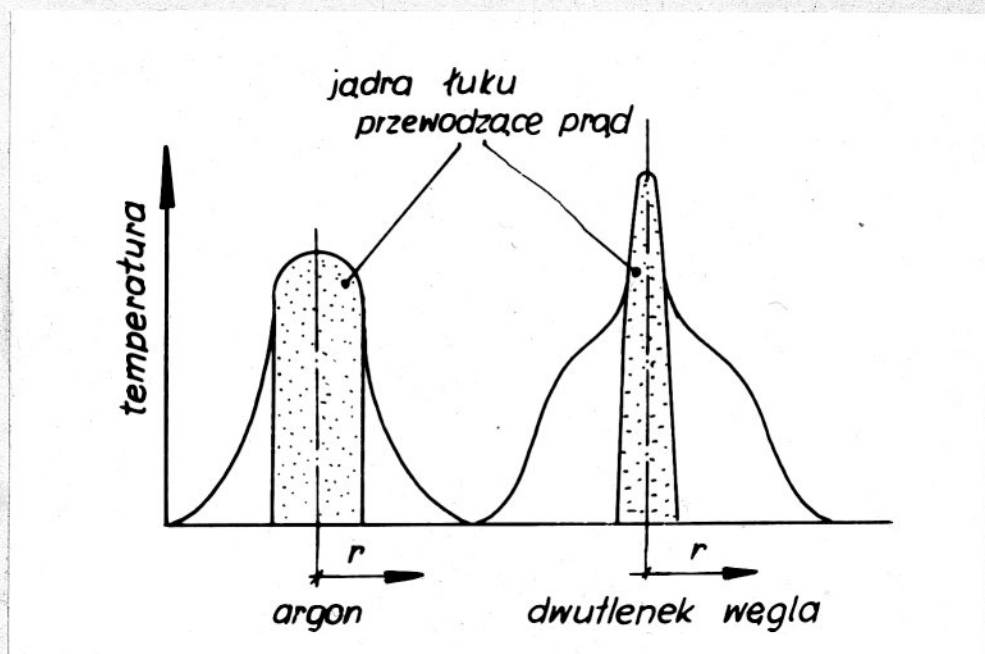
Rys.5 Wpływ składu gazu na przechodzenie metalu elektrodowego /250A, 35V, 1,2 mm [26].

Bardziej stabilne jarzenie się łuku w mieszaninie CO₂ + Ar w porównaniu do spawania w samym CO₂, autorzy tłumaczą obniżeniem się intensywności reakcji roztopionego metalu z tlenem, oraz podwyższeniem temperatury słupa łuku jarzącego się w atmosferze mniej przewodzącej ciepło [27].

Różnice w przewodności cieplnej gazów wydają się być powodem zmian w przechodzeniu kropeł metalu podczas spawania w osłonie CO_2 i w osłonie argonu.

Dwutlenek węgla w zakresie temperatur 2000–4000K ma wysoką termiczną przewodność z wartością maksymalną współczynnika przewodzenia ciepła około $6,0 \text{ W/m}\cdot\text{K}$ /rys.1/.

Termiczna przewodność argonu wynosi w tym obszarze temperaturowym tylko $0,5 - 1,0 \text{ W/m}\cdot\text{K}$. Wskutek różnej termicznej przewodności CO_2 i Ar różny jest wygląd słupa łuku /rys.6/



Rys.6 Schemat rozkładu temperatury i jądra przewodzącego prąd w łuku jarzącym się w argonie i w CO_2 [29]
 r - odległość od osi łuku

Z powodu wysokiej termicznej przewodności CO_2 słup plazmy jest tak silnie ściśnięty, że powstaje wąskie jądro łuku o wysokiej temperaturze i dużej gęstości prądu. Wysoka przewodność cieplna gazu wywołuje występowanie szerokiej strefy łuku. Podczas spawania w argonie wskutek małej przewodności cieplnej tworzy się szerokie jądro w porównaniu do CO_2 , z niższą temperaturą i małą gęstością prądu. Na końcach słupa łuku jarzącego się w argonie występują strome gradienty temperaturowe. Szerokie jądro przewodzące prąd w łuku zapewnia dużą powierzchnię styku z topiącą się elektrodą, czyli z kroplą metalu. Autor [29] stwierdza, że dodatkowe przyspieszenie kropeł metalu w łuku podczas spawania w Ar może być wynikiem większego oddziaływania siły Lorentza oraz efektu Pincha. Należy nadmienić, że wizualne obserwacje łuku spawalniczego dostarczają fałszywej informacji o jego kształcie ze względu na świecenie par metalu.

Badania mieszaniny gazów $78\% \text{Ar} + 20\% \text{CO}_2 + 2\% \text{O}_2$ [13] wykazały, że przechodzenie kropeł metalu jest podobne jak w mieszaninie $80\% \text{Ar} + 20\% \text{CO}_2$.

W pracy [30] badano wpływ dodatku tlenu do dwutlenku węgla na charakter przenoszenia metalu elektrodowego. Stwierdzono, że dodatek tlenu do CO_2 stabilizuje proces, zmniejsza rozmiar kropeł metalu elektrodowego, skutkiem czego przenoszenie metalu zmienia się na drobnokropłowe ze zvarciami lub bez zwarć, w zależności od parametrów spawania.

Przy zawartości w mieszaninie 20-30 % O_2 , przechodzenie metalu jest drobnokropłowe bez zwarć, w odróżnieniu od grubokropłowego, podczas spawania w osłonie CO_2 .

Autorzy wyjaśniają ten fakt tym, że tlen jest powierzchniowo aktywnym pierwiastkiem oraz zmniejsza napięcie powierzchniowe roztopionego metalu kropli. Przy tym zmniejsza się ich wymiar i zmniejsza ich przegrzenie.

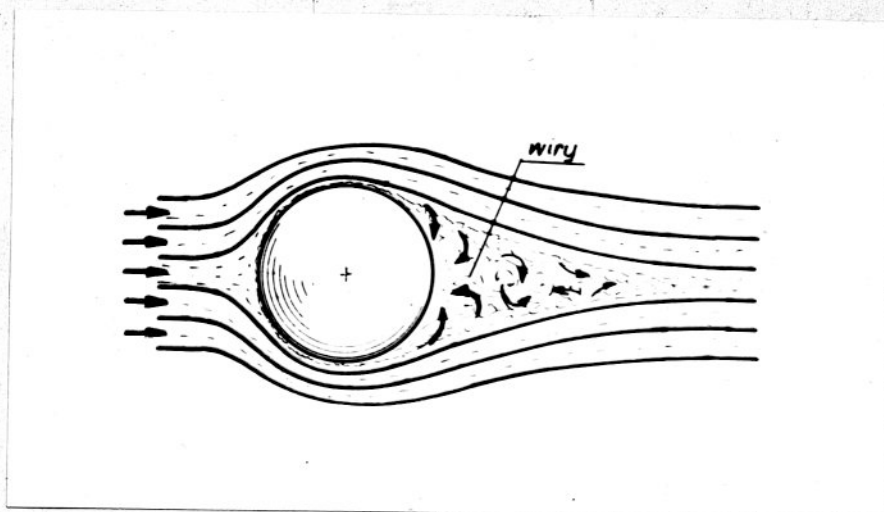
3. STAN BADAŃ NAD ZJAWISKIEM ROZPRYSKU PRZY SPAWANIU STALI W OSZONIE GAZÓW

3.1. Powstawanie rozprysków

Z powodu znacznej ilości czynników wpływających na powstawanie rozprysków, występują duże trudności eksperymentalne w udowodnieniu hipotez zmierzających do wyjaśnienia wpływu poszczególnych czynników na mechanizm powstawania rozprysków.

Spośród najczęściej wysuwanych hipotez należy wymienić: działanie strumienia plazmy, termoe eksplozję szyjki między kroplą a elektrodą oraz powstawanie CO.

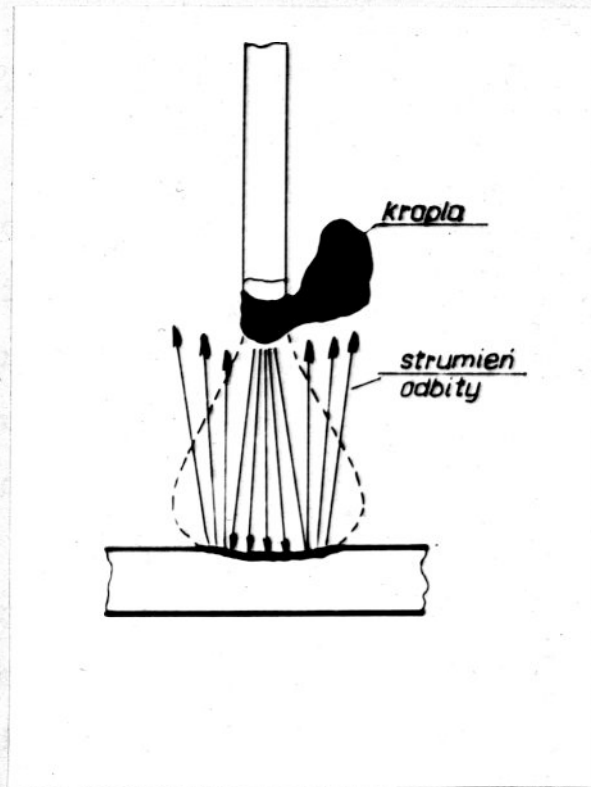
W latach 60 J.C.Needham [31] stwierdził, że strumień plazmy ma istotny wpływ na przenoszenie metalu. Wykonał on doświadczenie polegające na wrzuceniu cząstek kwarcu do przestrzeni łuku. Z analizy zdjęć filmowych wyciągnięto wniosek, że prędkość tych cząstek w łuku wynosi około 10 m/s. Cząstki kwarcu jako elektrycznie obojętne, nie związane z łukiem siłami elektrycznymi i magnetycznymi, osiągają taką prędkość tylko wskutek działania strumienia plazmy. Doświadczenie to dowodzi, że cząsteczki plazmy muszą osiągnąć prędkości znacznie większe niż 10m/s. Fotografije łuku spawalniczego potwierdzają, że pary metalu znajdują się przed poruszającą się kroplą /rys.7/



Rys.7 Schemat przenoszenia kropli przez strumień plazmy [31]

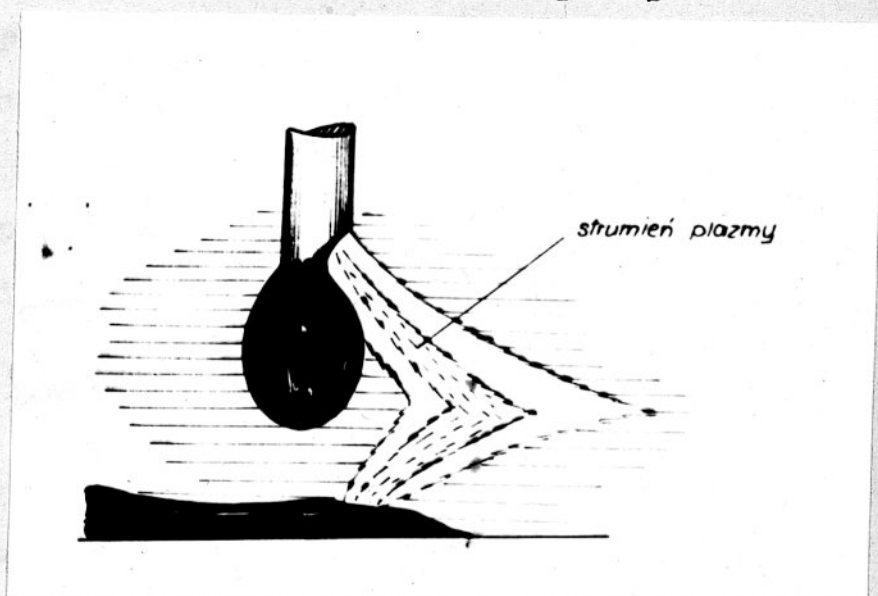
Świadczy to o decydującym działaniu strumienia plazmy w transporcie kropeł w łuku. Jeżeli przechodzenie kropli wywoływałby inny mechanizm, wtedy para ciągnęłaby się za kroplą jak „ogon komety”. L.F.Defize i P.C.van der Willigen [32] twierdzą natomiast, że „ogon komety” składający się głównie z par żelaza otacza całą kroplę, a fakt, że jest on widoczny z jednej strony, spowodowany jest skondensowaniem par wskutek obniżenia temperatury.

Strumień plazmy może odbijać się od przedmiotu a przez to oddziaływać na kroplę, która jeszcze nie oderwała się od elektrody /rys.8/.



Rys.8 Schemat unoszenia kropli tworzącej się na końcu elektrody przez strumienie plazmy odbite od jeziora spawalniczego [8]

W łuku może istnieć więcej strumieni plazmowych wzajemnie oddziaływujących na siebie /rys.9/ [8,33]



Rys.9 Strumienie plazmowe oddziaływujące na siebie [8]

Podczas spawania w osłonie argonu /rys.6/ strumień plazmy otacza całkowicie koniec elektrody i działa ssąco na kroplę. Natomiast podczas spawania w osłonie dwutlenku węgla plazma nie otacza kropli /wąski słup plazmy/.

S.Z.Smarzyński [34] stwierdził, że strumień plazmy działający od elektrody prętowej, niezależnie od biegunowości, jest podstawową siłą, która powoduje przenoszenie stopionego metalu do jeziora spawalniczego. Podczas spawania w osłonie CO_2 dominuje strumień katodowy działający od materiału spawanego, który powoduje wyrzucenie stopionych cząstek poza strefę jeziora spawalniczego. W czasie spawania w osłonie CO_2 na końcu elektrody obserwuje się ciągły ruch kropli metalu. Niektórzy uważają, że jest to wynikiem błędzenia łuku, który powoduje przemieszczenie się kropli w stosunku do elektrody [35,36].

Pod wpływem sił zerwania szyjki ciekłego metalu oraz siły ciężkości, przyłożonych w różnych punktach, kropla obraca się po oderwaniu od elektrody i jest podrzucana do góry. Wtedy kropla może trafić w strefę strumienia odbitego, który wyrzuca ją z przestrzeni łuku.

Natomiast I.I.Zaruba [37] twierdzi, że przyczyną takiego ruchu kropli jest wewnętrzna cyrkulacja cieplna w ciekłym metalu, gdyż ruch kropli widoczny na zdjęciach filmowych obserwuje się nie tylko podczas jarzenia się łuku, ale i po jego wygaszeniu. Niektórzy badacze sugerują, że przyczyną zatrzymania kropli przy elektrodzie jest wzrost objętości gazu w strefie łuku, spowodowany dysocjacją CO_2 [10].

Hipotezy te wydają się mało przekonujące, gdyż zdjęcia filmowe z przenoszenia metalu podczas spawania w mieszaninie $CO + O_2$, w której nie zachodzi wzrost objętości wywołany dysocjacją dwutlenku węgla, nie wykazały wyraźnych różnic w porównaniu ze spawaniem w osłonie CO_2 .

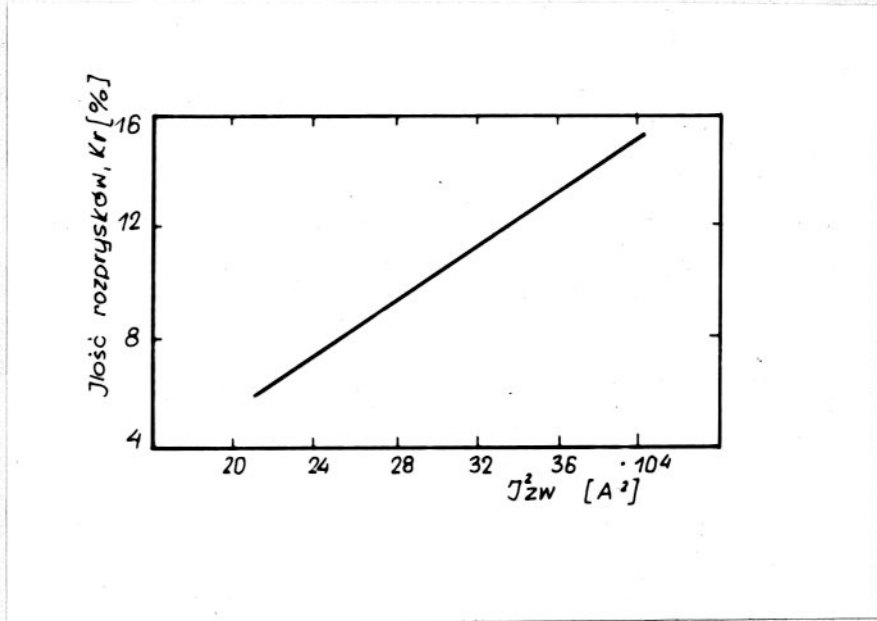
Wielu autorów tłumaczy powstawanie rozprysków w oparciu o teorię pustych kropeł na skutek wytwarzania CO /tzw. teoria Lapidusa/ [38,39]. Ważkim argumentem tej hipotezy jest fakt, że w czasie topienia się elektrody, w kropli powstaje jeden, względnie wiele pęcherzyków wypełnionych CO , oraz wzrost rozprysku metalu wraz ze zwiększeniem intensywności przebiegu reakcji metalurgicznych.

W wielu publikacjach rozpatrywane jest zagadnienie wpływu parametrów natężenia prądu zwarcia /prędkości narastania i opadania prądu, wartości prądu i czasu zwarcia/ na intensywność rozprysku [37,41,42,43 i inni].

V.K.Lebedjev i N.F.Medvedjenko określili funkcję rozkładu natężenia prądu w czasie zwarć, średni czas zwarcia i liczbę zwarć podczas spawania prądem stałym. Zależność wielkości rozprysku K_r od natężenia prądu zwarcia I_{zw} przedstawiono na rys.10. Ponieważ kwadrat wartości natężenia prądu określa w sposób liniowy wartość siły elektrodynamicznej, zatem rozprysk metalu podczas zwarciovego spawania w osłonie CO_2 zależy od wielkości sił elektrodynamicznych.

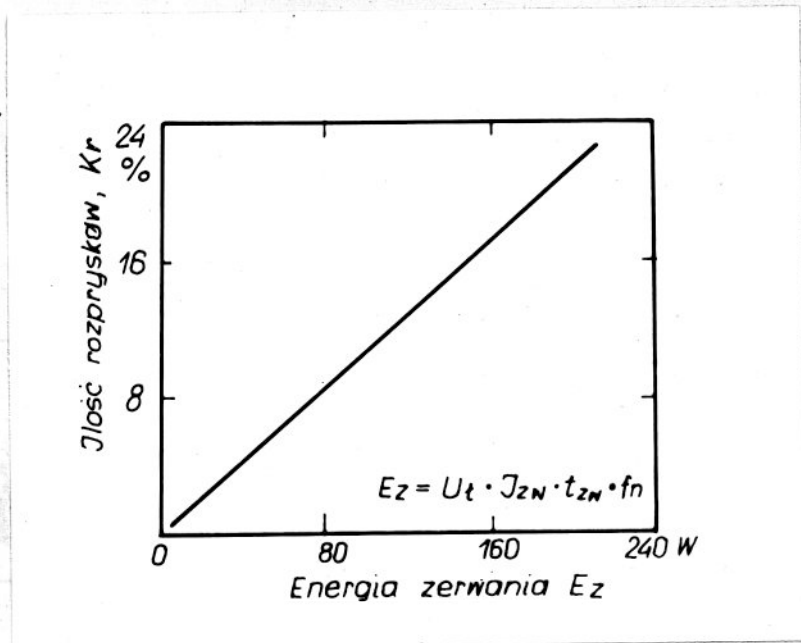
Inną hipotezę tłumaczącą zjawisko rozprysku metalu w czasie zwarć przedstawił I.I.Zaruba [44]. Twierdzi on, że siła elektrodynamiczna, podobnie jak i napięcie powierzchniowe,

sprzyjają jedynie powstawaniu rozprysków, ale nie są bezpośrednią przyczyną.



Rys.10 Zależność ilości rozprysków od wartości kwadratu natężenia prądu zwarcia [42]

W specjalnie zbudowanym urządzeniu wywołano szczególnie duże siły elektrodynamiczne /natężenie prądu 300A/, a rozprysku metalu jednak nie zauważono. Autor podaje, że duża ilość ciepła wydzielająca się w szyjce ciekłego metalu podczas zwarcia, wskutek dużej gęstości prądu, wystarcza do jej wyparowania. Zerwanie szyjki ciekłego metalu wskutek gwałtownego parowania, powoduje powstanie fali uderzeniowej, której działanie przewyższa kilkakrotnie siłę elektrodynamiczną. Rozprysk metalu zależy więc w sposób liniowy od energii zerwania szyjki ciekłego metalu /rys.11/ [44] .



Rys.11 Wpływ energii występującej w czasie zwarcia na ilość rozprysków

E_z - energia zerwania przewężenia

U_t - napięcie łuku

I_{zv} - natężenie prądu zwarcia

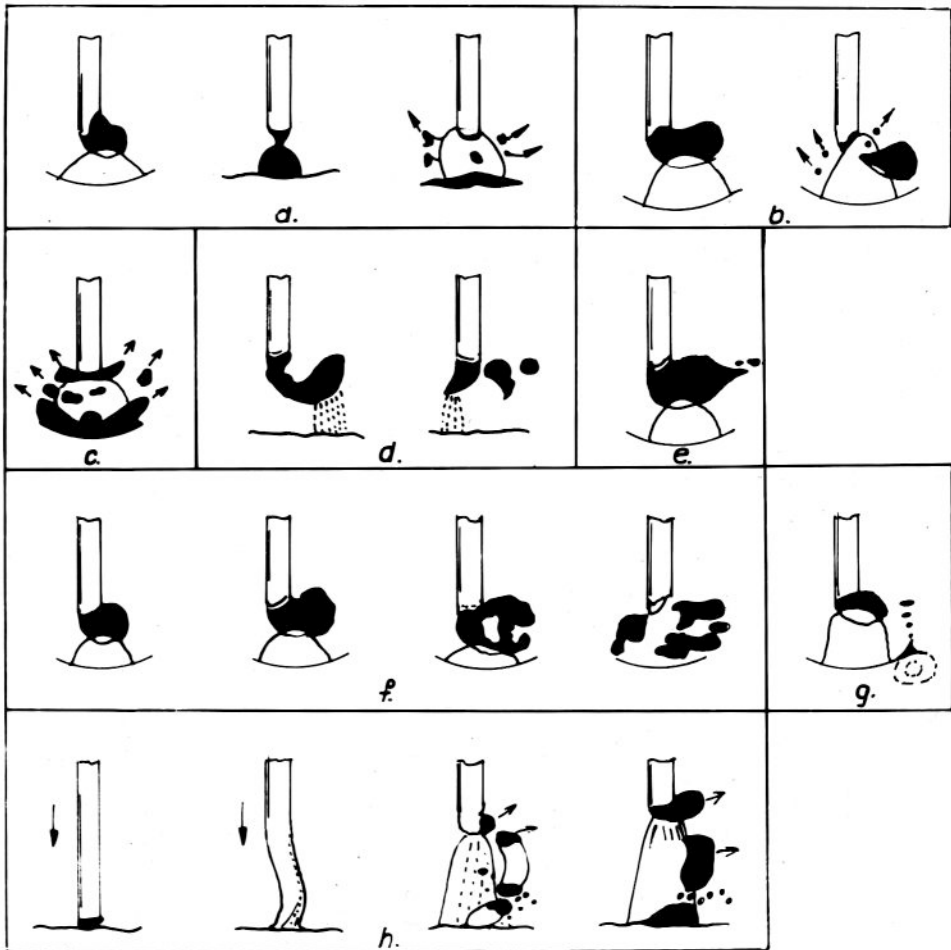
t_{zv} - czas zwarcia

f_n - częstotliwość zwarć.

Również L.F. Defize i van der Willigen [32] zwrócili uwagę na to, że eksplozje wywołane przegrzaniem metalu w czasie zrywania szyski mogą być przyczyną rozprysku.

3.2. Rodzaje rozprysków metalu

W oparciu o dotychczas przeprowadzone analizy nad powstawaniem rozprysków podczas spawania w osłonie gazów ochronnych, na rys.12 przedstawiono podstawowe postacie rozprysków [18,45,46 i inni] .



Rys.12 Rodzaje rozprysków powstających podczas spawania w osłonie gazów ochronnych

- a,b - wyrzucenie drobnych kropli podczas zerwania szyjki ciekłego metalu przy zwarciovym i bez-zwarciovym przechodzeniu kropli,
c,g - rozpryski wyrzucane po wpadnięciu kropli do jeziora spawalniczego,
d - wyrzucanie dużych kropli z przestrzeni łuku
e - wyrzucanie małych rozprysków z kropli metalu
f - rozrywanie dużych kropli na elektrodzie
h - wyrzucanie nadtopionej części elektrody

Wyrzucanie drobnych kropeł przy zrywaniu szyski ciekłego metalu między elektrodą a kroplą, obserwuje się zarówno podczas zwarciovego jak i bezzwarciovego przechodzenia kropeł /rys.12a,b/. Powstające rozpryski mają średnicę 0,05-1,0 mm. Straty spoiwa spowodowane przez ten rodzaj rozprysków nie są mniejsze niż 1-3 %. Przyczyną rozprysku jest powstawanie fali uderzeniowej w czasie zrywania szyski i dynamicznym uderzeniu strumienia plazmy przy zejściu łuku [19] .

Wraz ze zwiększeniem zawartości węgla w drucie elektrodowym zwiększa się ilość tego rodzaju rozprysków wskutek wydzielenia się tlenu węgla.

Wyrzucanie z przestrzeni łuku dużych kropeł przy odrywaniu się ich od elektrody /rys.12d/ jest jednym z podstawowych rodzajów rozprysków podczas spawania w osłonie CO₂.A.G. Potapjevskij podaje, że w czasie spawania drutem elektrodowym o średnicy 2 mm, 7-15 % kropeł nie wpada z tego powodu do jeziora, przekształcając się w rozpryski.

Wyrzucenie dużych kropeł przez siły zrywające szyskę podczas spawania zwarciovego obserwuje się tylko przy zasilaniu łuku ze źródeł z bardzo wysokimi szybkościami narastania prądu zwarcia. Wyrzucanie małych rozprysków wskutek rozrywania dużych kropeł na elektrodzie /rys.12 e,f/ występuje przy impulsowym wydzieleniu się CO z kropeł. Przyczyną tego zjawiska jest spawanie łukiem o podwyższonym napięciu, zwiększającym intensywność reakcji metalurgicznych w czasie przebywania kropli na elektrodzie, lub spawanie skorodowanym, zatłuszczonym drutem z dużą zawartością węgla i niedostateczną ilością odtleniaczy.

Badania przeprowadzone przy pomocy zdjęć filmowych wykazały, że z miejsca, do którego wpada kropla ciekłego metalu, mogą zostać wyrzucone drobne rozpryski /rys.12 c,g/. Jest to również spowodowane powiększeniem się intensywności przebiegu reakcji metalurgicznych.

Wyrzucanie nadtopionej części elektrody /rys.12 h/ następuje najczęściej wtedy, gdy w procesie spawania występuje zwieranie drutu z materiałem spawanym.

W praktyce obserwuje się zwykle występowanie jednocześnie kilku rodzajów rozprysków. Przy zmianie parametrów i warunków spawania zmieniają się rodzaje rozprysków i ogólne straty drutu elektrodowego.

3.3. Czynniki wpływające na intensywność rozprysku metalu przy spawaniu w osłonie CO₂

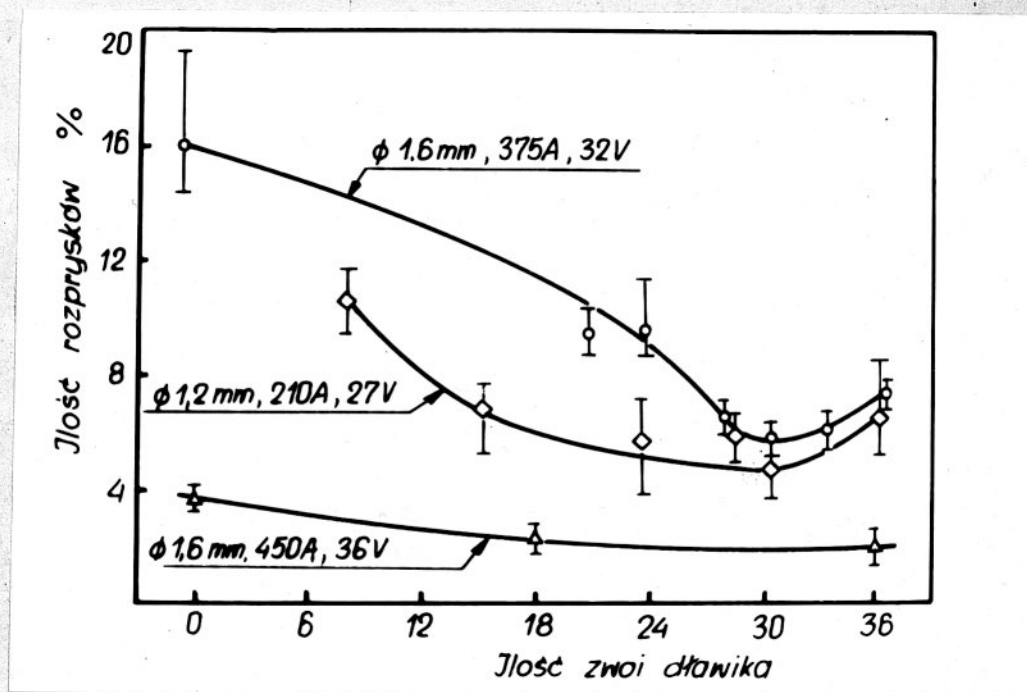
3.3.1. Własności elektryczne obwodu spawalniczego

Pod własnościami obwodu spawalniczego rozumiemy napięcie stanu jałowego spawarki, prąd w czasie zwarć, oraz indukcyjność obwodu [47]. Wymienione grupy wielkości związane są ze sobą i z parametrami prądu spawania. Na rys.10 przytoczono zależności wielkości rozprysku metalu od natężenia prądu zwarcia.

Natomiast wpływ indukcyjności w obwodzie spawania sprowadza się ogólnie biorąc do : [15]

- obniżenia wartości prądu zwarcia
- zmniejszenia szybkości ^{ra} nastania zwarcia
- zmniejszenia częstotliwości zwarc.

Praktycznie optymalne warunki spawania /w tym minimalny rozprysk metalu/ można wyznaczyć na podstawie oscylogramów prądów i napięć spawania. Zależą one od indukcyjności obwodu spawalniczego, a zatem od reakcji dynamicznej źródła zasilania lub ilości zwojów cewki indukcyjnej. Ogólnie wartość indukcyjności powinna wzrastać ze zwiększeniem się średnicy drutu elektrodowego. Przykładowy wpływ indukcyjności na ilość rozprysków pokazano na rys.13.



Rys.13 Wpływ indukcyjności obwodu spawalniczego na ilość powstających rozprysków [48] .

3.3.2. Skład chemiczny drutu elektrodowego

Wpływ składu chemicznego drutu elektrodowego na ilość powstających rozprysków podczas spawania w osłonie CO_2 został szczegółowo zbadany przez R.Rrobsta [49,50]. Węgiel w drucie elektrodowym powiększa rozprysk metalu, przy czym jest to najbardziej zauważalne, przy stosowaniu wysokich napięć łuku. Autor twierdzi, że przyczyną wzrastającego rozprysku metalu jest intensyfikacja powstawania CO w wyniku łączenia węgla z tlenem. Podobne wyjaśnienie podaje A.M.Popkov [38]. Zwiększenie zawartości węgla zmniejsza ponadto lepkość i napięcie powierzchniowe ciekłego metalu, co może dodatkowo sprzyjać powstawaniu rozprysków [24].

Druty spawalnicze zawierają jako odtleniacze głównie krzem i mangan. R.Rrobst stwierdził, że wzrost zawartości krzemu w drucie zmniejsza intensywność rozprysku, a zwiększenie ilości manganu - powoduje wzrost rozprysku metalu. Aluminium, pomimo wysokiego powinowactwa do tlenu nie jest stosowane jako odtleniacz z powodu wzrostu ilości rozprysków [50] oraz pogorszenia własności mechanicznych złącz [51].

Tytan jest silnym odtleniaczem, a ponadto polepsza stabilność jarzenia się łuku. Przy spawaniu drutami zawierającymi jako odtleniacze tytan i aluminium, uzyskuje się stabilny łuk i mały rozprysk metalu /2 do 6%/, podczas gdy spawanie drutem odtlenionym tylko przy pomocy aluminium daje rozprysk do 12 % [50,52].

Dodanie cyrkonu do drutu spawalniczego powoduje powstanie na powierzchni kropel trudno topliwej błonki, która utrudnia przywieranie rozprysków do blach [53]. Ilość powstających rozprysków nie ulega jednak zmniejszeniu.

Od szeregu lat podejmuje się w laboratoriach próby wprowadzenia do drutu pierwiastków poprawiających stabilność jarzenia się łuku. Jedną z metod jest powlekanie drutów elektrodowych cienką warstwą aktywizatorów /sole cezu i sodu/, co umożliwia strumieniowe, stabilne przechodzenie metalu elektrodowego [54,55].

3.3.3. Parametry procesu spawania

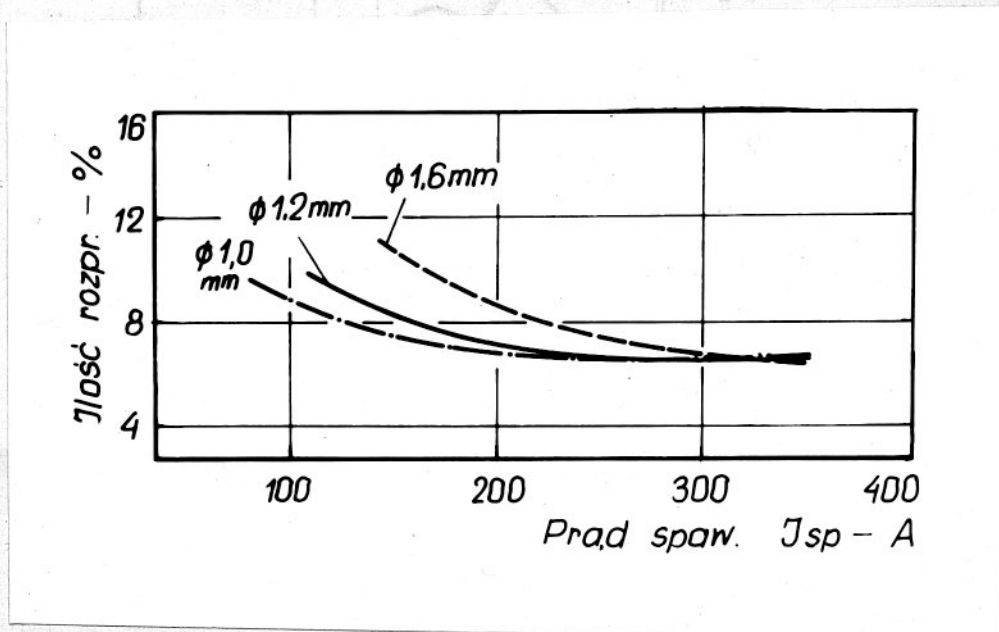
Według R. Rrobsta [50] podczas spawania w osłonie CO_2 wzrost napięcia łuku zwiększa ilość powstających rozprysków. Wywołane jest to zmianą długości łuku, wskutek czego krople metalu są większe, dłuższy jest czas jarzenia się łuku między kolejnymi zvarciami, a reakcje metalurgiczne w stadium tworzenia się kropli zachodzą bardziej intensywnie.

W przeciwieństwie do napięcia łuku, natężenie prądu i prędkość spawania zdaniem tegoż autora, wywołują względnie małą różnicę w ilości powstających rozprysków metalu.

Intensywniejszy rozprysk metalu przy zwiększaniu się napięcia łuku tłumaczy A.M Popkov również zmianą intensywności powstawania CO. Zmniejszenie napięcia łuku podczas spawania zwiększa częstość przechodzenia kropli metalu w łuku, a przez to zmniejsza wypalanie węgla [52].

Natomiast badania przeprowadzone przez A.Krahla [56] nie wykazały wpływu napięcia łuku na intensywność rozprysku metalu podczas spawania w osłonie CO_2 , przy zachowaniu stałych pozostałych parametrów.

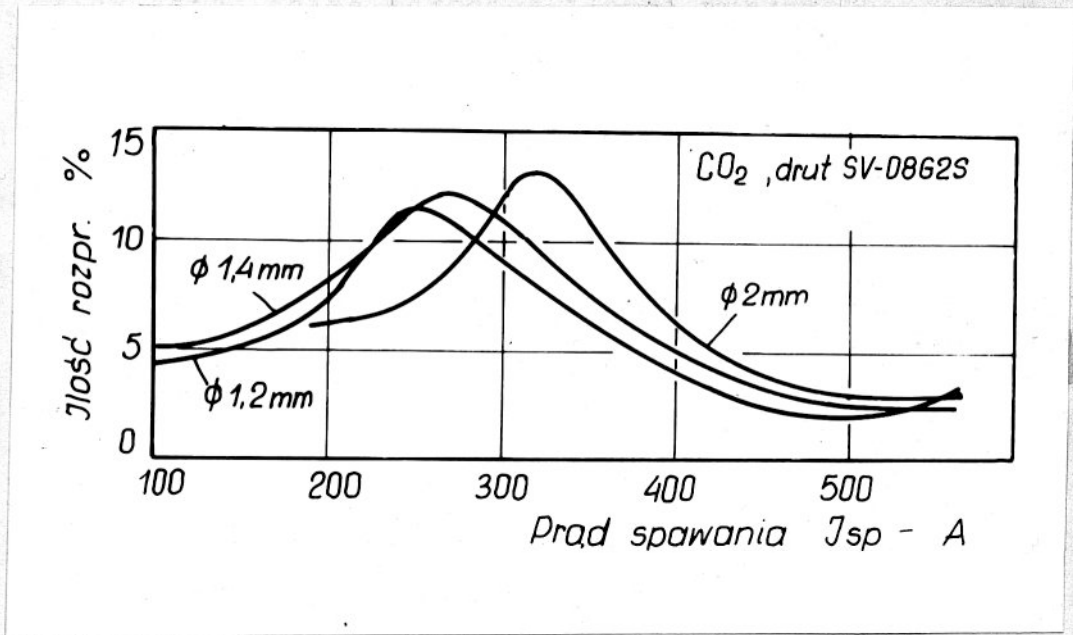
Zależność strat drutu elektrodowego na rozprysk i wyparowanie od natężenia prądu spawania przedstawiono na rys.14.



Rys.14 Zależność strat drutu elektrodowego na rozpryski od prądu spawania wg [57] .

Przy prądzie spawania do 250A ilość rozprysków zależy od średnicy drutu elektrodowego. Według V.V. Spicyna natężenie prądu spawania wyższe od 250A powoduje zmniejszenie rozmiaru kropeł i polepszenie stabilności jarzenia się łuku, a przez to ilość powstających rozprysków nie zależy od średnicy drutu elektrodowego [57] .

Natomiast A.G.Potapjevskij podaje następującą zależność ilości powstających rozprysków od natężenia prądu spawania [18] /rys.15/



Rys.15 Wpływ natężenia prądu spawania na ilość powstających rozprysków wg [18]

Dla uzyskania stabilnego przechodzenia metalu elektrodowego, proces spawania należy prowadzić z pominięciem średnich wartości natężenia prądu spawania.

Autor wyjaśnia, że przy średnich wartościach natężenia prądu /220-300A dla drutu o średnicy 1,2 mm/ i podwyższonym napięciu łuku, krople przechodzą do jeziora bez zwarć, ale towarzyszą temu duże zmiany długości łuku, oraz błędne łuku.

Prowadzenie procesu spawania przy wyższych natężeniach prądu powoduje zwiększenie wydzielania się energii w aktywnej płaszczyźnie anodowej na kropli i zmniejsza błędzenie łuku [18,35]

Stwierdzono, że ze wzrostem ilości wpływającego dwutlenku węgla maleje rozprysk metalu, co przypisuje się zmniejszeniu wypalania węgla w kropli metalu [52].

Wraz ze wzrostem prędkości spawania obserwuje się nasilenie intensywności rozprysku metalu [50,52,58].

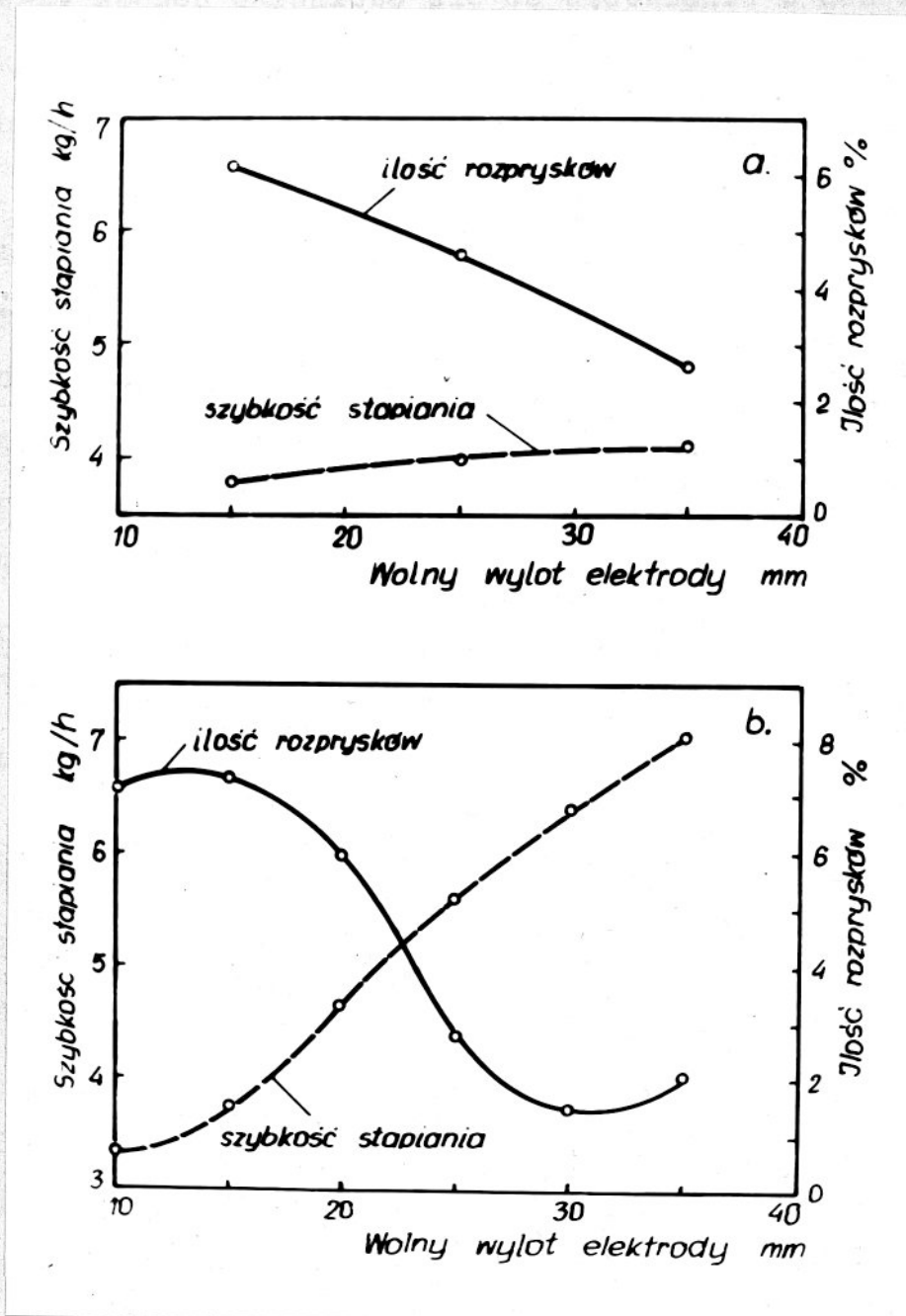
Intensywność rozprysku metalu zależy również od długości wylotu końca elektrody tj. długości swobodnego końca elektrody mierzonej od rurki kontaktowej.

Na rys.16 pokazano zależność ilości rozprysków od długości wolnego wylotu elektrody przy stałym natężeniu prądu spawania, oraz przy stałej prędkości podawania drutu elektrodowego [59]. Rozprysk metalu w obydwu rozpatrywanych przypadkach uległ zmniejszeniu w porównaniu do spawania z normalnym wylotem elektrody.

Również G.R. Salter [13] stwierdził, że długość wolnego wylotu elektrody powyżej 25,4 mm zmniejsza o połowę ilość rozprysków osadzonych w dyszy uchwytu spawalniczego, w porównaniu do spawania z wylotem o długości 12,7 mm.

Jeżeli wolny wylot elektrody jest zbyt duży /ponad 50 mm/, to wzrasta ilość wydzielanego ciepła Joule'a powodując taki wzrost temperatury elektrody, że następuje niestabilny ruch końca elektrody i nadmierny rozprysk [18].

Podjekuje się jednak ostatnio próby spawania ze zwiększonym wylotem elektrody, dając dodatkowe prowadzenie drutu elektrodowego [60, 61 i inni] .



Rys.16 Ilość rozprysków oraz wydajność stapiania drutu elektrodowego w zależności od długości wolnego wylotu elektrody [59] .

a - stała prędkość podawania drutu

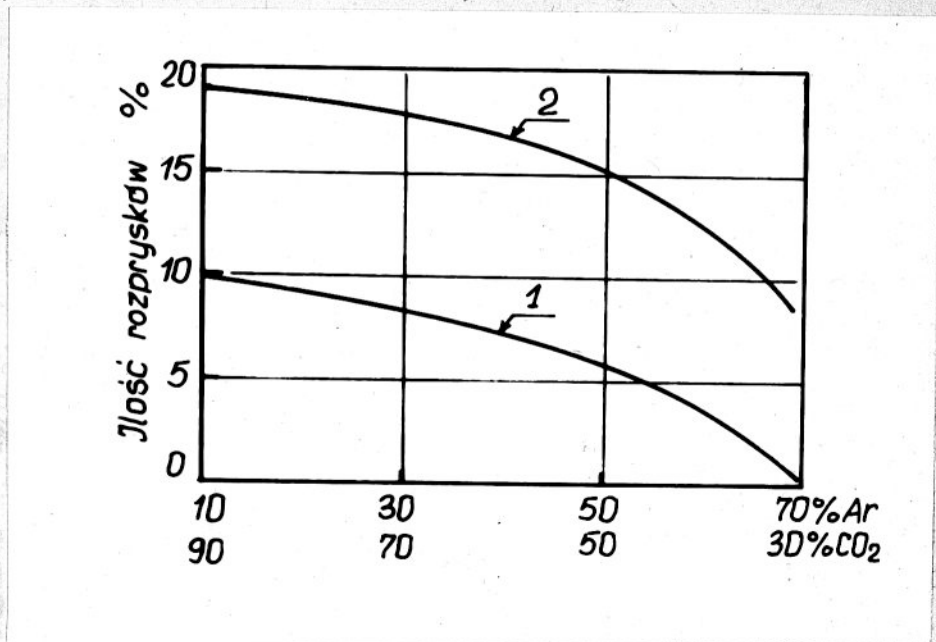
b - stała wartość natężenia prądu

3.4. Sposoby zapobiegania rozpryskowi metalu

Rozpryskowi metalu można zapobiegać w sposób dwojaki. Pierwszy sposób ogranicza się do ułatwienia w usuwaniu rozprysków. Osiąga się to przez wytworzenie na spawalnych blachach powłok ochronnych z olejów silikonowych, farb ochronnych oraz roztworów wodnych cukru lub kredy, które zapobiegają w znacznym stopniu przygrzewaniu się kropel ciekłego metalu do spawanych części [62,63,64 i inni] .

Czynności te wymagają jednak dodatkowego nakładu pracy na przygotowanie i nałożenie powłoki, pogarszają własności mechaniczne złącz, a także warunki zdrowotne podczas spawania [63,65,66] . Z tego względu, bardziej godne polecenia, są sposoby zmierzające do zmniejszenia ilości rozprysków, takie jak: stosowanie źródeł prądu o właściwej charakterystyce dynamicznej /p.3.3.1/, aktywizacja łuku elektrycznego /p.3.3.2/ oraz spawanie w mieszaninach gazów.

W ZSRR przeprowadzono badania nad wpływem dodatku argonu do dwutlenku węgla podczas spawania stali niskowęglowej [27] . Stwierdzono, że w odróżnieniu od procesu spawania w osłonie CO_2 , gdzie można praktycznie otrzymać jedynie dwa rodzaje przejścia krópeł /grubokropłowe podczas zwarć oraz drobno-kropłowe z niestabilnym jarzeniem się łuku/ podczas spawania w mieszaninie $Ar+CO_2$, zawierającej więcej niż 40 %Ar, możliwe jest otrzymanie strumieniowego przejścia materiału elektrodowego, charakteryzującego się znacznym zmniejszeniem ilości rozprysków /rys.17/ .

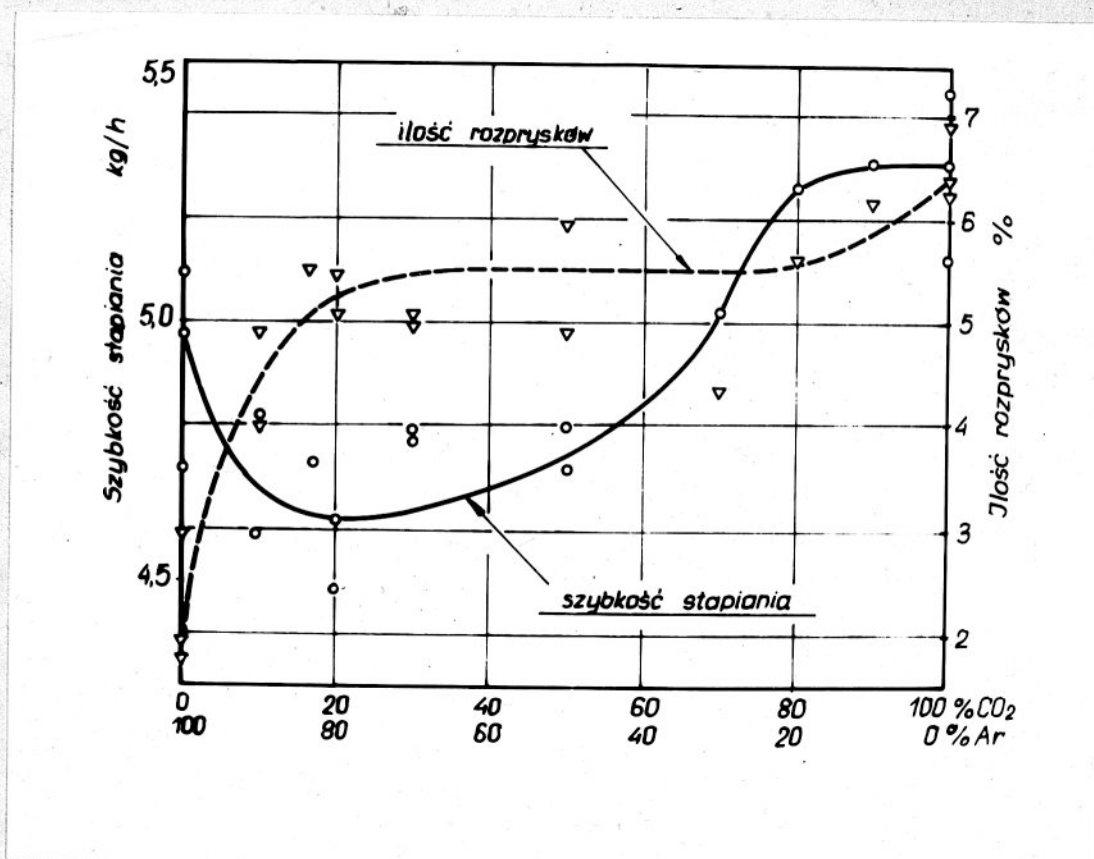


Rys.17 Zależność strat metalu elektrodowego na rozpryski od składu atmosfery ochronnej Ar+CO₂ [27]
 1-25V, 250A, śr.dr.1,0 mm
 2-35V, 250A

Autorzy, biorąc pod uwagę czynniki ekonomiczne twierdzą, że optymalną ochronną atmosferą gazową jest mieszanina 30-40 % Ar i 70 - 60 % CO₂.

B.H.Baker [10] przeprowadził badania nad spawaniem stali niskowęglowych w mieszaninach zawierających 75-85%Ar. Straty drutu elektrodowego na rozpryski dla przebadanych mieszanin gazowych ulegały niewielkim zmianom, ale były wyższe aniżeli podczas spawania w osłonie argonu z 2-5 % dodatkiem tlenu.

A.Krehl [56] podaje, że najmniejszy rozprysk metalu obserwuje się przy spawaniu w osłonie samego Ar. Dodatek do dwutlenku węgla argonu w ilości do 80 % nieznacznie zmniejsza tylko straty metalu na rozpryski /rys.18/



Rys.18 Zależność ilości powstających rozprysków od składu mieszanki Ar + CO₂ [56]

Obszerne badania nad wpływem składu ochronnej atmosfery gazowej na ilość rozprysków przeprowadzono w ostatnich latach w Centralnym Instytucie Spawalnictwa w Halle [67,68,69]. Ilościowa ocena rozprysku metalu, dokonana jednak tylko na podstawie układania napoin, wykazała, że największe korzyści

osiąga się przy mieszaninach zawierających dużo argonu, a mianowicie 80 % Ar + 20%CO₂ lub 75 %Ar + 22% CO₂ + 3 % O₂. W porównaniu do spawania w osłonie CO₂, zastosowanie do spawania mieszanin gazów daje możliwość osiągnięcia oszczędności w ciągu roku w NRD na robociźnie około 1,6 ml DM oraz 480 t drutu elektrodowego [69] .

Zastosowanie mieszaniny CO₂ + O₂ dla celów spawalniczych jest obecnie przedmiotem licznych artykułów w literaturze fachowej. Jedną z podstawowych zalet ma być zmniejszenie ilości rozprysków. Informacje na ten temat są jednak sprzeczne. W pracy [30] podano, że spawając w mieszaninie 70%CO₂+30%O₂ zmniejsza się rozprysk metalu o 40-45 %. Natomiast inni twierdzą [70], że rozpryski podczas spawania w mieszaninie CO₂+O₂ jedynie łatwiej się usuwają z powodu mniejszego przygrzania się ich do powierzchni blach.

Badania P.Scheibnera [69] nie wykazały wyraźnych korzyści w zmniejszeniu intensywności rozprysku metalu przez zastosowanie mieszaniny CO₂+O₂.

4. WŁASNOŚCI MECHANICZNE ZŁACZ SPAWANYCH W OSŁONIE CO₂ I MIESZANIN GAZÓW

4.1. Wpływ gazu ochronnego na procesy metalurgiczne zachodzące podczas spawania

Gaz ochronny z uwagi na swój charakter /obojętny lub aktywny/, wpływa na przebieg reakcji metalurgicznych. Z różnych źródeł wynika [9,71,72], że spawanie w osłonie CO₂ jest pod względem chemicznym równoważne spawaniu w mieszaninie 90 % Ar + 10 % O₂. Na tej podstawie A.A.Smith wyznaczył wskaźniki utleniania dla różnych mieszanin gazowych /tabela 2/

Tabela 2

Klasyfikacja gazów ochronnych, stosowanych w Wielkiej Brytanii przy spawaniu metodą MIG [72,73]

Gaz	Wskaźnik utlen.	Działanie nawęglające	Zastosowanie
1	2	3	4
Argon	0	nie	metale nieżelazne
Argon +1%O ₂	1	nie	stale austenityczne
Argon +2%O ₂	2	nie	stale ferrytyczne
Argon +5%O ₂	5	nie	stale ferrytyczne
Argon +5%O ₂ + 15%CO ₂	6,5	tak	stale niskostopowe, drobnoziarniste i w pewnych przypadkach stale austenityczne
Argon +20%CO ₂	2	tak	stale węglowe niskostopowe i w pewnych przypadkach stale ferrytyczne
CO ₂	10	tak	stale węglowe konstrukcyjne zwykłej jakości ferrytyczno-perlityczna

Skład chemiczny metalu spoiny, a zatem i własności mechaniczne, określić można na podstawie analizy drutu, jeżeli znamy współczynniki przejścia poszczególnych składników stopowych z drutu-elektrody do stopiwa.

A.A.Smith [71] podzielił pierwiastki ze względu na ich skłonność do utleniania, na „aktywne” i „pasywne”, a doświadczalnie stwierdzony odzysk pierwiastków /tabl.3/ jest zgodny ze spadkiem energii swobodnej powstawania tlenków .

Tabela 3

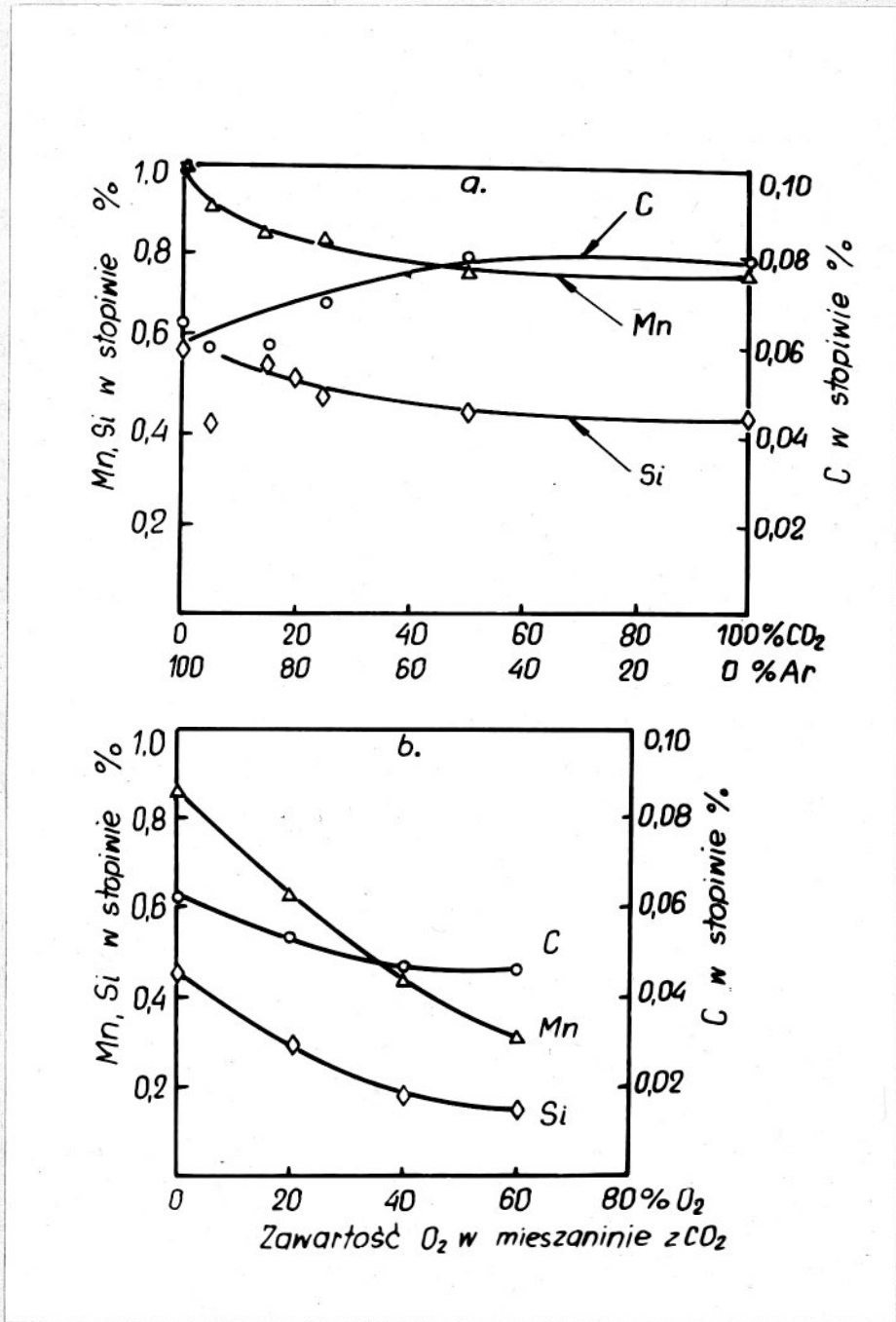
Przechodzenie składników stopowych z drutu elektrodowego do stopiwa przy spawaniu elektrodą topliwą w osłonie CO_2 [71, 9]

Składniki aktywne	C ^{1/}	Al	Zr	Ti	Si	V	Mn	Nb
odzysk %	50-235	30-40	30-40	40	50-70	60	60-75	60-70
Składniki pasywne	Cr	Mo	P	S	Ni	Cu		
odzysk %	90-95	95-100	100	100	95	95-100		

$$\text{odzysk \%} = \frac{\text{ilość składnika w stopiwie, w \%}}{\text{ilość składnika w drucie elektr., w \%}} \times 100$$

^{1/} W zależności od pierwotnej zawartości w drucie, występują albo straty węgla, albo jego zwiększenie.

Na rys.19 przedstawiono przejście węgla, manganu i krzemu do spoiny w zależności od składu ochronnej atmosfery gazowej $Ar+CO_2$ i CO_2+O_2 . Zauważalne zmniejszenie wypalenia Mn i Si obserwuje się w mieszaninach $Ar+CO_2$ zawierających powyżej 60 % Ar.



Rys.19 Wpływ składu mieszaniny gazowej na zawartość C, Mn i Si w stopiwie

a - Ar+CO₂, b - CO₂+O₂

Produkty reakcji utleniania muszą być usuwane ze spoiny dla zapewnienia jej odpowiednich własności plastycznych. Z tego powodu w drucie elektrodowym powinien być zachowany właściwy stosunek krzemu do manganu, żeby powstały nienasycone krzemiany $\text{SiO}_2\text{-MnO}$ łatwo ^ywpływające na powierzchnię jeziorka. Zagadnienie to było szczegółowo rozpatrywane w pracach S.H.Sekiguchi i J.Masumoto [12] .

L.F.Defize i P.C.van der Willigen [32] zwrócili uwagę na tworzenie się żużla wtórnego, który zostaje skoagulowany w metalu spoiny przy czym cząsteczki żużla wtórnego mają średnicę $10 \mu\text{m}$. Gdy metal ulega krzepnięciu, cząsteczki te są niekiedy popychane wzdłuż frontu krzepnięcia, stąd częste usytuowanie żużla wtórnego w rzędach.

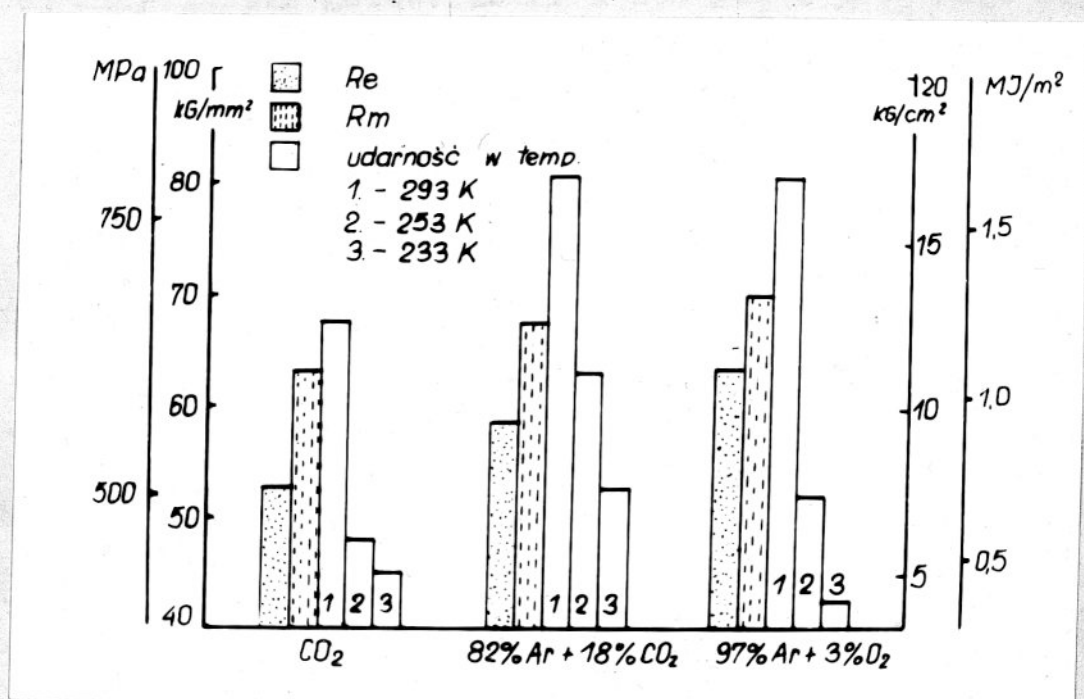
V.G.Svecinskiy i inni [75] stwierdzili, że w metalu spoiny wykonanej w osłonie CO_2 , występuje więcej kulistych wtrąceń niemetalicznych i o większych wymiarach w porównaniu do spoin wykonanych w osłonie mieszaniny gazów $70\% \text{Ar} + 25\% \text{CO}_2 + 5\% \text{O}_2$. Autorzy stwierdzają, że są to wtrącenia siarczków o średnicy $1-3 \mu\text{m}$, występujące często w połączeniu z krzemianami żelaza i manganu. Ponadto w metalu spoiny wykonanej w mieszaninie gazów występują mniejsze i bardziej równomierne rozłożone drobnodispersyjne wydzielenia niemetaliczne, niż podczas spawania w osłonie CO_2 .

Również N.E.Hannerz i J.F.Lowery [76] stwierdzili występowanie mikro-żużla o wymiarach $0,1-2 \mu\text{m}$, który jest zarodkiem mikropery przy próbie udarności. Koncentracja żużla w spoinie jest według autorów zależna od zawartości tlenu w gazie ochronnym.

4.2. Własności mechaniczne złączy spawanych w osłonie CO_2 i mieszanin gazów

Zmniejszenie wypalenia składników stopowych oraz korzystniejszy rozkład wtrąceń niemetalicznych w spoinach wykonanych w osłonie mieszanin z dodatkiem argonu, w porównaniu do spawania w osłonie CO_2 , poprawia własności mechaniczne spoin.

Na rys. 20 przedstawiono zmianę wytrzymałości na rozciąganie, granicy plastyczności stopiwa oraz uderności spoin wykonanych podczas spawania w osłonie CO_2 , mieszaniny 82 % Ar+18 % CO_2 i w osłonie argonu z dodatkiem 3 % tlenu [22].



Rys.20 Wytrzymałość na rozciąganie i granica plastyczności stopiwa oraz uderność spoin wykonanych w osłonie CO_2 , Ar+3% O_2 i 82% Ar + 18% CO_2 [22]

Podobne zależności zwiększenia własności mechanicznych złączy wykonanych w mieszaninach $Ar+CO_2$ można znaleźć w pracach [25, 13, 73, 77 i innych].

Bardzo korzystną jest zwiększenie własności plastycznych w obniżonych temperaturach. A.P. Elistratov i G.G. Cernyšev [27] podają, że spawanie w mieszaninie 50% Ar + 50% CO_2 pozwala zwiększyć udarność spoin w temperaturze 293K /+20°C/ do 19kGm/cm /15 kGm/cm² przy spawaniu w osłonie CO_2 /, a w temperaturze 213 K /-60°C/ z 3,1 kGm/cm² do 8,7 kGm/cm².

Badania przeprowadzone w Instytucie Spawalnictwa im. E.O. Patona w Kijowie [78] wykazały, że spawanie SSPW w trójskładnikowej mieszaninie gazów: 70%Ar + 20% CO_2 + 5% O_2 daje najlepsze techniczno - ekonomiczne wyniki, przejawiające się w:

- wysokiej udarności spoin w obniżonych temperaturach, stąd możliwość spawania konstrukcji przeznaczonych do pracy w północnych obszarach ZSRR,
- obniżeniu ilości powstających rozprysków metalu
- zwiększeniu wydajności procesu spawania o około 8-10 %.

Stwierdzono, że spawanie w osłonie mieszaniny dwutlenku węgla tlenem podwyższa odporność spoin na pęknięcia krystalizacyjne [79, 80, 81], a własności mechaniczne dorównują złączom spawanym w osłonie CO_2 . Wysoka udarność spoin występuje również w obniżonych temperaturach [81, 82].

W Polsce doбором ochronnych mieszanin gazowych do spawania blach ze stali węglowych zajmowano się w Politechnice Wrocławskiej [83, 84], w Politechnice Częstochowskiej [85], oraz w Instytucie Spawalnictwa [86].

J.Durlik i A.Gałkowska na podstawie układanych napoïn przy różnych składach mieszania gazowych $Ar+CO_2+O_2$ stwierdzają, że optymalną mieszaniną do spawania stali węglowych o składzie 30 % Ar + 64 % CO_2 + 6% O_2 , powoduje wzrost wydajności spawania o około 40 % w porównaniu do samego dwutlenku węgla, a w porównaniu do argonu - około 130 %. Podobne wnioski co do ilości dodatku argonu do dwutlenku węgla wysunął B.Pierożek [86].

5. CEL I ZAKRES PRACY

Na podstawie danych literaturowych można sądzić, że dodanie do dwutlenku węgla argonu, a więc gazu o mniejszej przewodności cieplnej, wpłynie na polepszenie przechodzenia metalu elektrodowego przez wytworzenie szerszego ~~energego~~ jądra łuku, o mniejszym działaniu katodowego strumienia plazmowego.

Z drugiej strony wzrost udziału gazu obojętnego w spoinie powinien zmniejszyć wypalanie składników stopowych, a przez to polepszyć własności mechaniczne złącz spawanych.

Sądzić należałoby również, że zastosowanie mieszaniny CO_2+O_2 spowoduje duży wzrost wydajności spawania, a wskutek zwiększenia temperatury kropel i jeziorka, uzyska się natryskowe przechodzenie metalu elektrodowego z niewielką ilością powstających rozprysków, co sugerują niektórzy badacze [30, 81]

Wiele zakładów przemysłowych wytwarzających spawane konstrukcje stalowe, zainteresowanych jest stosowaniem gazowych mieszanin do spawania półautomatycznego zamiast dwutlenku węgla, przede wszystkim w celu zmniejszenia rozprysku metalu. Główną przyczyną tego, że spawanie w osłonie mieszanin gazów znajduje się w kraju dotychczas jedynie sporadyczne zastosowanie jest:

- brak danych o efektach wynikających z zastosowania określonej mieszaniny gazów
- brak opracowań technologii spawania stali w mieszaninach gazów
- oraz brak w handlu odpowiednich mieszanin gazów.

Dlatego celem pracy jest określenie wpływu składu ochronnej atmosfery gazowej na geometrię spoin, wydajność stapiania, ilość powstających rozprysków oraz na własności mechaniczne złącz, przy użyciu powszechnie stosowanych w kraju urządzeń i materiałów dodatkowych.

Praktyczny aspekt pracy sprowadza się więc do odpowiedzi na pytania:

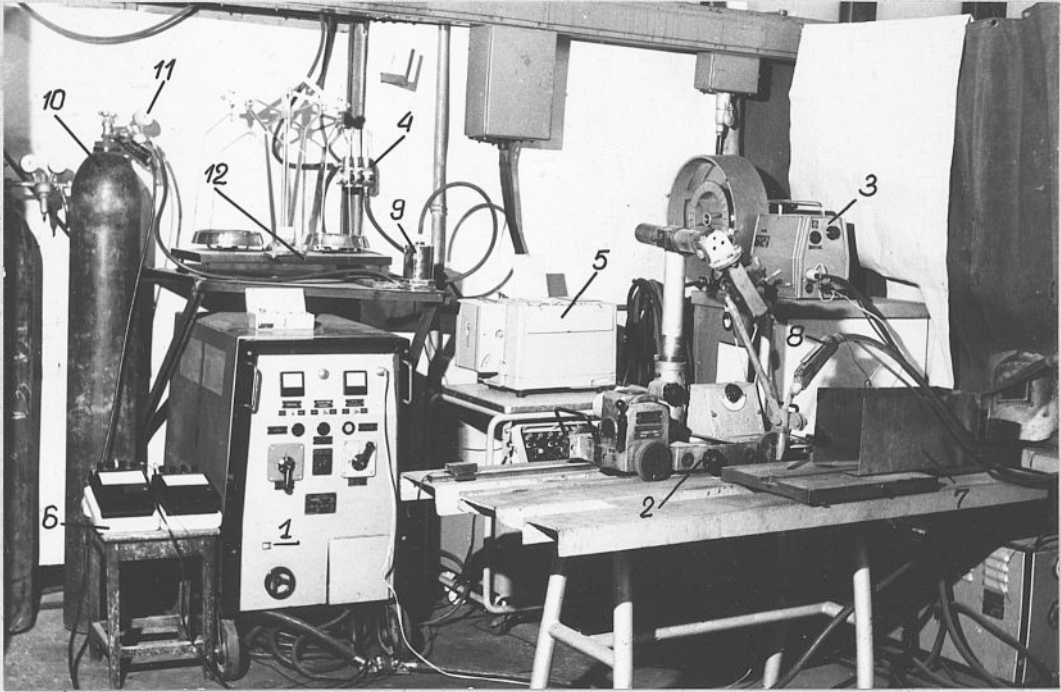
- jaką mieszaninę gazu ochronnego i o jakim składzie należy zastosować, ażeby uzyskać mniejszy rozprysk metalu,
- jak będą się zmieniać własności mechaniczne spoin, jeżeli będziemy spawać w mieszaninach gazów, stosując druty używane do spawania w osłonie CO_2 .

W tym celu w warunkach laboratoryjnych mierzono ilość powstających rozprysków podczas spawania blach o grubości 4 mm i 8 mm w osłonie mieszanin gazów $\text{Ar}+\text{CO}_2$, CO_2+O_2 , $\text{Ar}+\text{CO}_2+\text{O}_2$. Na podstawie tych badań wybrano kilka składów mieszanin, w których w warunkach przemysłowych spawacze z wieloletnią praktyką wykonali złącza do badań własności mechanicznych ze stali konstrukcyjnej zwykłej jakości gatunku St3S oraz stali spawalnych o podwyższonej wytrzymałości gatunku 18G2AV i 15G2ANb.

Dla określenia zaś sposobu powstawania rozprysków i przejścia kropel w łuku, analizowano proces spawania w badanych osłonach gazowych korzystając ze zdjęć filmowych wykonanych z szybkością 3000 klatek w ciągu sekundy.

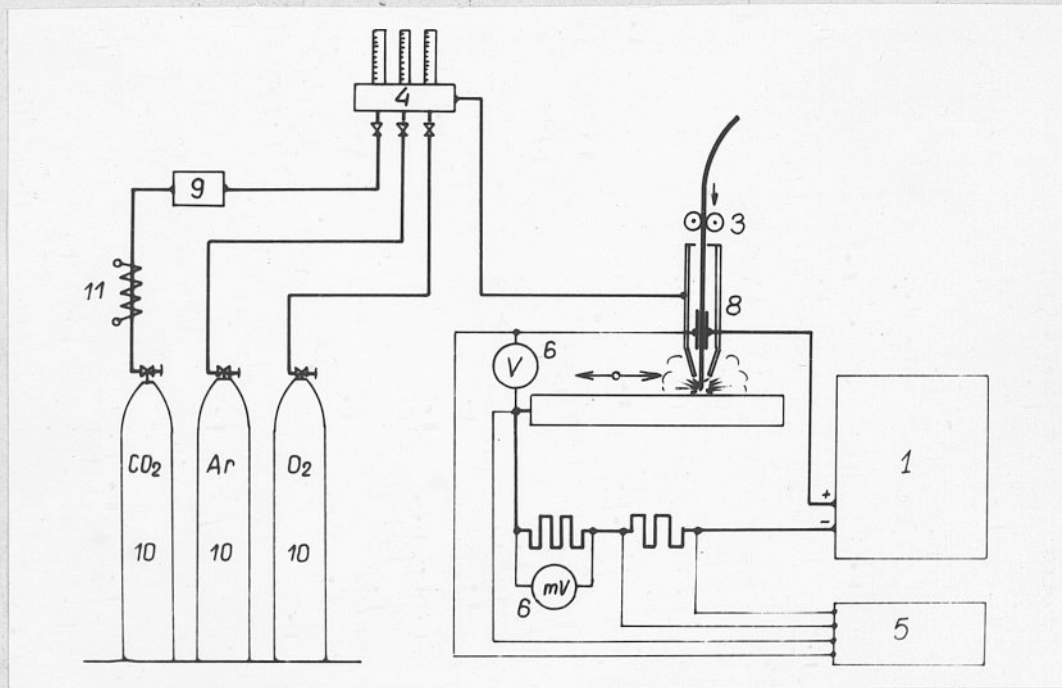
6. METODYKA BADAŃ

Do badania wpływu składu ochronnej atmosfery gazowej na ilość powstających rozprysków, zbudowane zostało stanowisko doświadczalne, które pokazano na rys.21, 22.

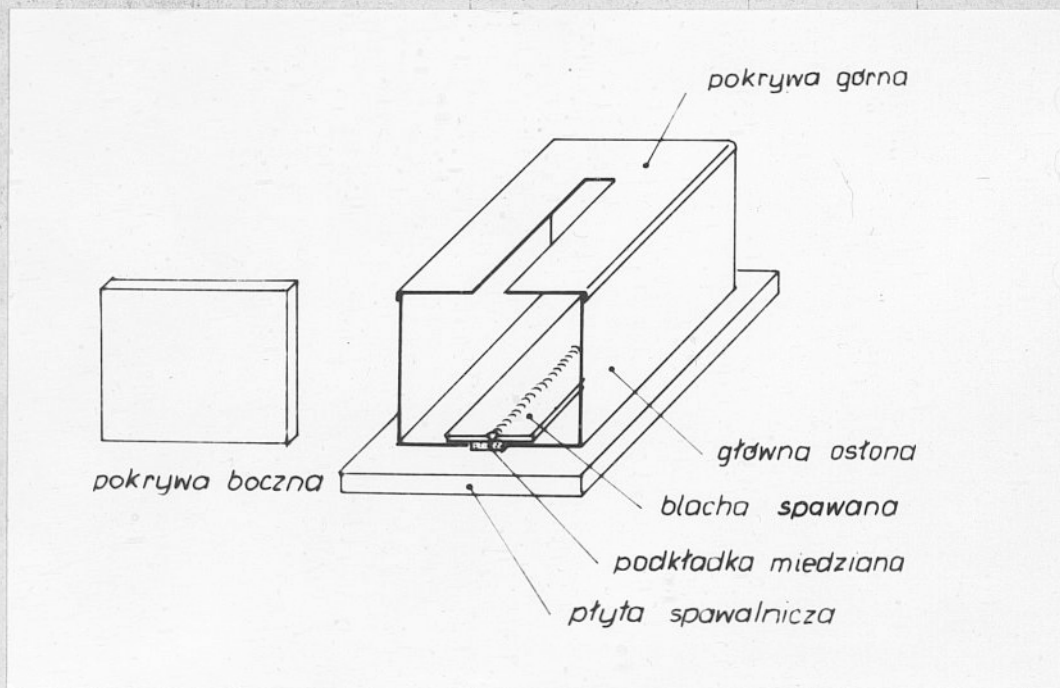


Rys.21 Widok stanowiska badawczego

- 1 - Źródło prądu, prostownik EPVc-450
- 2 - Wózek automatu spawalniczego AsI3a-500
- 3 - Podajnik drutu elektrodowego
- 4 - Mieszacz gazów firmy Rivoira
- 5- Oscylograf K115
- 6 - Mierniki /woltomierz i miliwoltomierz/
- 7 - Osłona miedziana do wyłapywania rozprysków
- 8 - Uchwyt spawalniczy UF-3
- 9 - Osuszacz CO₂
- 10 - Butle z gazami
- 11 - Podgrzewacz CO₂
- 12 - Waga laboratoryjna



a



b

Rys.22 Schemat stanowiska badawczego
a/ Schemat ogólny /oznaczenia jak na rys.21/
b/ Oslona miedziana do wyłapywania rozprysków.

W celu zachowania podczas spawania jednakowej długości wolnego wylotu elektrody oraz spawania z jednakowymi, porównywalnymi szybkościami, zastosowano do prowadzenia uchwytu spawalniczego wózek samojezdny od automatu spawalniczego As13a-500. Do spawania używano półautomatu spawalniczego EMD-450. Parametry prądowe spawania, tj. natężenie prądu spawania i napięcie łuku odczytywano na amperomierzu /miliwoltomierz 60 mV, klasa 0,5, skala 0-60 mV, typ LM1/, i woltomierzu /klasa 0,5, skala 0-30V, 0-75V, typ LM 1/, a także rejestrowano na taśmie oscylografu /typ K 115/. Stosowano jednakową szybkość przesuwu taśmy oscylografu dla wszystkich badań wynoszącą 2,5 m/s. Mieszaninę gazów $Ar+CO_2$, CO_2+O_2 i $Ar+CO_2+O_2$ uzyskiwano przez mieszanie pojedynczych gazów z butli w mieszalniku firmy Rivoira. Skład badanych mieszanin gazów podano w tabeli 4.

Napawanie oraz spawanie blach przeprowadzono w osłonie miedzianej /rys.22b/, z której po zakończeniu próby, zbierano rozpryski. Do rozprysków nie zaliczano kawałków drutu elektrodowego powstających przy początkowym zajerzeniu się łuku, oraz żużła tworzącego się na spoinie. Osobno zbierano rozpryski osadzające się w dyszy gazowej uchwytu spawalniczego. Rozpryski zebrane z blach przesiewano przez sito w celu oddzielenia rozprysków o wymiarze większym od 0,8 mm. Zebrane rozpryski ważono na wadze laboratoryjnej z dokładnością 0,01g. Przy każdym składzie gazu ochronnego wykonano przynajmniej po 3 złącza, dla których określono ilość rozprysków. Stosunek masy rozprysków do masy zużytego drutu elektrodowego, który ważono z dokładnością do 0,1g, wyrażono w procentach.

Tabela 4

Skład mieszanin gazów stosowanych w badaniach
/wydatek gazu stały, równy 15 l/min/

Skład gazu ochronnego %						
mieszanina Ar+CO ₂		mieszanina CO ₂ +O ₂		mieszanina Ar+CO ₂ +O ₂		
Ar	CO ₂	CO ₂	O ₂	Ar	CO ₂	O ₂
-	100	95	5	80	15	5
10	90	90	10	75	20	5
20	80	85	15	75	22	3
30	70	80	20	50	40	10
40	60	75	25	40	50	10
50	50	70	30	40	40	20
60	40	60	40	30	50	20
70	30			20	60	20
80	20					
100	-					

Przed przystąpieniem do badań wpływu składu ochronnej atmosfery gazowej na ilość powstających rozprysków, określono w badaniach wstępnych wpływ indukcyjności źródła prądu i długości wolnego wylotu elektrody na intensywność rozprysku metalu oraz zbadano wpływ gazu ochronnego na geometrię napoin i wydajność stapiania drutu elektrodowego. Sprawdzone również dokładność mieszania gazów w stosowanym mieszaczu. Złącza spawane w różnych mieszaninach gazów poddano badaniom, które miały na celu określenie wytrzymałości na rozerwanie złącza spawanego i materiału spoiny oraz plastyczności spoin w temperaturach

dodatnich i ujemnych. Ponadto określono zmiany składu chemicznego i zmiany strukturalne, oraz rozkład twardości w złączach spawanych.

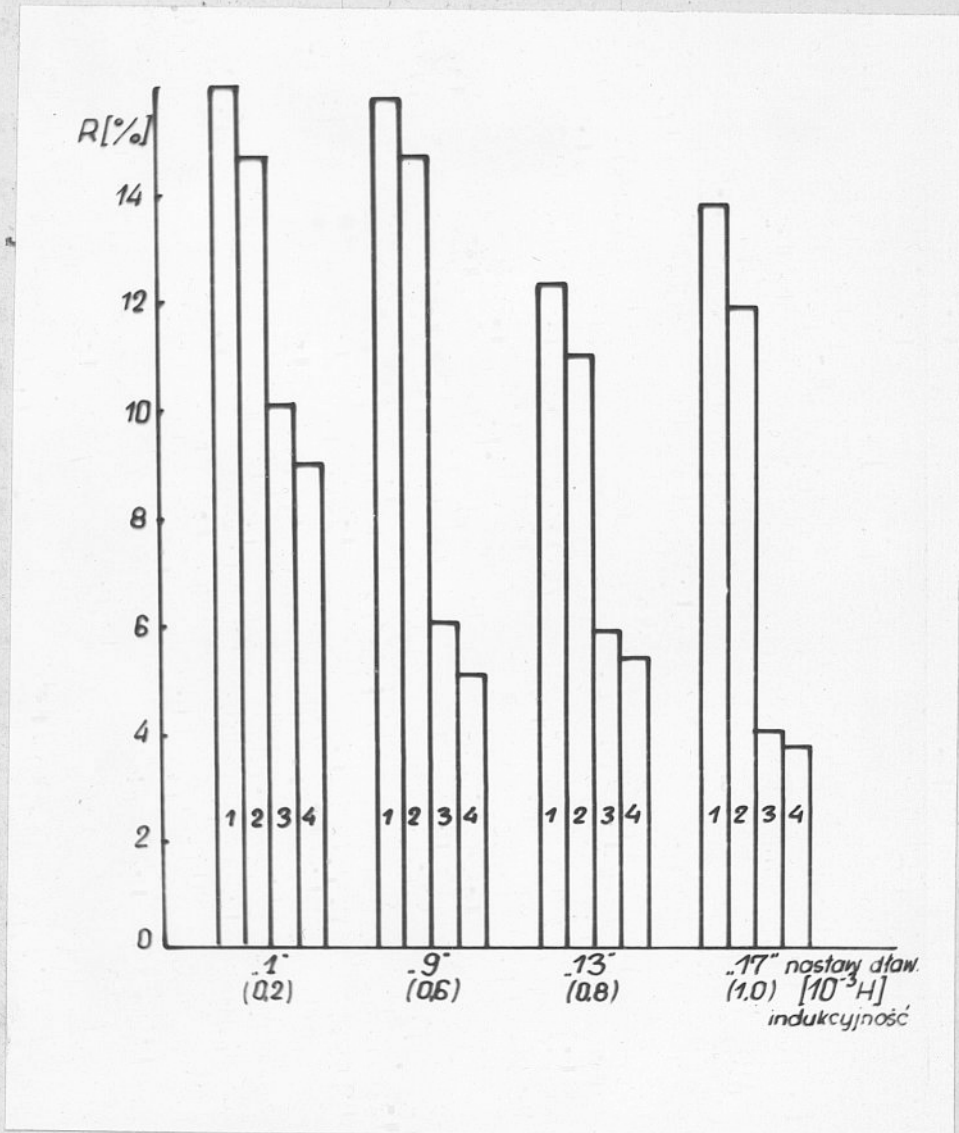
7.

7. BADANIA WSTEPNE

7.1. Wpływ indukcyjności źródła prądu na ilość powstających rozprysków

Prostownik spawalniczy EPVc-450 posiada indukcyjność obwodu spawalniczego regulowaną za pomocą dławika. Zależność ilości powstających rozprysków od indukcyjności źródła prądu podczas układania napoin w osłonie CO₂, pokazano na rys.23. Ze wzrostem indukcyjności obwodu spawalniczego maleje ilość rozprysków. Przez właściwy dobór indukcyjności można o połowę zmniejszyć ilość powstających rozprysków dla drutu elektrodowego o średnicy 1,2 mm,

Na podstawie tych badań przyjęto w dalszych próbach indukcyjności obwodu spawalniczego równą 1,0 mH /nastawa dławika 17/.



Rys.23 Wpływ indukcyjności obwodu spawalniczego na ilość rozprysków przy spawaniu drutem o średnicy 1,2 mm /220A, 26,5V/ i 1,6 mm /300A, 28V/

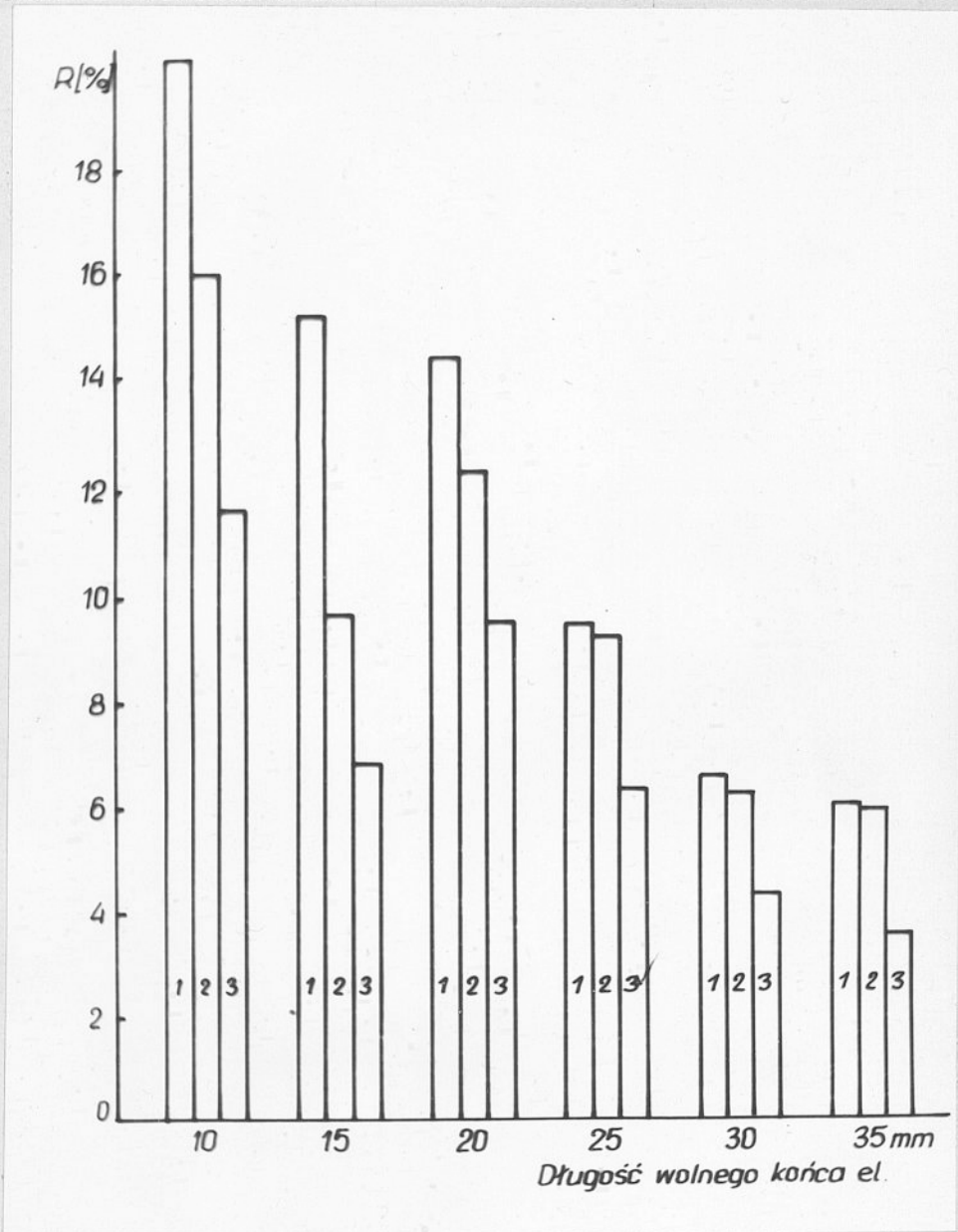
- 1 - całkowita ilość rozprysków /z blach i dyszy \varnothing 1,6mm/
- 2 - całkowita ilość rozprysków /z blach i dyszy \varnothing 1,2 mm/
- 3 - rozpryski z blach, \varnothing 1,6 mm
- 4 - rozpryski z blach, \varnothing 1,2 mm

7.2. Wpływ długości wolnego końca elektrody na ilość rozprysków

Próby wykonano dla sześciu długości wolnego końca elektrody o średnicy 1,2 mm od 10 do 35 mm, który zmieniano co 5 mm. Określono ilość powstających rozprysków metalu przy stałej szybkości podawania drutu elektrodowego $V_{pdr} = 4,0$ m/min/, oraz dla stałej wartości natężenia prądu spawania $I_{sp} = 300$ A/. Napięcie łuku wynosiło 27,5 V. Zależność ilości rozprysków od zmian długości wolnego końca elektrody przedstawiono na rys. 24,25.

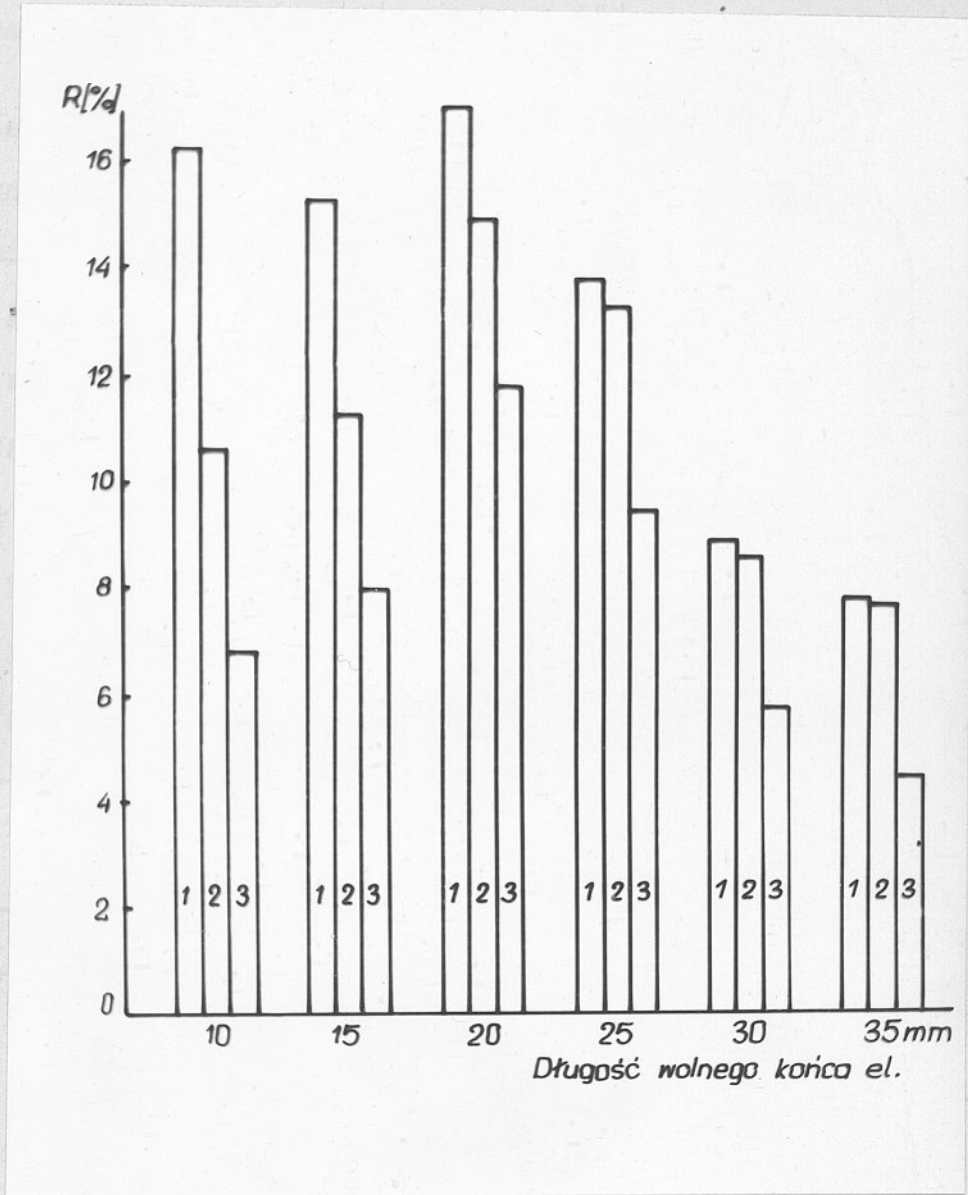
Otrzymane wyniki wskazują na to, że im jest dłuższy wolny wylot końca elektrody, tym powstaje mniej rozprysków.

Zbyt długi wolny wylot powoduje silne grzanie się końca elektrody, a spawaczowi utrudnia utrzymanie możliwie stałej odległości między rurką kontaktową a powierzchnią jeziorka. Natomiast znaczne skrócenie tej odległości zmniejsza pole widzenia spawacza oraz zwiększa ilość powstających rozprysków. Opisane zjawiska spowodowały, że do dalszych badań przyjęto długość wolnego wylotu elektrody równą 20 mm.



Rys.24 Wpływ długości wolnego końca elektrody przy $I = \text{const}$,
 na ilość rozprysków

- 1 - całkowita ilość rozprysków /z blach i z dyszy/
- 2 - rozpryski z blach
- 3 - rozpryski większe od 0,8 mm



Rys.25 Wpływ długości wolnego końca elektrody przy

$V_{p.dr} = \text{const.}$ na ilość rozprysków

1 - całkowita ilość rozprysków /z blach i z dyszy/

2 - rozpryski z blach

3 - rozpryski większe od 0,8 mm

7.3. Sprawdzenie dokładności sporządzania mieszanin gazów

Mieszaniny gazu ochronnego sporządzono bezpośrednio z gazów dostarczonych w butlach na stanowisku spawalniczym przy pomocy mieszacza firmy Rivoira. Uzyskiwane w ten sposób mieszaniny Ar+CO₂, CO₂+O₂, Ar+CO₂+O₂, według przeprowadzonej analizy zgodnie z PN-62/C-84909 różniły się o 0,8 % od założonego pierwotnie składu /tabl.5/

Tabela 5

Dokładność dozowania argonu, dwutlenku węgla i tlenu w mieszaninach gazów /całkowity wydatek gazu 15 l/min/

Lp.	Założony skład mieszaniny			Otrzymany skład mieszaniny		
	%			%		
	Ar	CO ₂	O ₂	Ar	CO ₂	O ₂
1	50	50	-	49,4	50,6	-
2	80	20	-	80,8	19,2	-
3	-	90	10	-	89,6	10,4
4	-	80	20	-	79,7	20,3
5	70	25	5	70,1	24,6	5,4

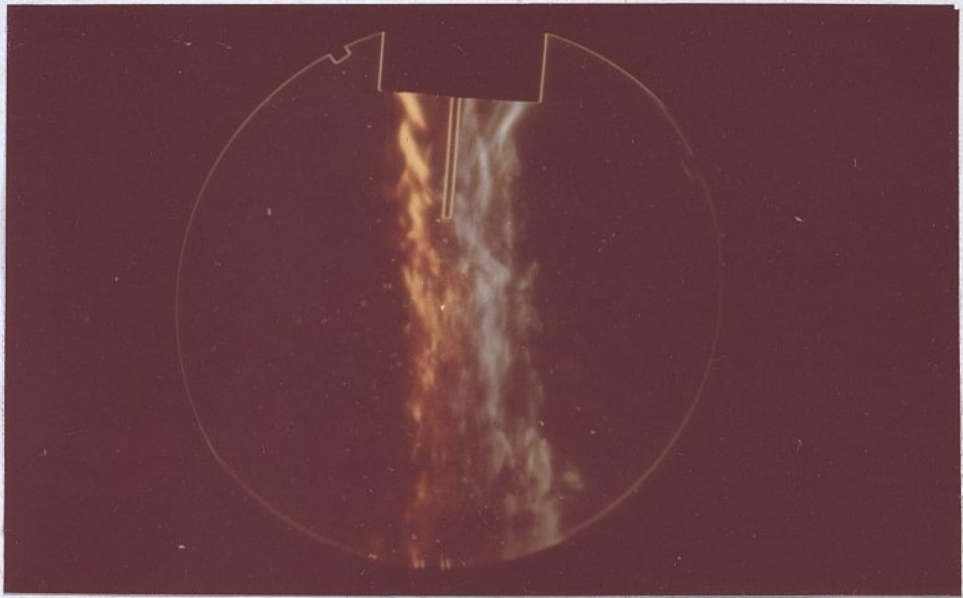
Poddano również sprawdzeniu dokładność mieszania gazów w czasie, to jest badano, czy z dyszy gazowej wypływa jednorodna mieszanina. Korzystając ze smugoskopu porównano równomierność wymieszania wypływających gazów.

Było to możliwe dzięki różnym współczynnikom załamania światła, które wynoszą dla argonu 1,000281, dwutlenku węgla - 1,000451 i powietrza - 1,000293 [87].

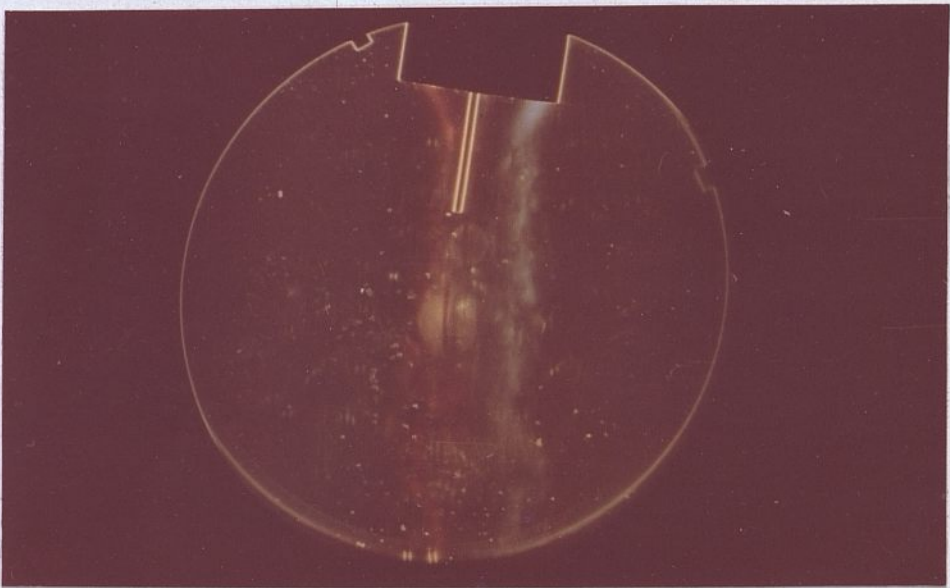
Intensywność obserwowanych barw jest zależna od składu wypływającego gazu. Jeżeli mieszanina gazu $\text{Ar}+\text{CO}_2$ nie byłaby jednorodną, to w smugoskopie widoczne byłyby gwałtowane zmiany w intensywności zabarwienia w czasie wypływu gazów.

Ponieważ wypływające gazy miały równomierne rozłożenie barw /rys.26/, świadczy to o dokładności mieszania gazów.

Na podstawie przeprowadzonych badań stwierdzono, że dokładność mieszania w posiadanym mieszaczu gazów jest wystarczająca dla proponowanych badań.



a



b

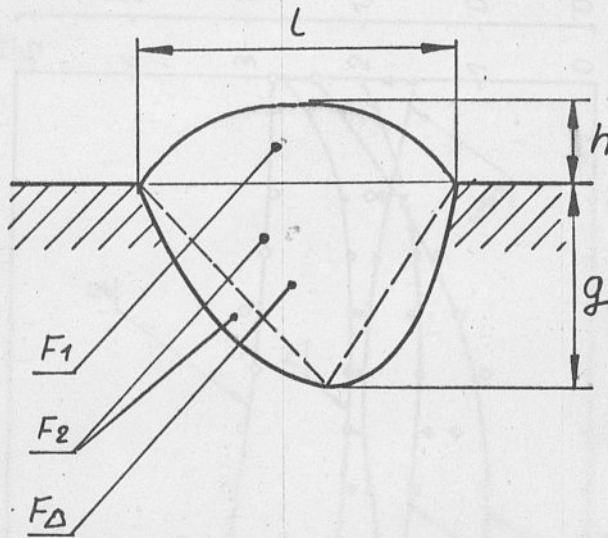
Rys.26 Wypływ gazu ochronnego z dyszy /czas ekspozycji $\frac{1}{125}$ s/
a/ 100 % CO₂ /15 l/min/
b/ 50 % Ar+50% CO₂ /15 l/min/

7.4. Wpływ gazu ochronnego na geometrię napoïn

Skład osłony gazowej wywiera istotny wpływ na kształt i wymiary spoiny, co wynika z faktu, że w zależności od składu osłony gazowej zmienia się kształt słupa łuku, zawartych w nim strumieni plazmowych oraz wielkość i rozmieszczenie aktywnych plamek. Czynniki te wpływają na rozkład temperatury w słupie łuku i związane z tym przepływające ilości ciepła. Geometrię wtopienia określano na przekrojach napoïn wykonanych na blachach przez automatyczne napawanie. Stosowano parametry $I = 300A$, $U = 27V$, $V_{sp} = 0,5 \text{ cm/s}$, układając napoïny w odległości 40 mm od siebie. Każdą następną napoïnę układano wtedy, gdy blachy ostygły do temperatury otoczenia.

Po wykonaniu zglądów próbki trawiono w 20 % roztworze HNO_3 w spirytusie etylowym. Wymiary napoïn mierzono na zdjęciach przy pięciokrotnym powiększeniu. Do pomiarów powierzchni nadlewów i strefy wtopienia używano planimetru. Wyniki pomiarów geometrii napoïn w zależności od składu stosowanego gazu ochronnego podano na rys. 27-29, przy czym stosowano oznaczenia literowe według rys.30.

Na rys.31 przedstawiono wygląd kilku napoïn wykonanych drutem elektrodowym o $\text{śr. } 1,2 \text{ mm}$ w osłonie CO_2 i mieszanin gazów.



Rys.30 Wymiary charakterystyczne napoiwy

l - szerokość

h - wysokość nadlewu

g - głębokość wtopienia

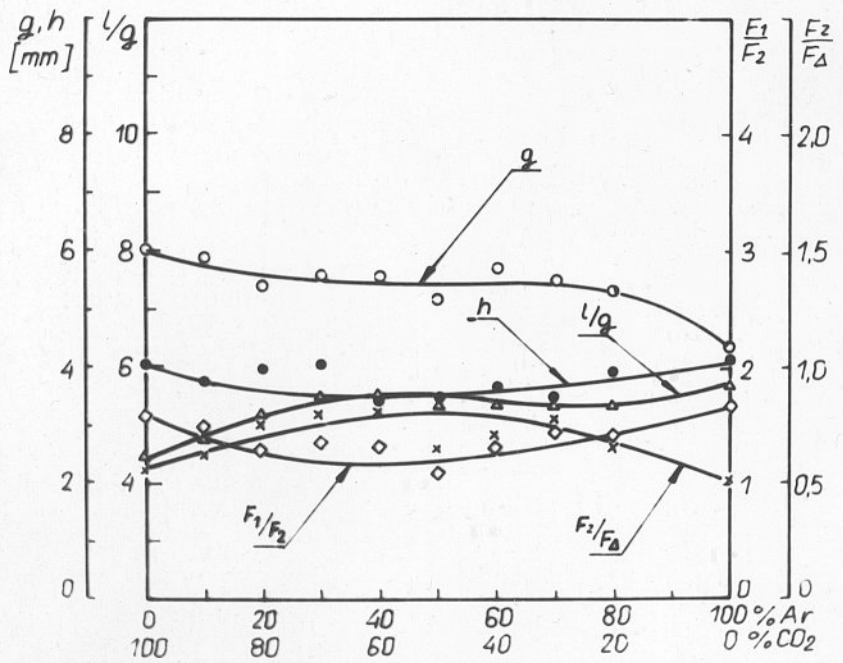
l/g - stosunek szerokości napoiwy do głębokości
wtopienia

F_1 - pole nadlewu

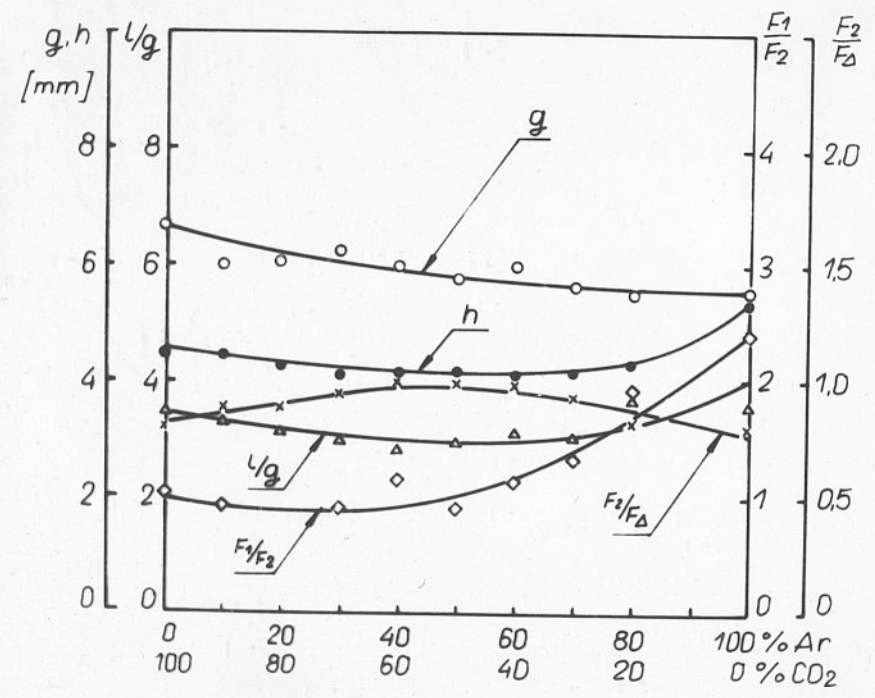
F_2 - pole wtopienia

F_{Δ} - pole trójkąta o podstawie l i wysokości g

Przy spawaniu w mieszaninach $Ar+CO_2$ najkorzystniejszy kształt napoiwy otrzymuje się w zakresie zawartości 50 % Ar w CO_2 przy spawaniu drutem elektrodowym o średnicy 1,2 i 1,6 mm. Uzyskuje się wtedy mniejszą wysokość nadlewu lica $/h/$ oraz dobry kształt wtopu określony współczynnikiem F_2/F_{Δ} , zbliżonym do 1.

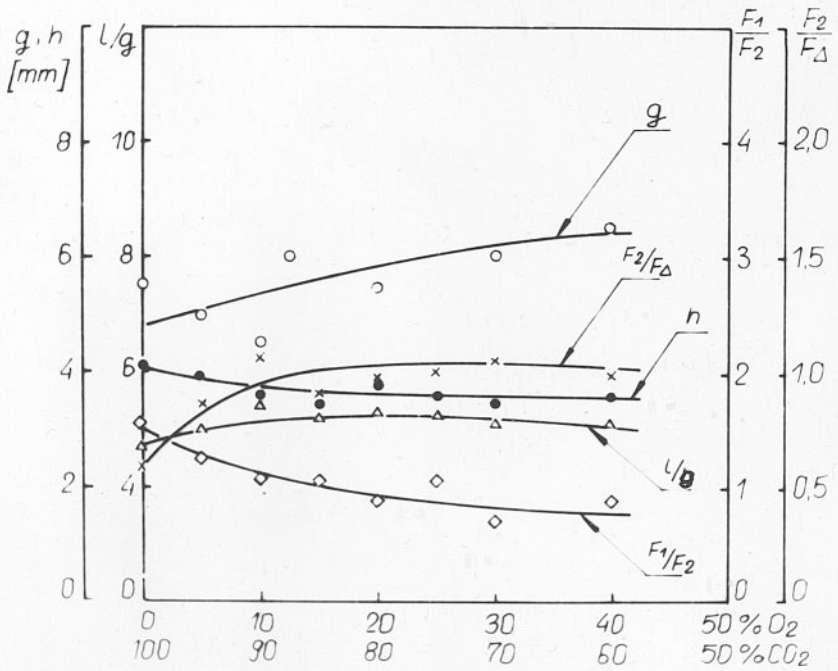


a

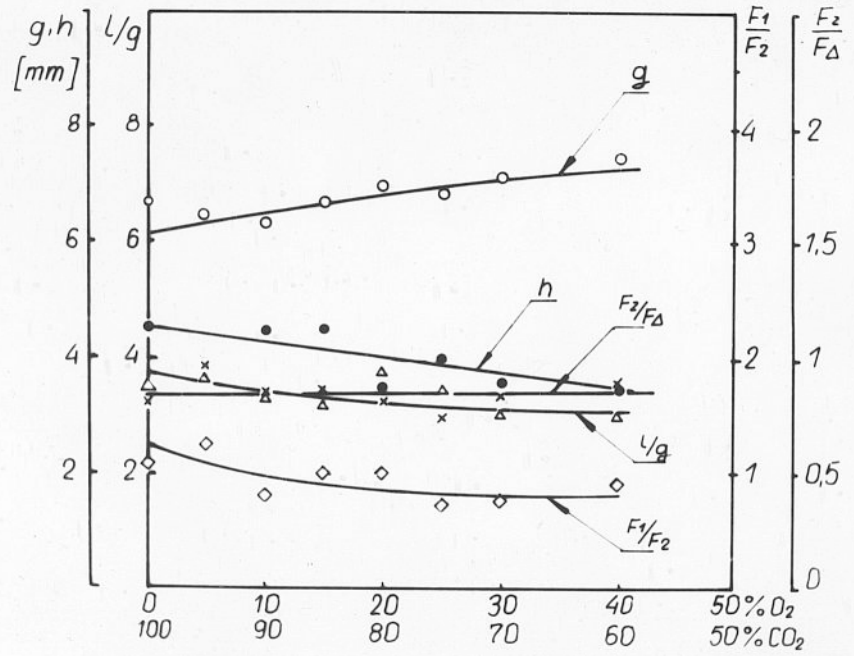


b

Rys.27 Wpływ składu mieszanki Ar+CO₂ na geometrię napoin dla drutu elektrodowego o średnicy 1,2 mm /a/ i 1,6 mm /b/

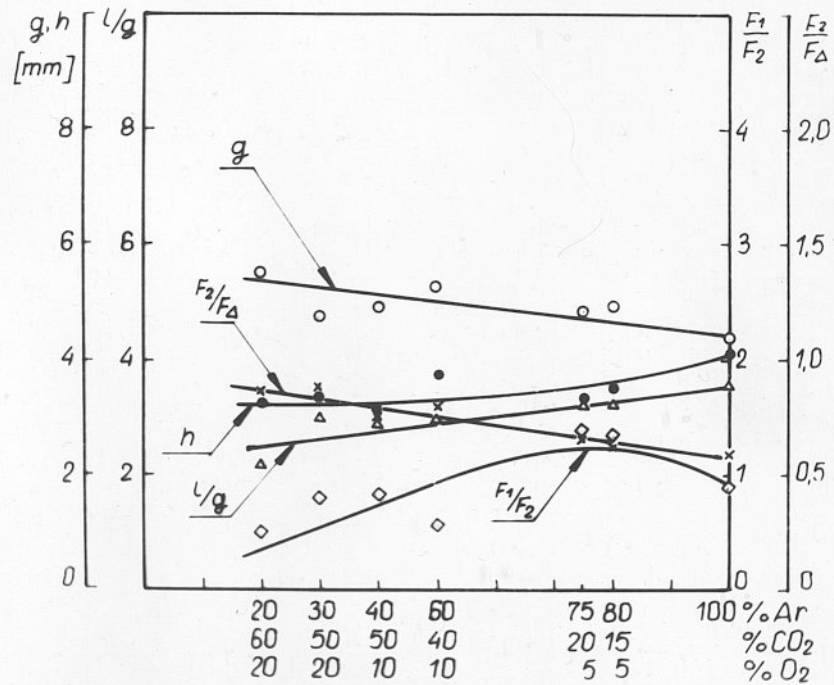


a

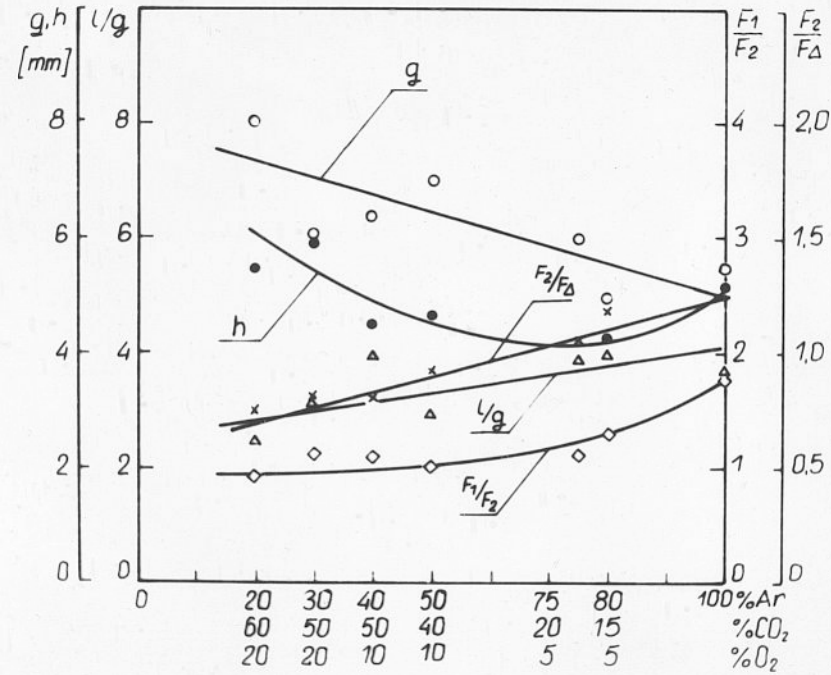


b

Rys.28 Wpływ składu mieszaniny CO₂+O₂ na geometrię napójny dla drutu elektrodowego o średnicy 1,2 mm /a/ i 1,6 mm /b/

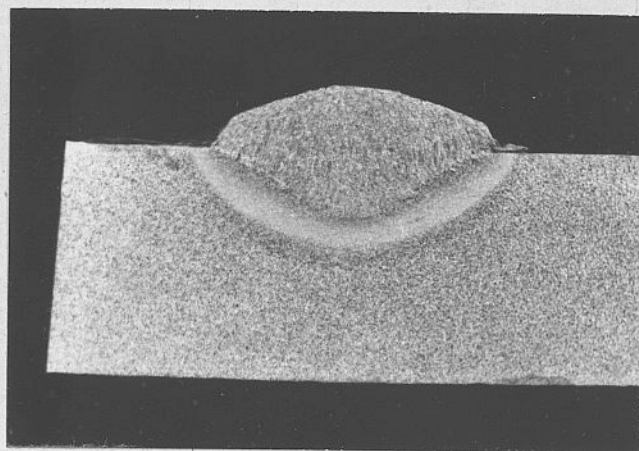


a

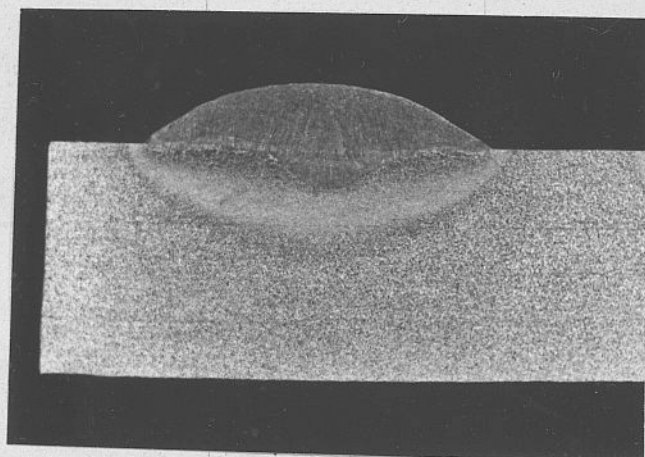


b

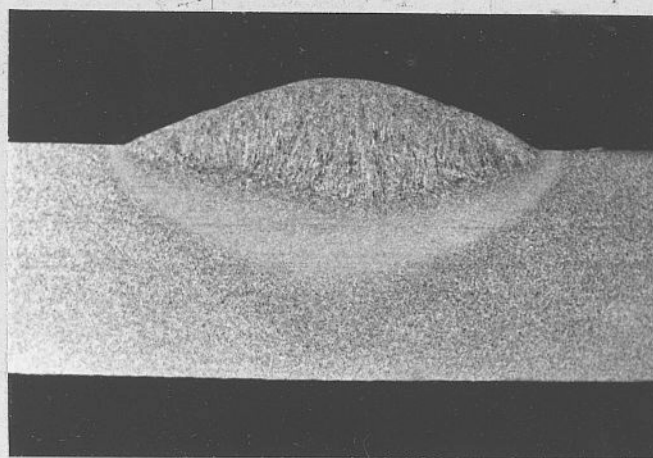
Rys.29 Wpływ składu mieszaniny Ar+CO₂+O₂ na geometrię napoin dla drutu elektrodowego o średnicy 1,2 mm /a/ i 1,6 mm /b/



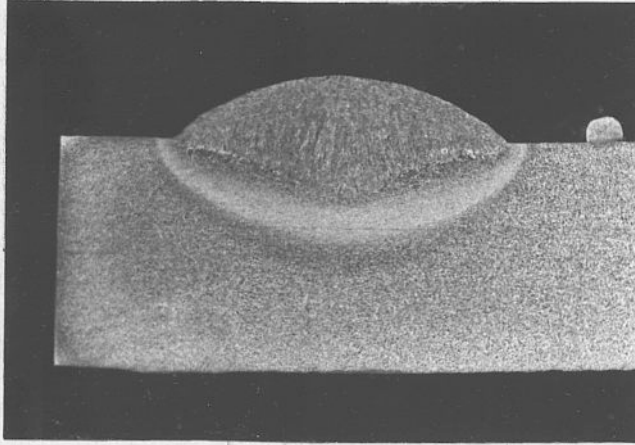
a



b



c



Rys.31 Makrostruktury napoin /300A, 27V/. Pow. 2x
a/ 100%CO₂, b/ 100% Ar, c/ 80%Ar+20%CO₂
d/ 80%Ar+15%CO₂+5%O₂

Stosowanie drutu elektrodowego o średnicy 1,2 mm zmniejsza w porównaniu ze średnicą 1,6 mm wysokość nadlewu, ale równocześnie niekorzystnie zmniejsza wartość współczynnika F_2/F_{Δ} do około 0,75. Dodatek argonu do CO₂ obniża głębokość wtopienia, co może być korzystne przy wykonywaniu warstw graniowych w złączach doczołowych oraz przy spawaniu cienkich blach.

Wprowadzenie tlenu do CO₂ pozwala uzyskać większą głębokość wtopienia tak dla drutu elektrodowego o średnicy 1,2 mm jak i - 1,6 mm.

Jednocześnie maleje zdecydowanie wysokość nadlewu i współczynnik wypełnienia rowka l/g .

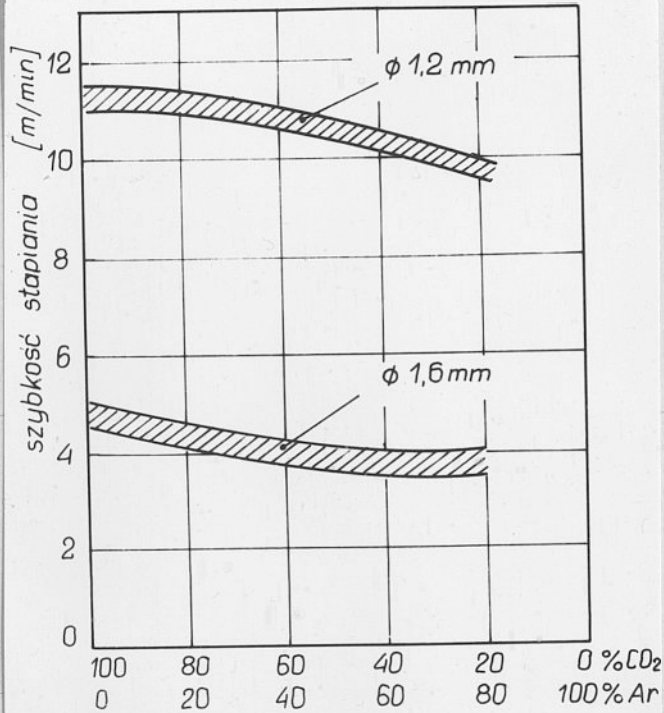
Stosowanie mieszaniny trójskładnikowej zapewnia otrzymanie prawidłowego kształtu spoiny w szerokim zakresie składu gazów. Zmniejszenie udziału argonu w mieszaninie wpływa na zwiększenie głębokości wtopienia, zmniejszenie współczynnika wypełnienia rowka l/g oraz poprawę kształtu wtopienia. Największą stałość wyników obserwuje się w zakresie 50-80% Ar, 40-15%CO₂, 10-5% O₂. Uzyskuje się wtedy bardzo dobry wtop $\frac{F_2}{F_\Delta} \approx 1$ mały nadlew $F_1/F_2 < 1$ oraz dobry współczynnik wypełnienia rowka $\frac{l}{g} \leq 3$.

7.5. Wydajność stapiania drutu elektrodowego w zależności od składu gazu ochronnego

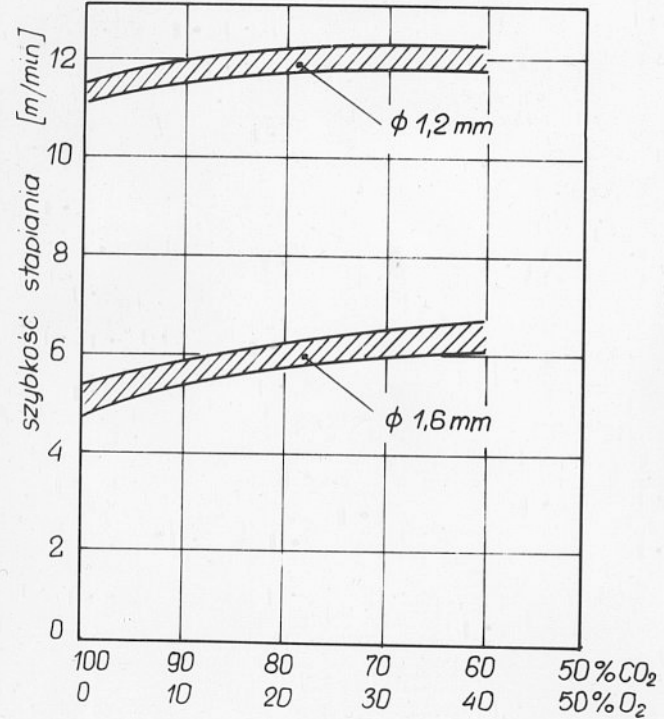
W półautomatach spawalniczych szybkość podawania drutu elektrodowego jest równa jego szybkości stapiania. Ustalenie szybkości podawania drutu przeprowadzono przy wyprostowanym przewodzie podającym drut. Szybkość stapiania drutów elektrodowych o średnicy 1,2 i 1,6 mm, zależnie od składu gazu ochronnego, podano na rys. 32, 33, 34.

Argon w mieszaninie Ar+CO₂ i Ar+CO₂+O₂ obniża szybkość stapiania drutu elektrodowego. I tak podczas spawania w mieszaninie 80%Ar+20%CO₂, zamiast w osłonie dwutlenku węgla, następuje obniżenie szybkości spawania o około 15%.

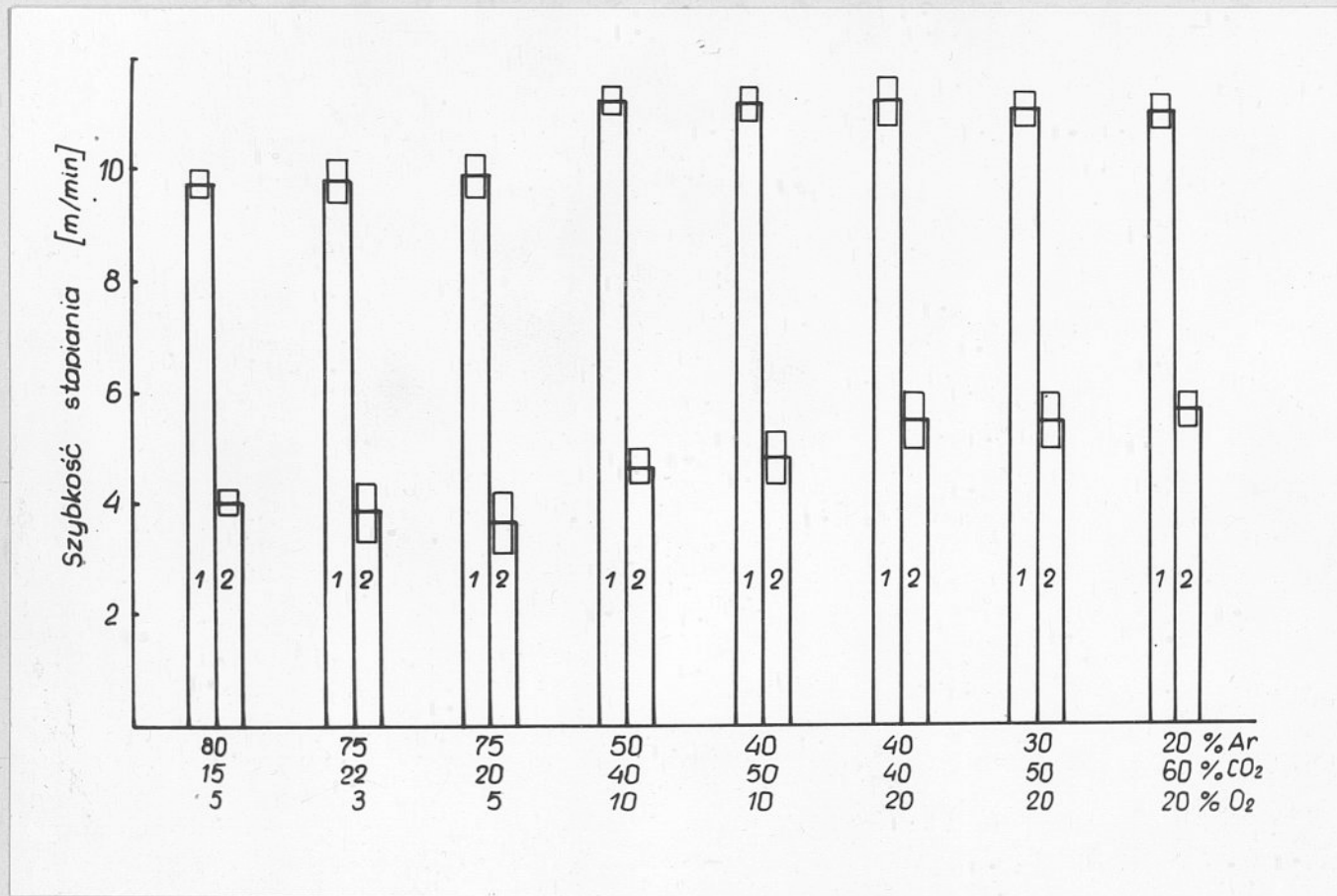
Dodatek tlenu do dwutlenku węgla zwiększa szybkość stapiania drutu elektrodowego. Spawanie w mieszaninie o składzie 60%CO₂+40%O₂ daje o około 10-20% większą wydajność stapiania w porównaniu ze spawaniem w CO₂.



Rys. 32 Szybkość stapiania drutów elektrodowych o średnicach 1,2 i 1,6 mm przy spawaniu w mieszaninie Ar+CO₂ /300A/, 27V/



Rys. 33 Szybkość stapiania drutów elektrodowych o średn. 1,2 i 1,6 mm przy spawaniu w mieszaninie CO₂+O₂ /300A, 27V/



Rys.34 Szybkość stapiania drutów elektrodowych o średnicach 1,2 mm /1/ i 1,6 mm /2/ przy spawaniu w mieszaninie Ar+CO₂+O₂ /300A,27V/

8. WPŁYW SKŁADU GAZU OCHRONNEGO NA ILOŚĆ POWSTAJACYCH ROZ- PRYSKÓW

8.1. Wykonanie złączeń spawanych

Do spawania stosowano drut Sp1GS o średnicy 1,2 i 1,6 mm, o składzie chemicznym podanym w tabeli 6. Dla ilościowej oceny rozprysku metalu spawano blachy o wymiarach 400x80x4 mm ze stali St3SY oraz 400x80x8 mm ze stali St3S, których skład chemiczny podano w tabeli 7. Blachę o grubości 8 mm ukosowano na V o kącie 50° , z progiem o wysokości około 1 mm, natomiast blachę o grubości 4 mm spawano bez ukosowania krawędzi. Po ukosowaniu blachy o grubości 8 mm zostały oczyszczone z zanieczyszczeń przez piaskowanie, a blachy o grubości 4 mm szlifowano na szlifierce ręcznej. Przed spawaniem blachy szczepiono na końcach, pozostawiając szczelinę 1,5-3,0 mm.

Do spawania blach o grubości 4 mm zastosowano niskie parametry prądowe, tj. 180A, 21V /tabl.8/, a blachy o grubości 8 mm spawano dwoma przejściami, przy czym dla ściegu wypełniającego stosowano średnie parametry spawania /300A, 27V/, powszechnie stosowane w praktyce przemysłowej. Spawanie przeprowadzono na podkładce miedzianej w komorze do wyłapywania rozprysków /patrz p.6/, uchwyt spawalniczy był prowadzony pod kątem prostym do spoiny, a wolny wylot elektrody wynosił 20 mm.

Tabela 6

Skład chemiczny drutów elektrodowych używanych w badaniach

Gatunek drutu	Średnica mm	Rodzaj analizy	Skład chemiczny, %								Zastosowano do spawania stali
			C	Mn	Si	S	P	Cr	Ni	Al	
Sp1GS		wg PN-70/M-69420	max 0,10	1,3-1,7	0,7-1,0	max 0,03	max 0,03	max 0,25	max 0,25	-	
	1,2	kontrolna	0,07	1,40	0,76	0,020	0,015	-	-	-	St3S, St3SY, 15G2ANb, otrzymywanie stopiwa
		kontrolna	0,08	1,26	0,63	0,018	0,030	-	-	-	18G2AV
	1,6	kontrolna	0,09	1,32	0,77	0,015	0,014	-	-	-	St3S
Sp2GS		wg PN-70/M-69420	max 0,11	1,8-2,1	0,70-0,95	max 0,03	max 0,03	max 0,20	max 0,25	max 0,05	
	1,2	kontrolna	0,10	1,90	0,93	0,022	0,013	-	-	-	15G2ANb, stopiwo
		kontrolna	0,10	1,53	0,84	0,021	0,033	-	-	-	18G2AV


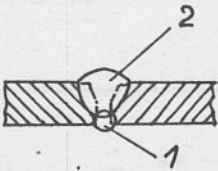
Tabela 7

Skład chemiczny blach używanych w badaniach

Gatunek blachy	Rodzaj analizy	Skład chemiczny w %												
		C	Mn	Si	S	P	V	Cr	Ni	Cu	Mo	Al	N ₂	Nb
St3S grub. 12 mm	wg PN-72/H 84020	max 0,22	max 1,2	0,15 0,35	max 0,050	max 0,050	-	-	-	-	-	-	-	-
	kontrolna	0,150	0,59	0,26	0,015	0,014	-	-	-	-	-	-	-	-
	kontrolna	0,165	0,47	0,2	0,029	0,014	-	-	-	-	-	-	-	-
St3SY grub. 4 mm	wg PN-72/H 84020	max 0,22	max 1,2	0,05 0,17	max 0,050	max 0,050	-	-	-	-	-	-	-	-
	kontrolna	0,10	0,43	0,14	0,013	0,009	-	-	-	-	-	-	-	-
18G2AV grub. 10 mm	wg PN-72/H 84018	max 0,20	1,2 1,65	0,20 0,60	max 0,040	max 0,040	0,05 0,20	max 0,30	max 0,30	max 0,30	-	-	0,010 0,025	-
	wytopowa	0,16	1,5	0,40	0,022	0,031	0,10	0,02	0,02	0,03	-	0,02	0,01	-
	kontrolna	0,15	0,41	0,39	0,016	0,030	0,20	-	-	-	-	-	-	-
15G2ANN grub. 12 mm	wg PN-72/ H-84018	max 0,18	max 1,60	0,20 0,55	max 0,040	max 0,040	max 0,10	max 0,30	max 0,30	max 0,30	max 0,10	max 0,02	max	0,02 0,06
	kontrolna	0,15	1,38	0,30	0,035	0,028	0,20	0,27	-	-	0,04	-	-	-

Tablica 8

Parametry wykonywania złącz spawanych do badań
ilości powstających rozprysków

Grubość blach mm	Średnica drutu mm	Rodzaj spoiny	U_t	I	V_{sp}
			V	A	cm/s
4	1,2		21	180	1,1
8	1,2		1. 27	130	1,1
			2. 27	300	1,33
	1,6		1. 21	200	1,33
			2. 27	300	1,33

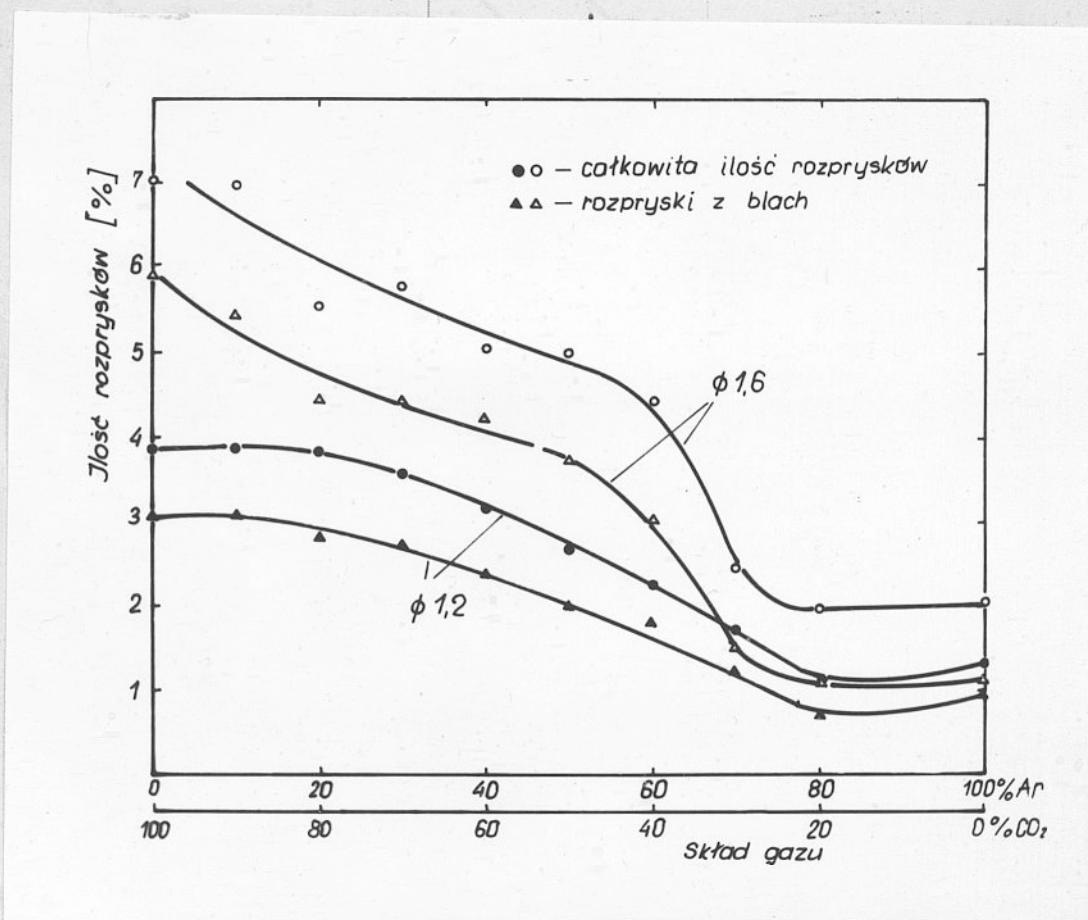
8.2. Wpływ składu atmosfery ochronnej na ilość rozprysków powstających podczas spawania

8.2.1. Mieszanina Ar+CO₂

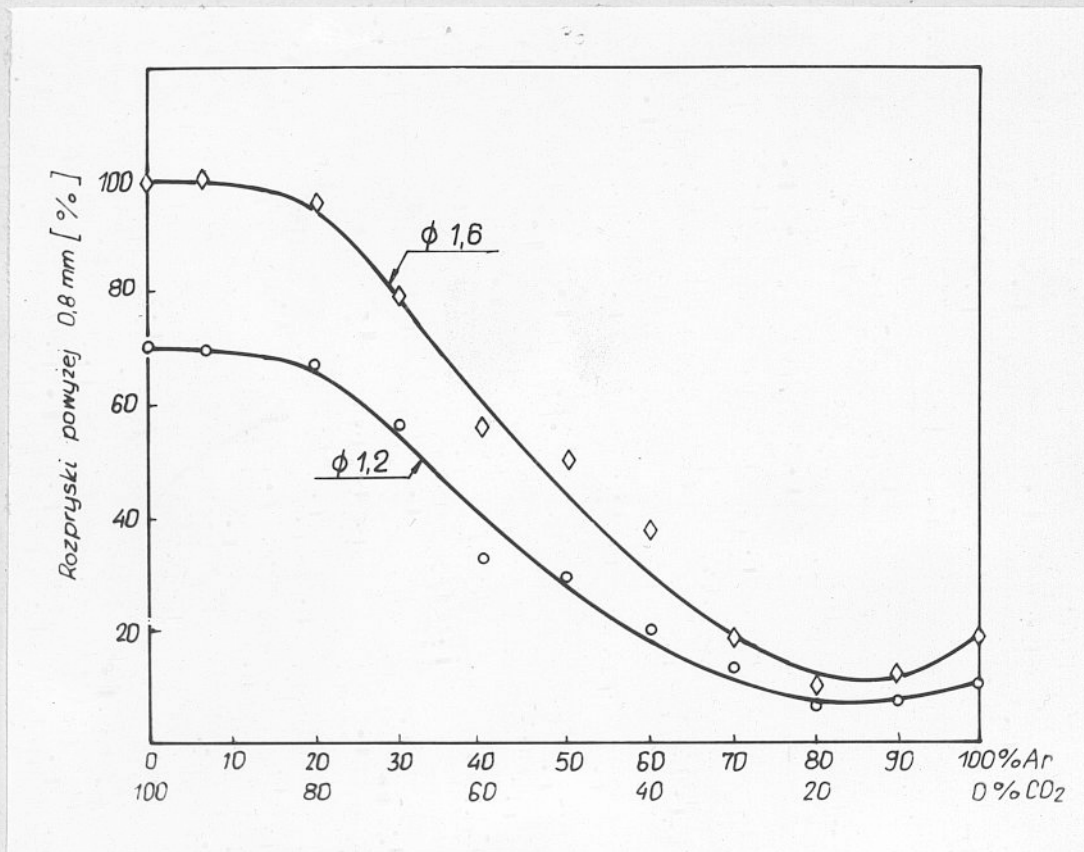
Zależność ilości powstających rozprysków od składu mieszaniny dwutlenku węgla z argonem przedstawiono na rys. 35,36,37. Najmniejsza ilość rozprysków powstaje przy spawaniu blach o grubości 8 mm w mieszaninie gazowej zawierającej 80% Ar i 20% CO₂, zarówno dla drutu o średnicy 1,2 mm jak i 1,6 mm /rys.35/. Należy jednak zaznaczyć, że przy drucie o śr. 1,2 mm powstaje o blisko połowę mniej rozprysków niż przy zastosowaniu drutu o średnicy 1,6 mm. Skład mieszaniny gazu wpływa nie tylko na ilość, ale i na wielkość powstających rozprysków.

Na przykład straty drutu elektrodowego na rozprysk metalu przy spawaniu w osłonie mieszanki 60%Ar+40%CO₂ są o około 35% niższe aniżeli przy spawaniu w samym CO₂ przy czym ilość rozprysków o średnicy większej od 0,8 mm jest niższa o 60% /rys.36/.

Ilość rozprysków osadzających się w dyszy gazowej uchwytu spawalniczego zmniejsza się wraz z udziałem argonu w mieszaninie /rys.38/.

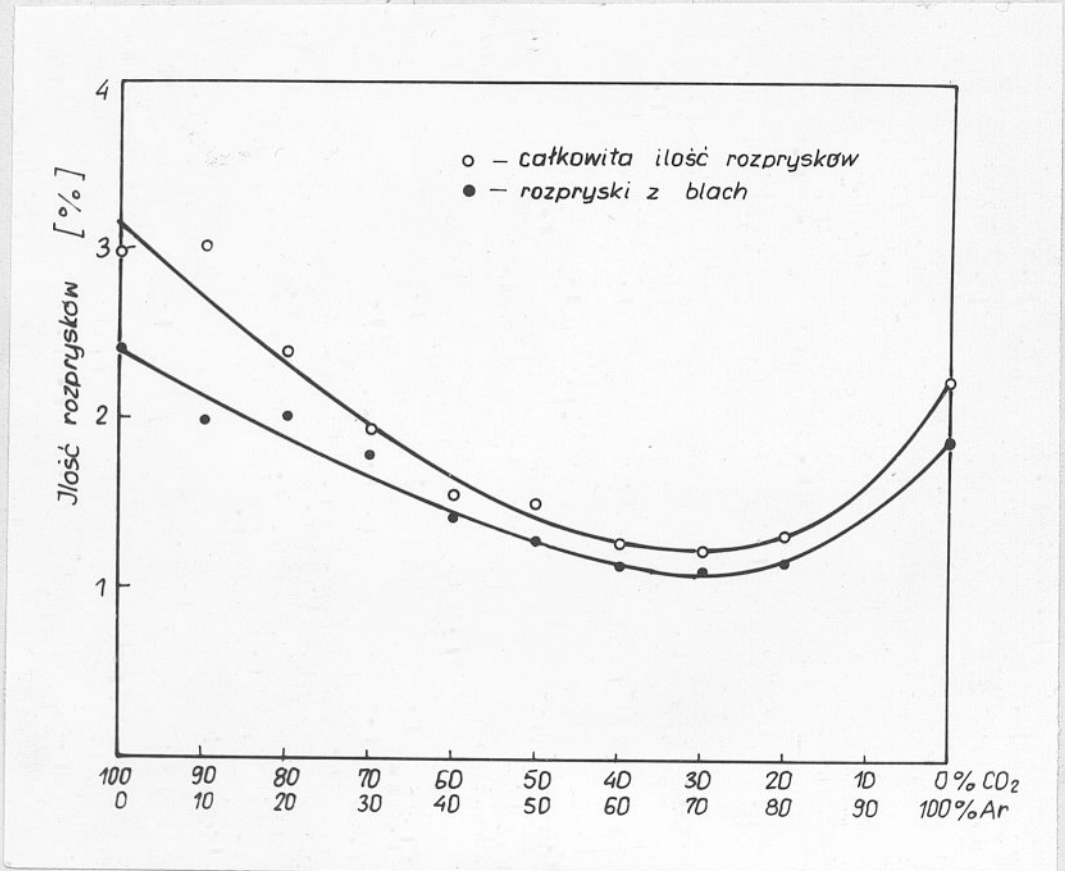


Rys.35 Wpływ składu mieszanki Ar+CO₂ na ilość powstających rozprysków przy spawaniu blach o grubości 8 mm.

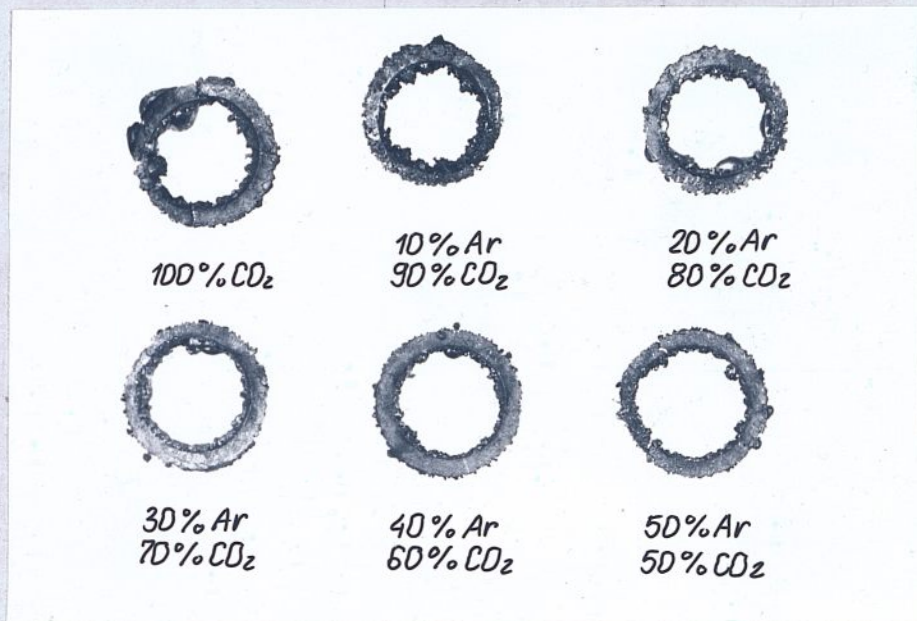


Rys.36 Wpływ składu mieszaniny Ar+CO₂ na wielkość powstających rozprysków /za 100 % przyjęto ilość rozprysków większych od 0,8 mm, przy spawaniu drutem elektr. o śr. 1,6 mm/ Blacha o grubości 8 mm.

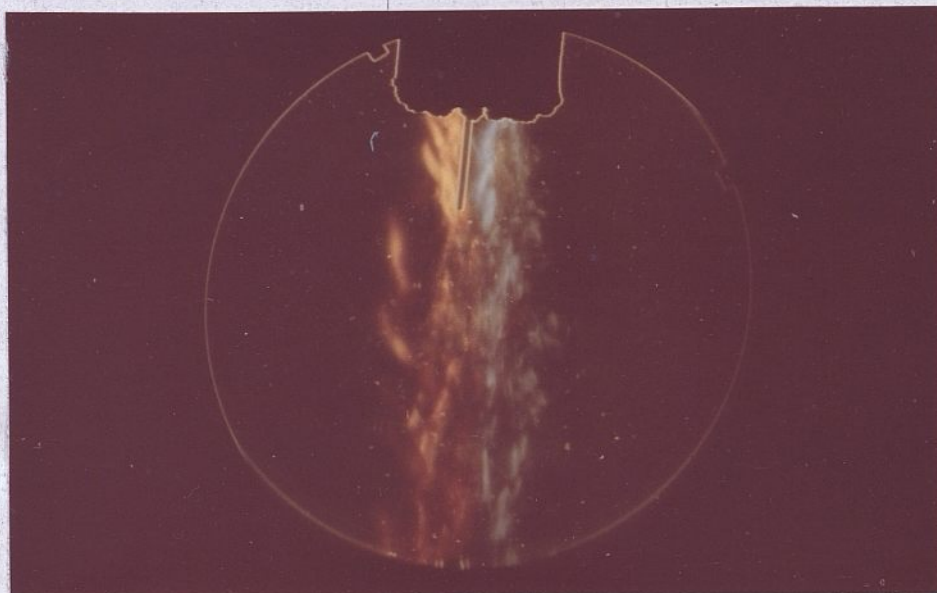
Na rys.39 a pokazano wygląd strugi gazu wypływającego z dyszy gazowej po 15 minutach spawania w warunkach produkcyjnych w osłonie CO₂, a na rys. 39b w osłonie mieszaniny 40%Ar+60%CO₂. Zakłócenia w wypływie gazu z dyszy po spawaniu w CO₂ są znacznie większe niż podczas spawania w mieszaninie.



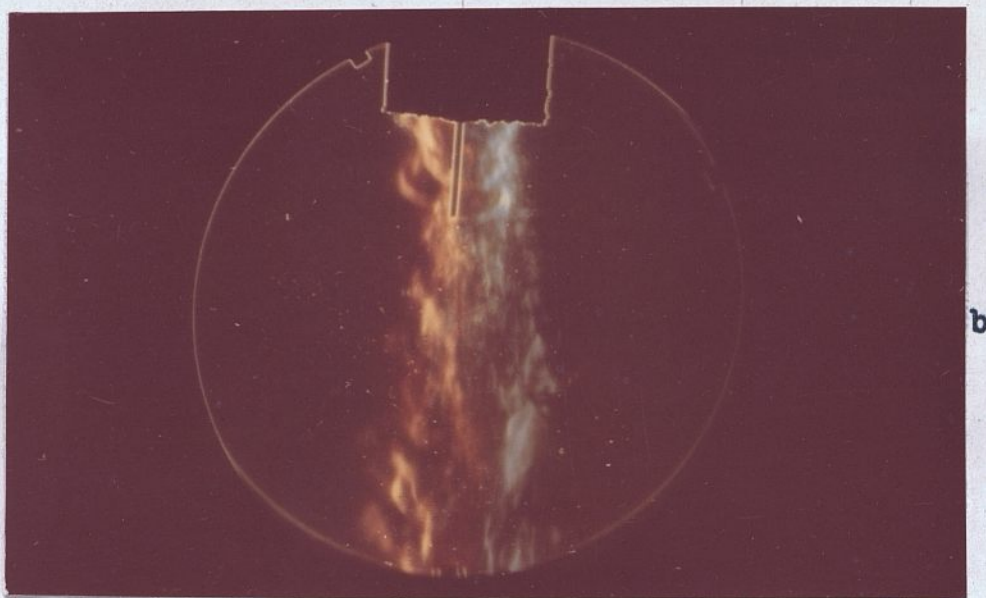
Rys.37 Wpływ składu mieszanki Ar+CO₂ na ilość powstających rozprysków przy spawaniu blach o grubości 4 mm.



Rys.38 Wygląd rozprysków zebranych z dyszy gazowej po spawaniu w osłonie CO_2 i mieszanin $Ar+CO_2$ / $\phi 1,2$ mm, blacha o grubości 8 mm/.



a

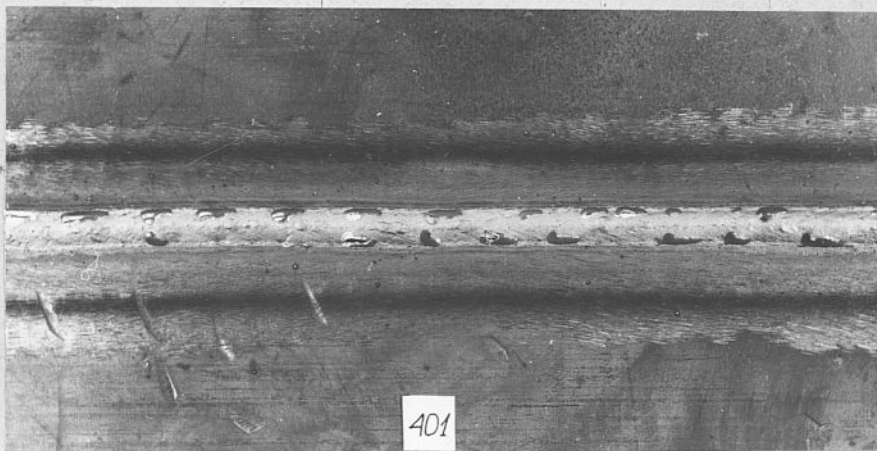


Rys.39 Wypływ gazu z dyszy z osadzonymi rozpryskami
po 15 minutach spawania

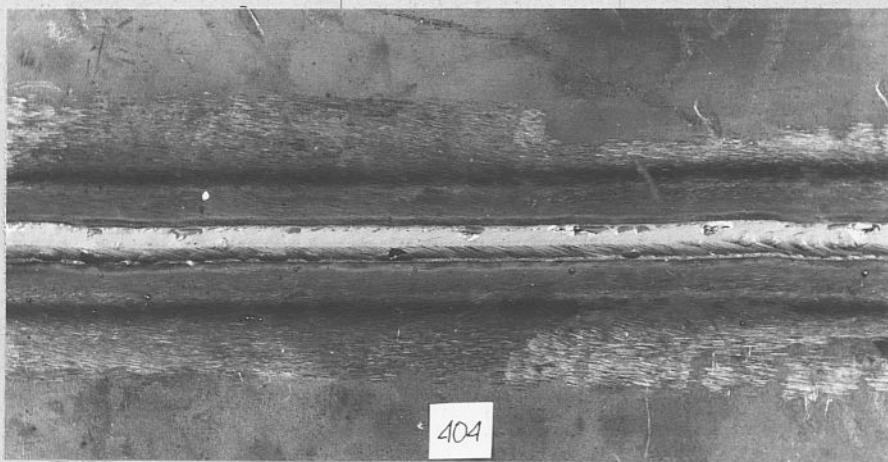
a/ w osłonie CO_2

b/ w osłonie 40 % Ar+60% CO_2

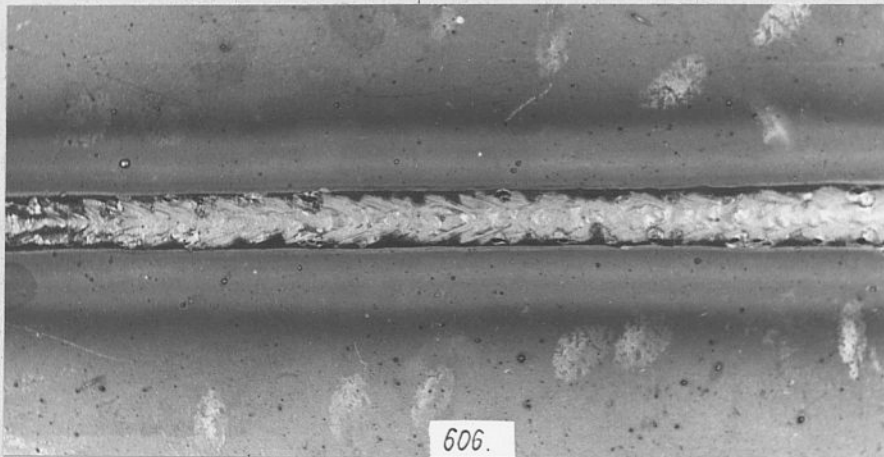
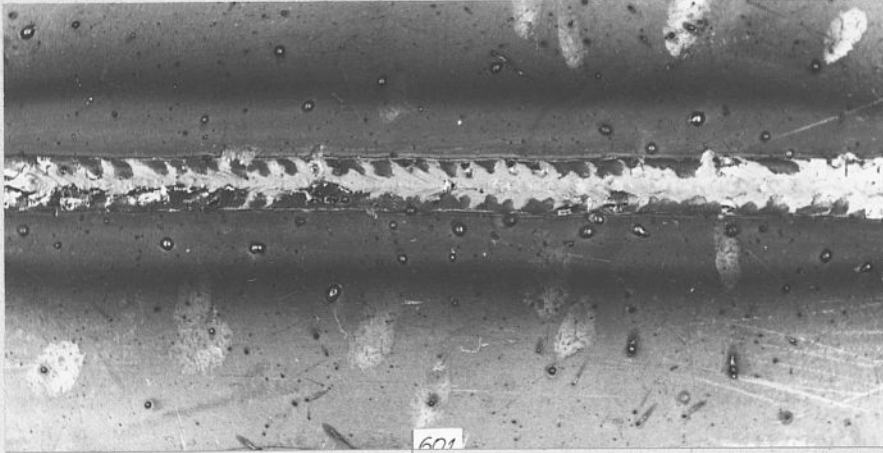
Na złączach z blach o grubości 4 mm, spawanych drutem elektrowym o średnicy 1,2 mm jest mała ilość osadzonych rozprysków. Spowodowane jest to niskimi parametrami spawania /tabl.8/, przy których ilość powstających rozprysków jest znacznie mniejsza. Tym niemniej złącza spawane w mieszaninach mają bardziej estetyczny wygląd lica spoiny i niemal zupełny brak rozprysków osadzonych na blachach /rys.40,41/.

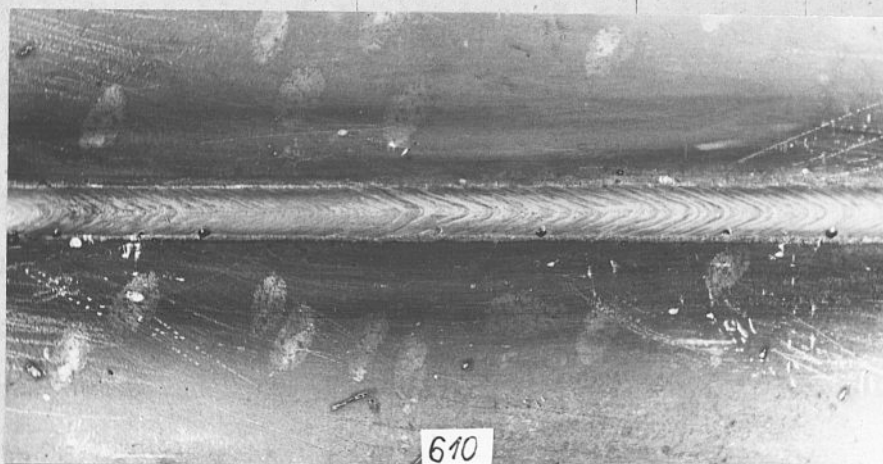


Rys.40 Złącze z blachy o grubości 4 mm, wykonane w osłonie CO_2 /Sp1GS śr. 1,2mm/



Rys.41 Złącze z blachy o grubości 4 mm wykonane w osłonie mieszaniny 40%Ar+60% CO_2 /Sp1GS śr.1,2 mm/





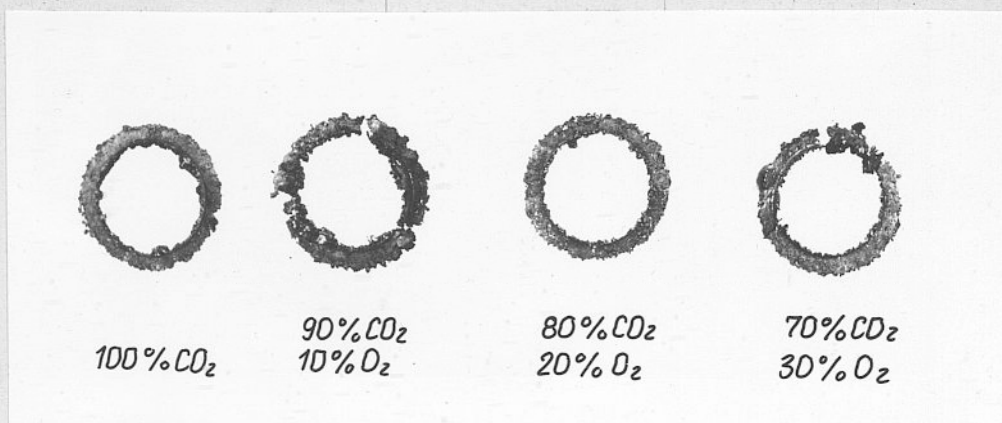
Rys. 42 Wygląd złącz z blachy o gr. 8 mm, spawanej w osłonie nst. gazów /Sp1GS, śr. 1,2 mm/:

- a/ 100 % CO₂
- b/ 40 % Ar + 60% CO₂
- c/ 80 % Ar+20%CO₂

Wygląd złącz po spawaniu w zależności od składu atmosfery ochronnej przedstawiają rys. 40, 41 i 42. Tak więc wyraźne zmniejszenie ilości osadzonych rozprysków, przy najmniejszych nakładach ekonomicznych, uzyskuje się podczas spawania w mieszaninie 40 %Ar+60%CO₂, natomiast stosowanie mieszaniny 80%Ar + 20%CO₂ całkowicie eliminuje konieczność oczyszczania złącz z rozprysków.

8.2.2. Mieszanina $\text{CO}_2 + \text{O}_2$

Zależność ilości powstających rozprysków od składu mieszaniny $\text{CO}_2 + \text{O}_2$ przedstawia rys. 44, 45 i 46. Dodatek tlenu powoduje gwałtowne zwiększenie ilości rozprysków, tak, że podczas spawania w mieszaninie 60% CO_2 + 40% O_2 otrzymuje się o blisko 100% więcej rozprysków niż w samym CO_2 . Znaczna ilość rozprysków osadzających w dyszy gazowej uchwytu spawalniczego wskazuje na ich dużą energię kinetyczną /rys.48/.

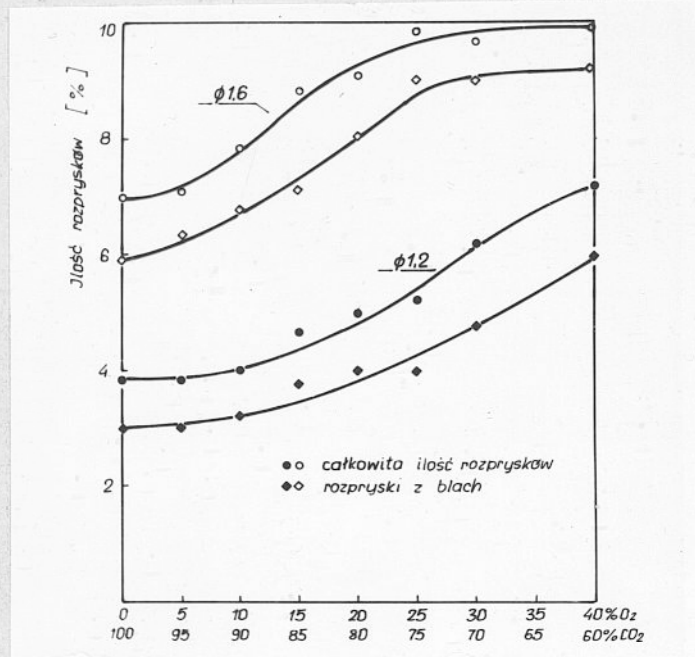


Rys.48 Wygląd rozprysków zebranych z dyszy gazowej po spawaniu w osłonie CO_2 i mieszanin $\text{CO}_2 + \text{O}_2$ / \varnothing 1,2 mm, blacha o grub. 4 mm/

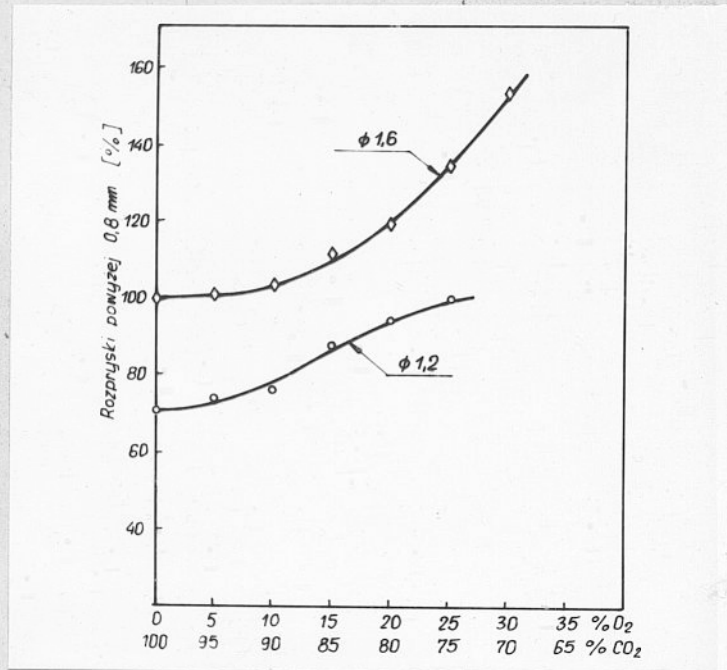
Obserwowano duże wypalanie składników stopowych, co widoczne było w postaci żuźla powstającego na spoinach.

Zaznaczyć trzeba, że usuwanie rozprysków z blach było łatwiejsze w porównaniu do innych mieszanin. Sądzę, że powodem tego było większe utlenianie się powierzchni rozprysków, przez co zmniejsza się możliwość zgrzewania ich z blachą.

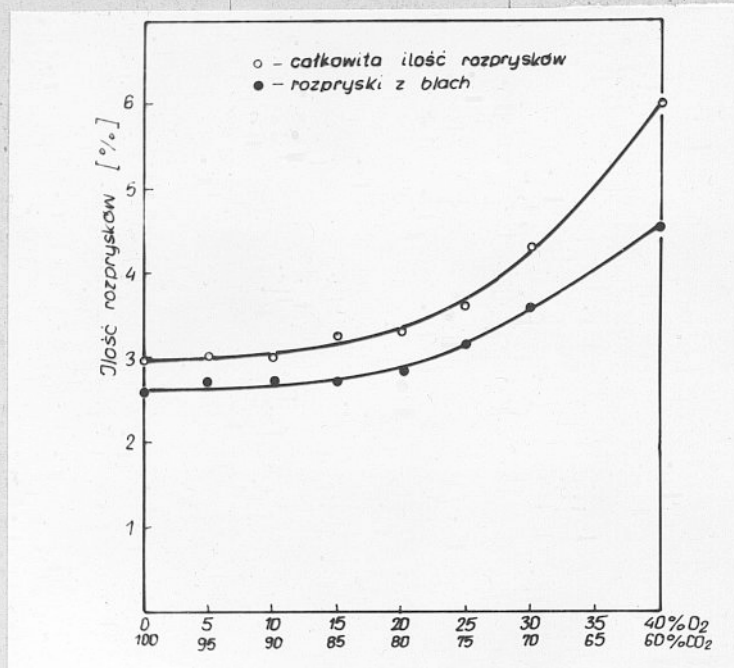
Przykładowy wygląd złącz po spawaniu przedstawia rys.47.



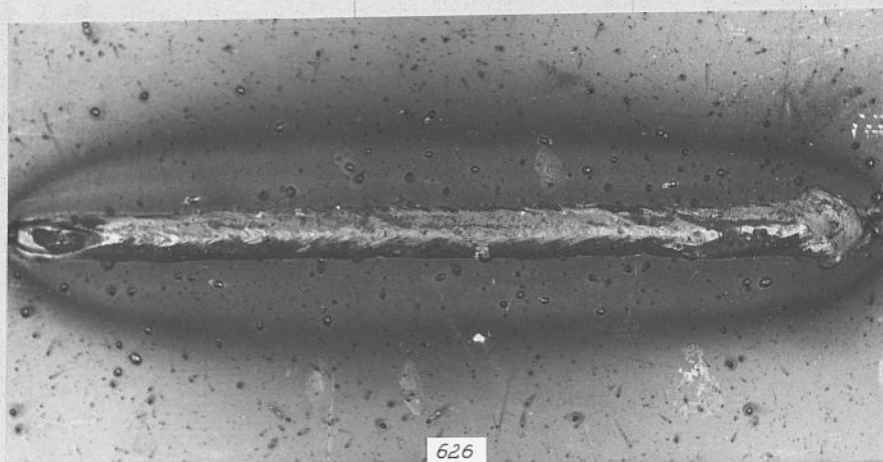
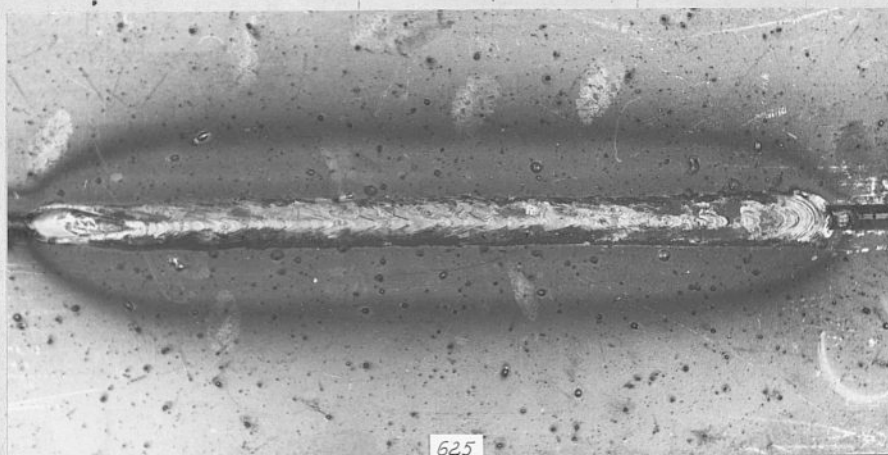
Rys.44 Wpływ składu mieszaniny CO₂+O₂ na ilość powstających rozprysków przy spawaniu blach o grubości 8 mm.



Rys. 45 Wpływ składu mieszaniny CO_2+O_2 na wielkość powstających rozprysków /za 100% przyjęto ilość rozprysków większych od 0,8 mm przy spawaniu drutem elektrodowym o średnicy 1,6 mm/.



Rys. 46 Wpływ składu mieszaniny CO_2+O_2 na ilość powstających rozprysków przy spawaniu blach o grub. 4 mm.



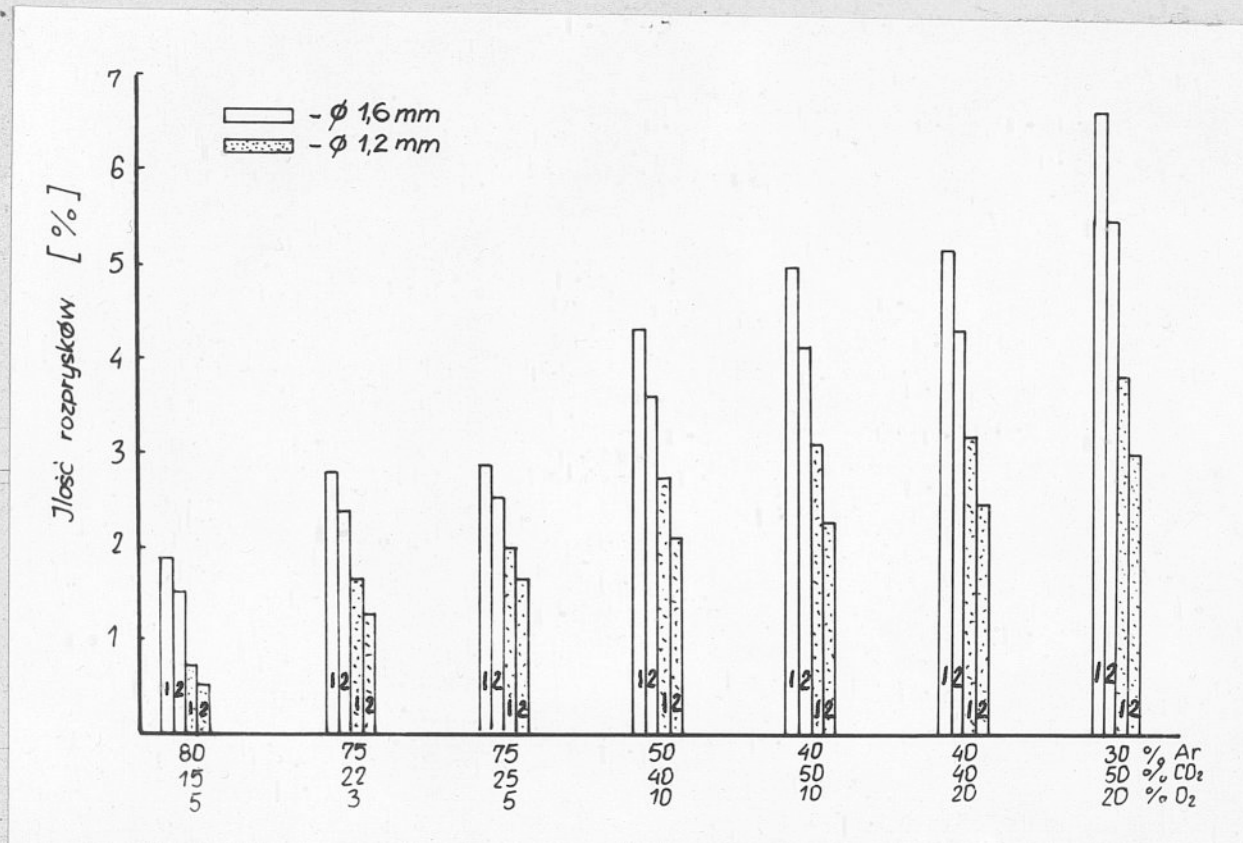
Rys.47 Wygląd złącz z blach o grubości 8 mm, spawanych
w mieszaninie

a/ $85\%CO_2+15\%O_2$

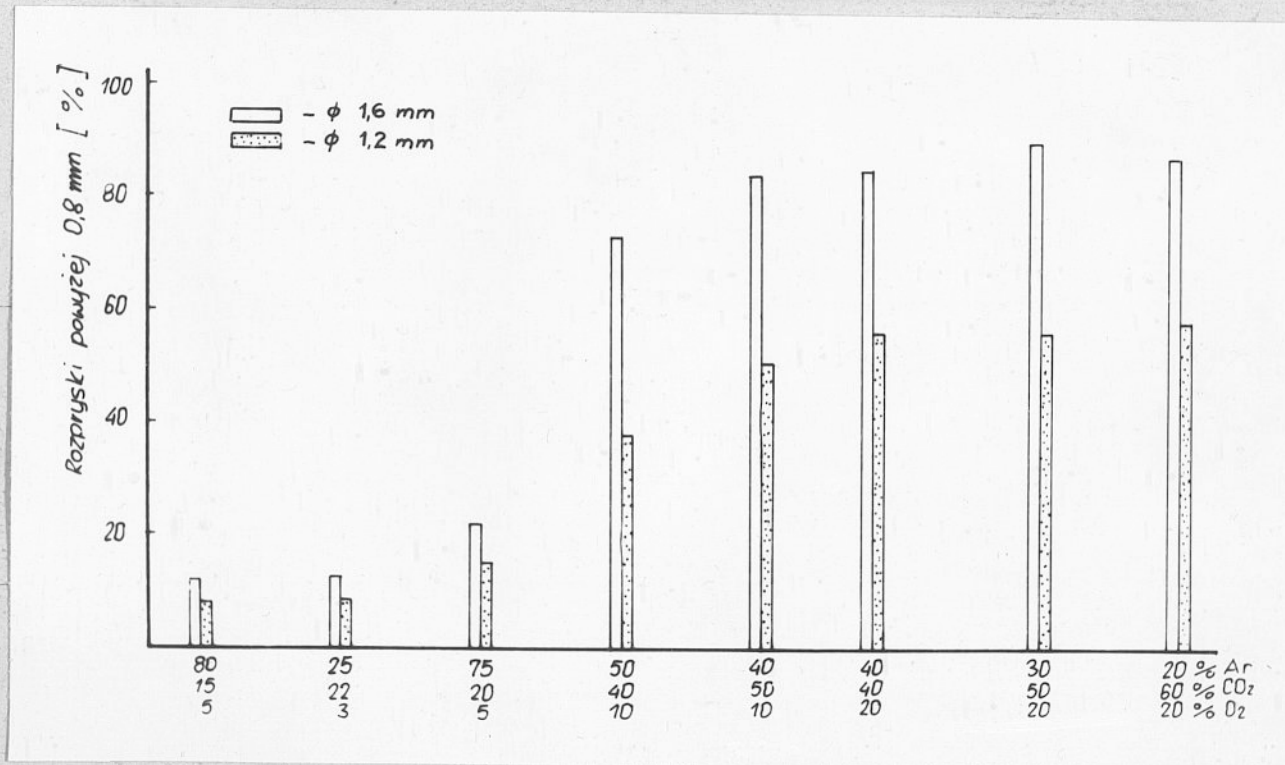
b/ $70\%CO_2+30\%O_2$

8.2.3. Mieszanina trójskładnikowa Ar+CO₂+O₂

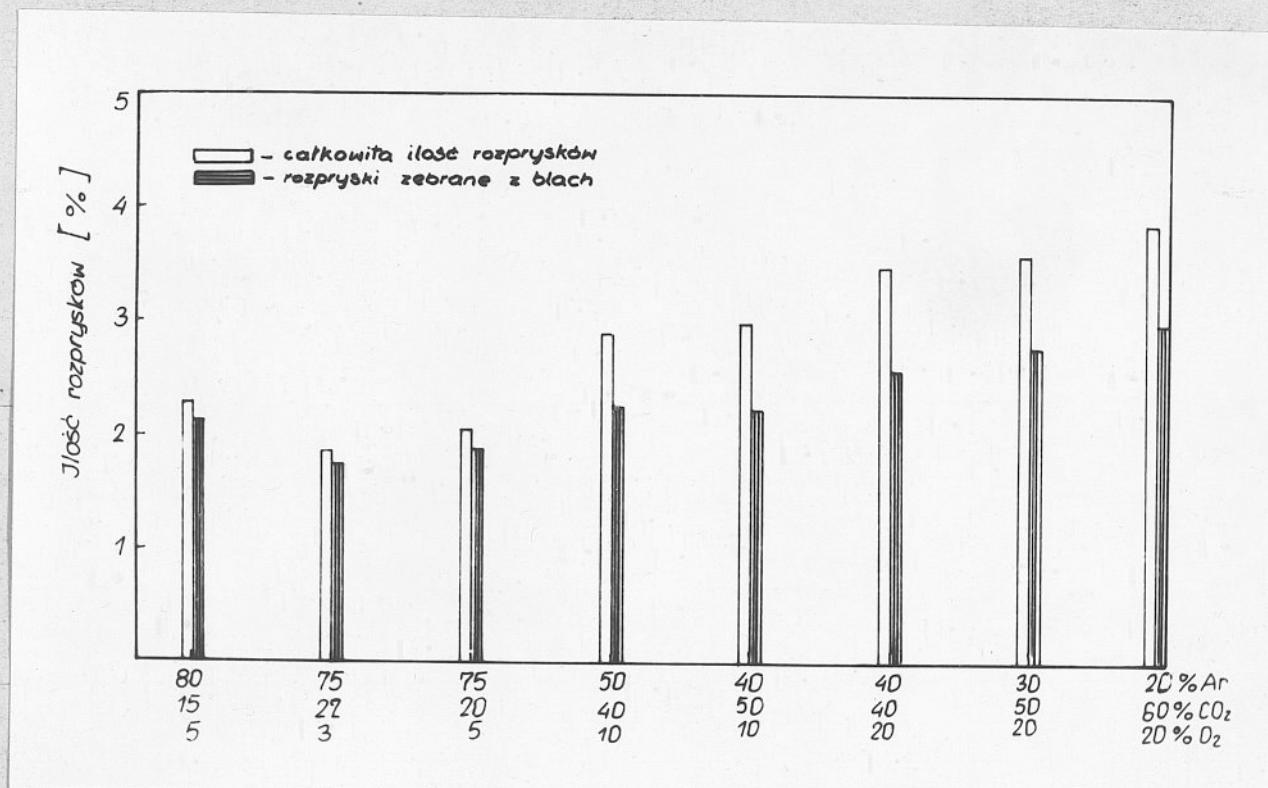
Najmniej rozprysków powstaje podczas spawania blach w mieszaninie gazu ochronnego o składzie 80%Ar+15%CO₂+5%O₂, 75%Ar+22%CO₂+3%O₂ oraz 70%Ar+25%CO₂+5%O₂. Zwiększenie udziału tlenu w mieszaninie gazu ponad 5%, podczas spawania blach o grubości 4 mm, powoduje zwiększenie ilości rozprysków wskutek zakłóceń procesu spawania spowodowanych większą głębokością wtopu. Ilościowe zależności powstających rozprysków od składu mieszaniny gazu ochronnego podano na rys.48,49 i 50. Tlen w mieszaninie gazu ochronnego nie wpływa na zmniejszenie ilości powstających rozprysków, a podczas spawania cienkich blach wręcz zwiększa intensywność rozprysku. Wygląd złącza pokazano na rys.51.



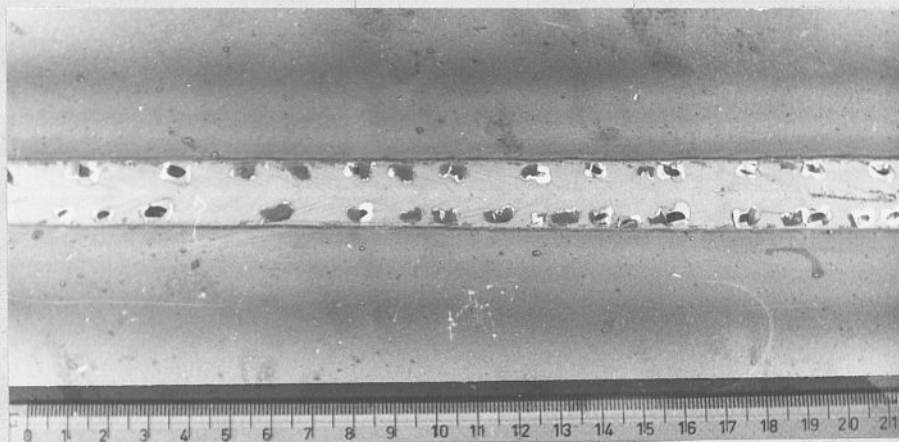
Rys.48 Wpływ składu mieszaniny Ar+CO₂+O₂ na ilość powstających rozprysków przy spawaniu blach o grub. 8 mm (1 - całkowita ilość rozprysków, 2 - rozpryski z blach)



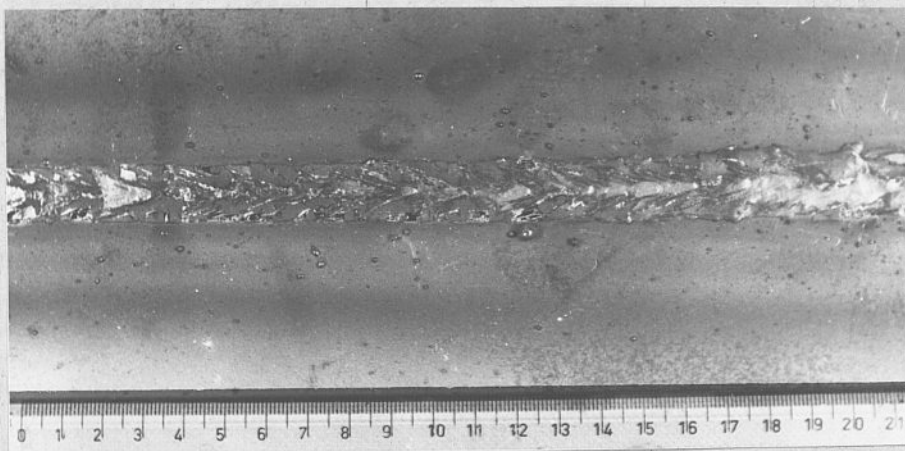
Rys. 49 Wpływ składu mieszanki Ar+CO₂O₂ na wielkość powstających rozprysków (za 100 % przyjęto ilość rozprysków większych od 0,8 mm, przy spawaniu drutem el. Ø1,6 mm) Blacha o grub. 8 mm



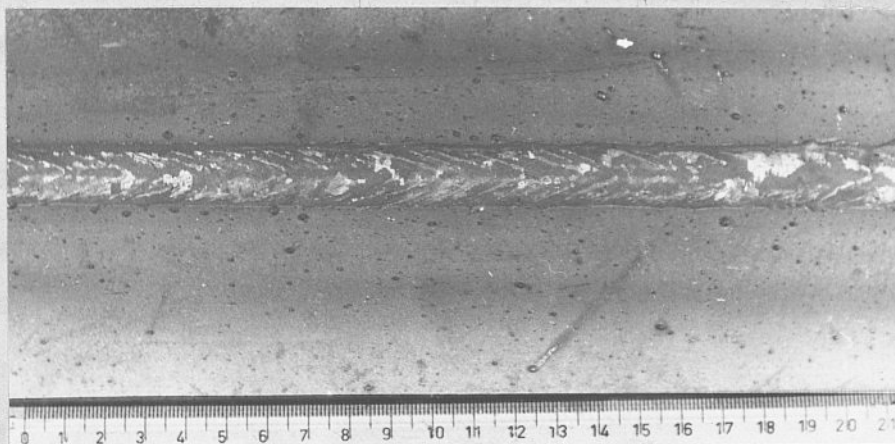
Rys.50 Wpływ składu mieszanki Ar+CO₂+O₂ na ilość powstających rozprysków przy spawaniu blach o grubości 4 mm.



a



b



c

Rys.51 Wygląd złączeń z blachy o grubości 8 mm spawanych w osłonie mieszaniny /Sp1GS, ϕ r.1,2 mm/

a/ 75%Ar+22%CO₂+3%O₂

b/ 50%Ar+40%CO₂+10%O₂

c/ 30%Ar+50%CO₂+20%O₂

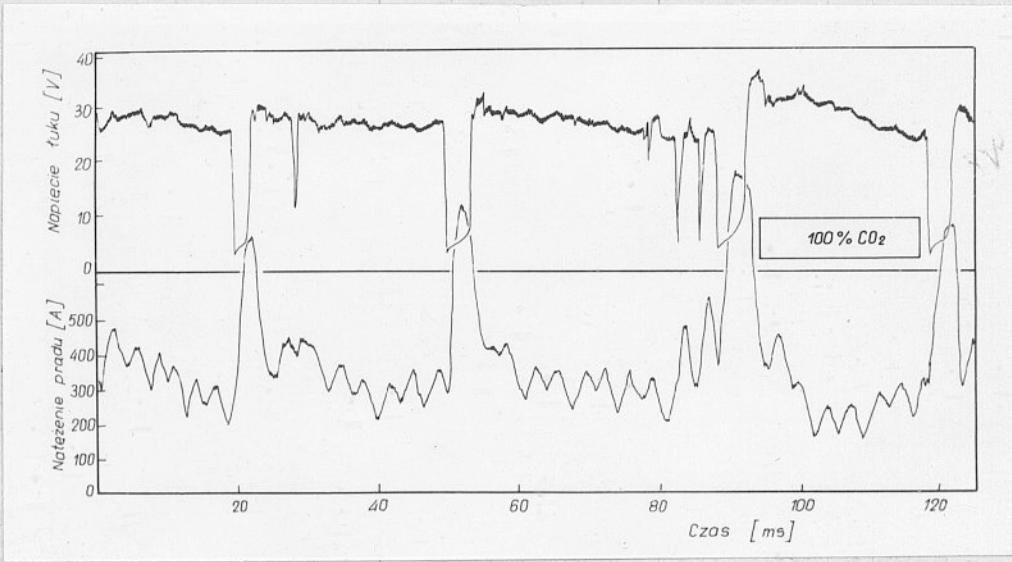
9. BADANIA PRZECHODZENIA METALU ELEKTRODOWEGO W ŁUKU

Przeprowadzono badania mające na celu wyjaśnienie wpływu mieszanin gazowych na ilość powstających rozprysków.

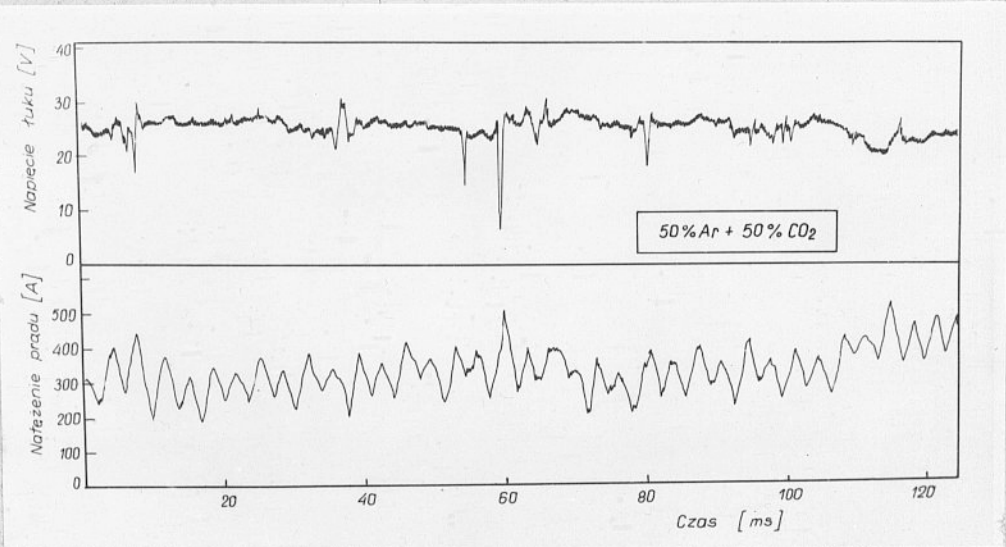
Podczas spawania zdejmowano oscylogramy przebiegu natężenia prądu i napięcia łuku. Przykładowe przebiegi oscylogramów pokazano na rys.52.

Wyniki uzyskane z oscylogramów dla spawania z użyciem drutu elektrodowego o średnicy 1,2 mm poddano analizie matematycznej, skąd otrzymano średnią liczbę zwarć, średni czas zwarcia, odchylenia standardowe czasu zwarcia i średnią maksymalną wartość natężenia prądu zwarcia /rys.53,54,55/. Z tych badań wynikają następujące wnioski:

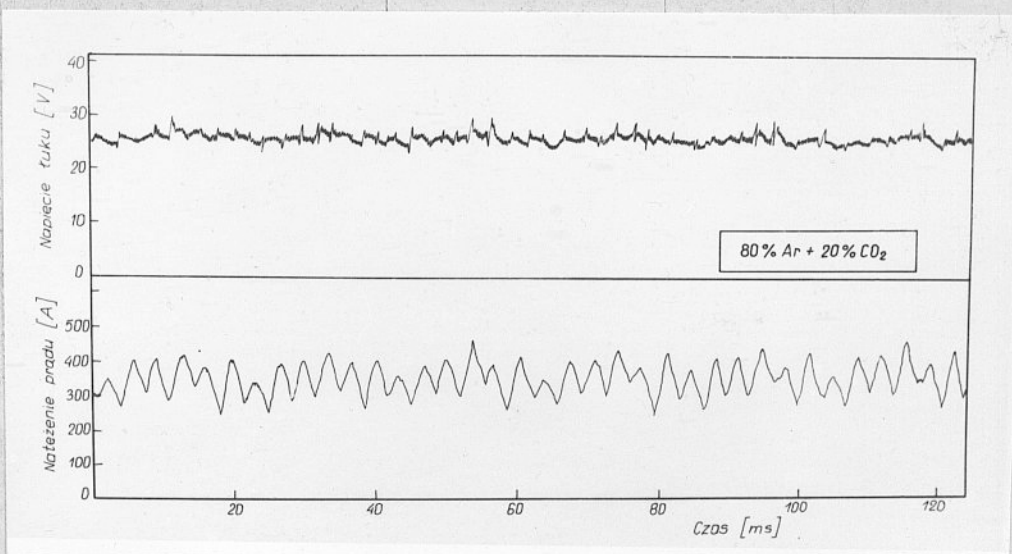
- częstość zwarć zwiększa się przy zastosowaniu mieszanin gazowych, a przy zawartości argonu w mieszaninie powyżej 70% obserwuje się natryskowy sposób przechodzenia metalu elektrody.
- Tlen w mieszaninie CO_2+O_2 tylko nieznacznie zwiększa częstość zwarć,
- czas trwania zwarcia podczas spawania w mieszaninach ulega skróceniu
- natężenie prądu zwarcia wskutek zastosowania mieszanin jest niższe,
- największą stabilność jarzenia się łuku, której miarą jest m.in. odchylenie standardowe czasu zwarcia, uzyskuje się podczas spawania w mieszaninach $Ar+CO_2$ zawierających powyżej 40 % Ar, w mieszaninach CO_2+O_2 - z dodatkiem ponad 20 % tlenu, a w mieszaninie trójskładnikowej $Ar+CO_2+O_2$ przy zawartości ponad 40%Ar.



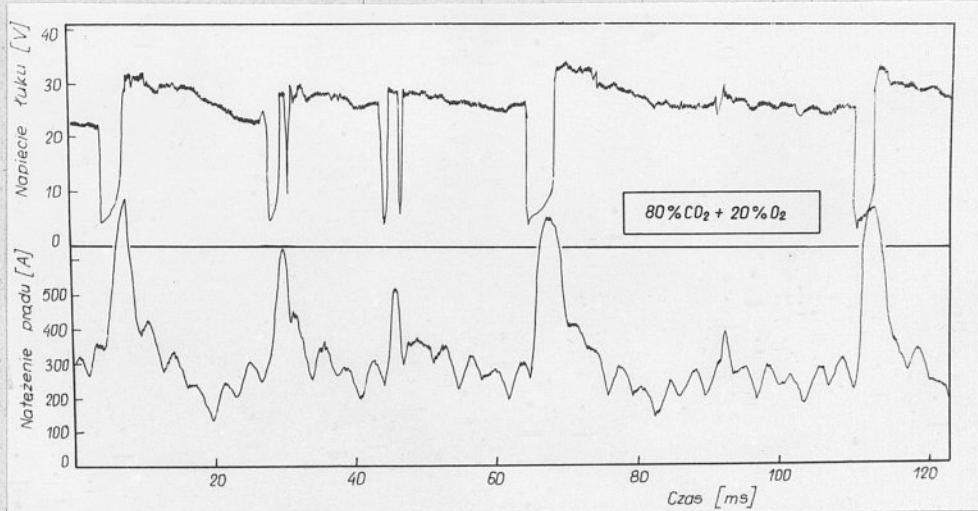
a.



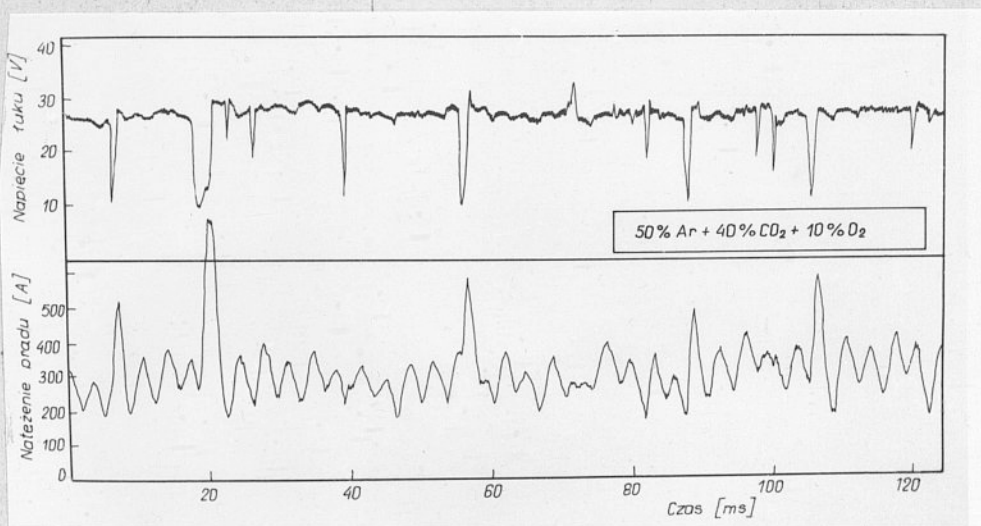
b



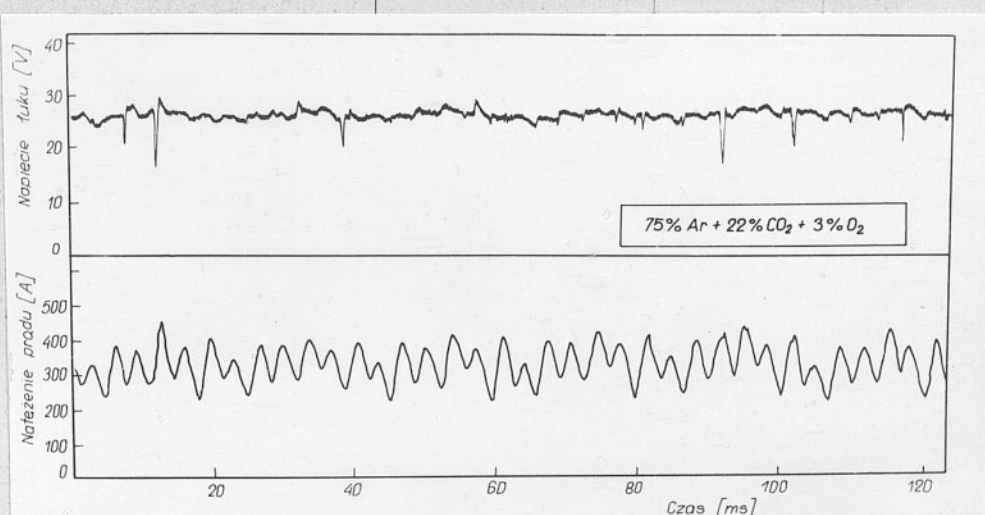
c



d

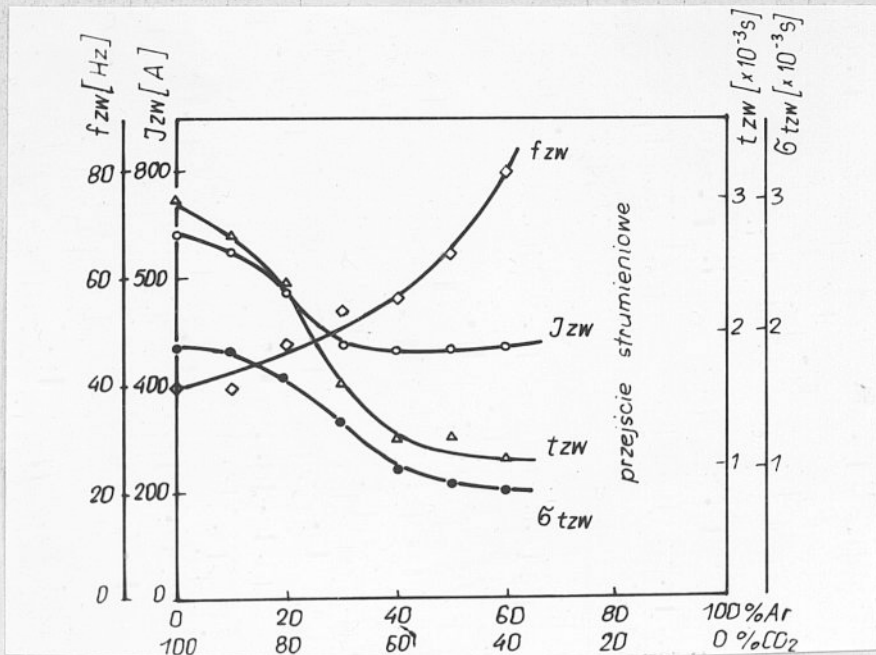


e

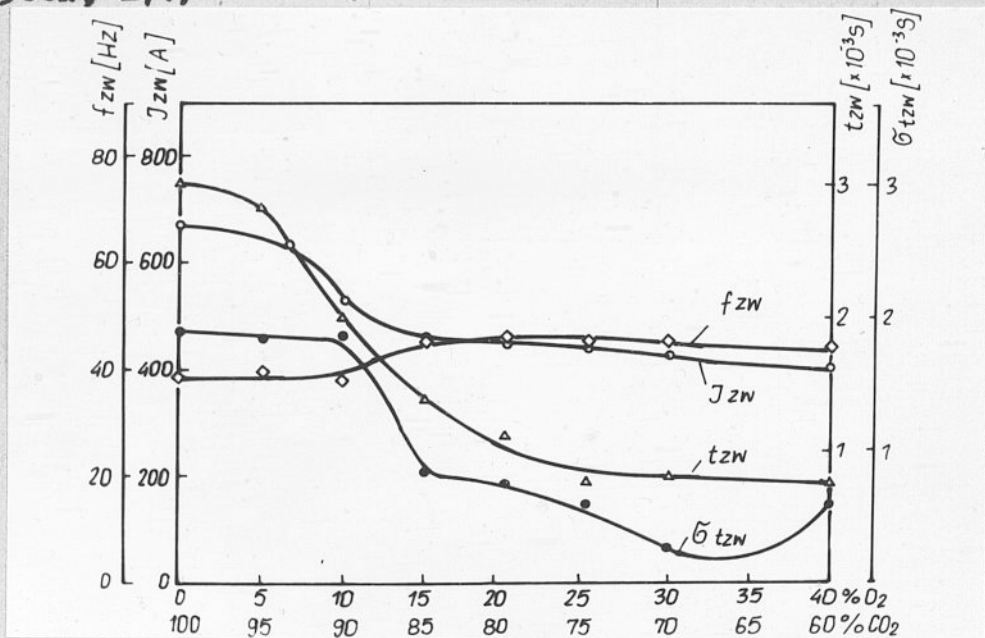


f

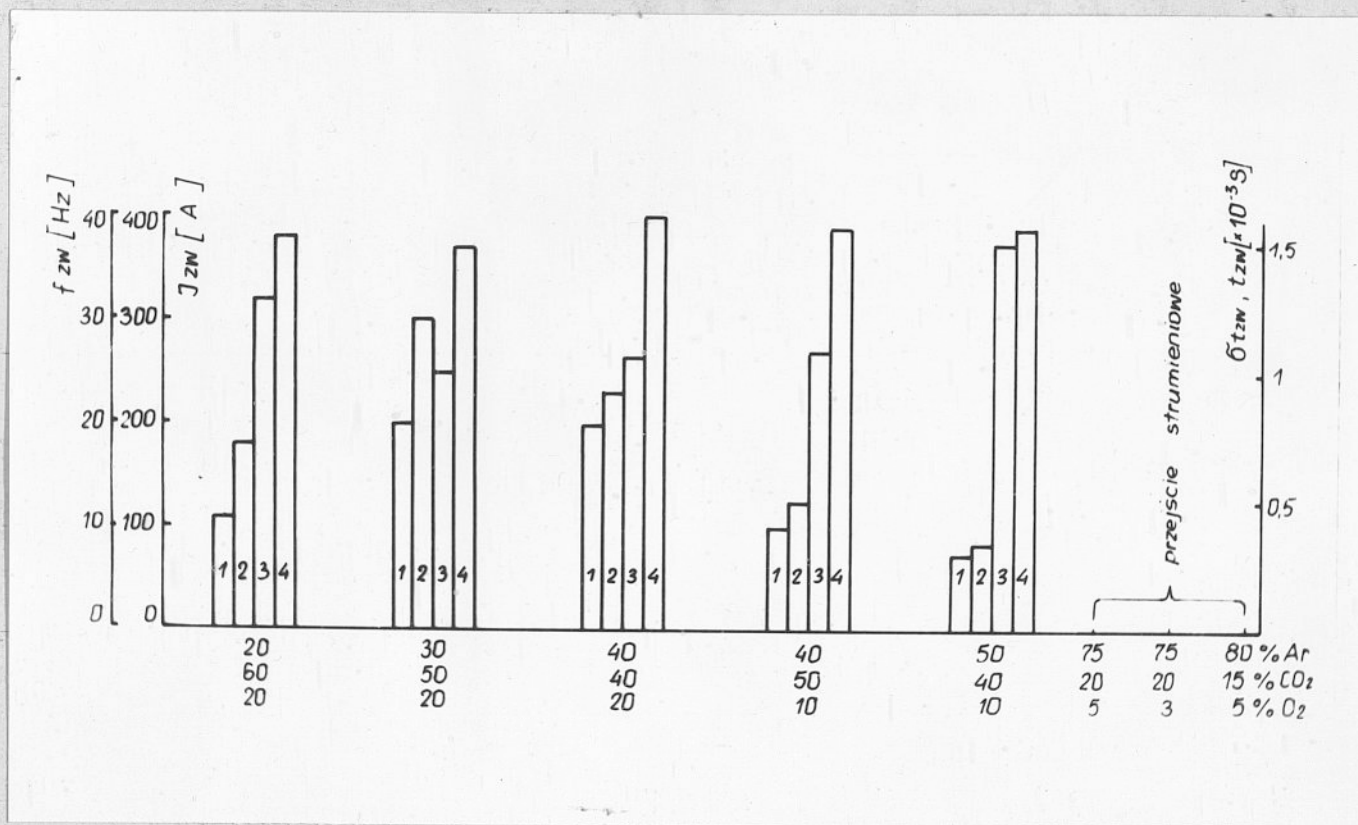
Rys.52 Przebieg zmian napięcia łuku i natężenia prądu, podczas spawania blach o grub. 8 mm /27V, 300A/ w osłonie gazów /Sp1GS, śr 1,2 mm/
 a/ 190%CO₂ b/ 50%Ar+50%CO₂ c/ 80%Ar+20%CO₂
 d/ 80%CO₂+20%O₂ e/ 50%Ar+40%CO₂+10%O₂ f/75%Ar+22%CO₂+3%O₂



Rys.53 Wpływ składu mieszaniny Ar+CO₂ na częstość zwarć / f_{zw} /, natężenie prądu zwarcia / J_{zw} /, czas zwarcia / t_{zw} / i odchylenie standardowe czasu zwarcia σ_{tzw} / σ_{tzw} /, 2mm, 300A, 27V/



Rys.54 Wpływ składu mieszaniny CO₂+O₂ na częstość zwarć / f_{zw} /, natężenie prądu zwarcia / J_{zw} /, czas zwarcia / t_{zw} / i odchylenie standardowe czasu zwarcia σ_{tzw} / σ_{tzw} /, 1,2mm, 300A, 27V/.



Rys.55 Wpływ składu mieszaniny Ar+CO₂+O₂ na częstość zwarć /f_{zw}/, natężenie prądu zwarcia /I_{zw}/, czas zwarcia /t_{zw}/ i ochylenie standardowe czasu zwarcia σ_{tzw} /sr. 1,2 mm, 300A, 27V/. 1-σ_{tzw}; 2-t_{zw}; 3-f_{zw}; 4-I_{zw}

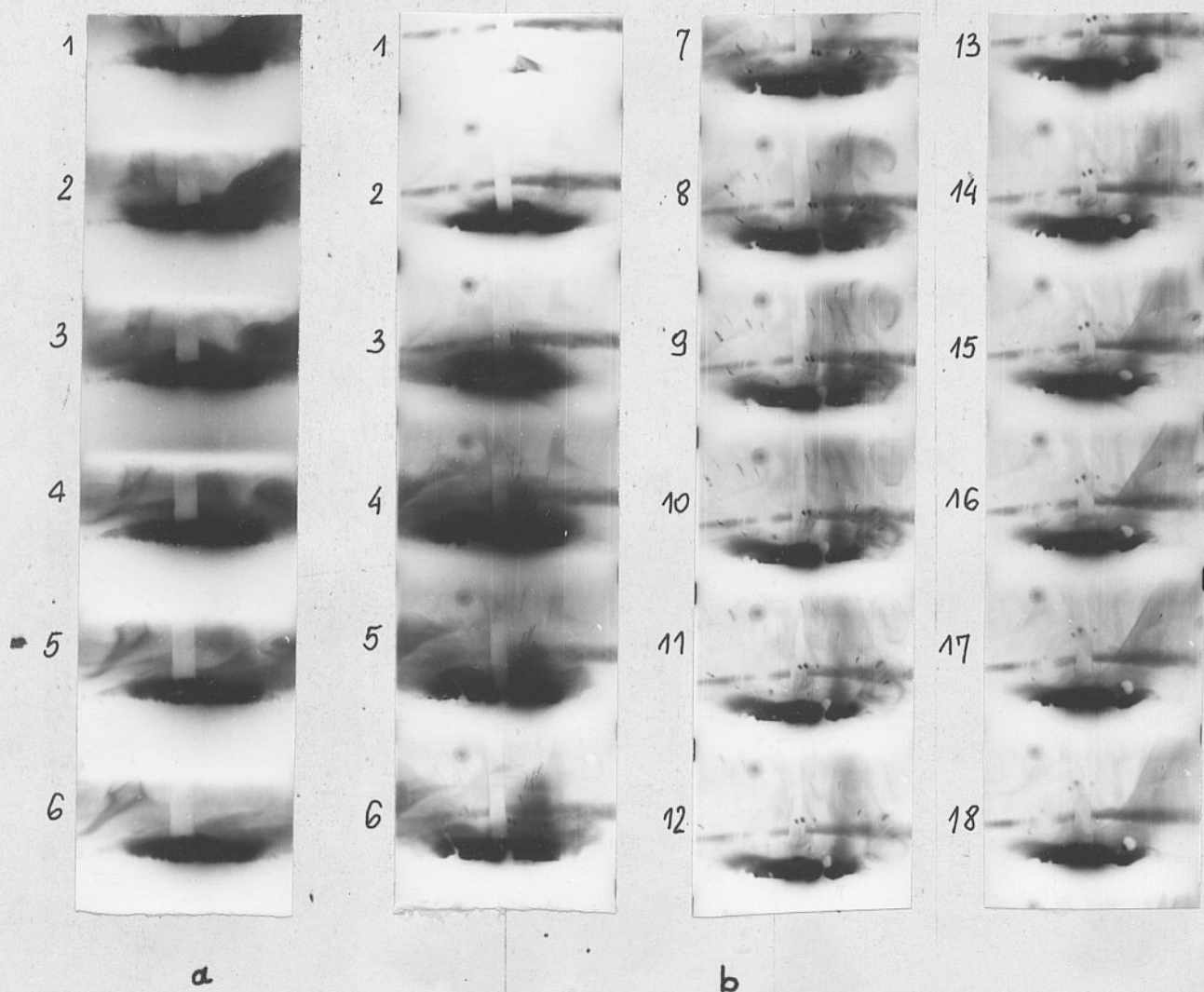
Podczas badań przechodzenia metalu elektrodowego w łuku z użyciem kamery do szybkich zdjęć /3000 zdjęć/sekundę/, przy parametrach prądowych 300A, 27V /drut elektrodowy Sp1GS o śr.1,2 mm/ stwierdzono występowanie dwóch rodzajów rozprysków. Są to duże krople wahające się na końcu elektrody, które mogą być wyrzucone poza strefę jeziora spawalniczego oraz rozpryski powstające z jeziora w chwilę po ponownym zajarzeniu łuku.

Podczas spawania w osłonie CO_2 występują oba rodzaje powstawania rozprysków, chociaż dominuje pierwszy sposób /rys.56b, 57/.

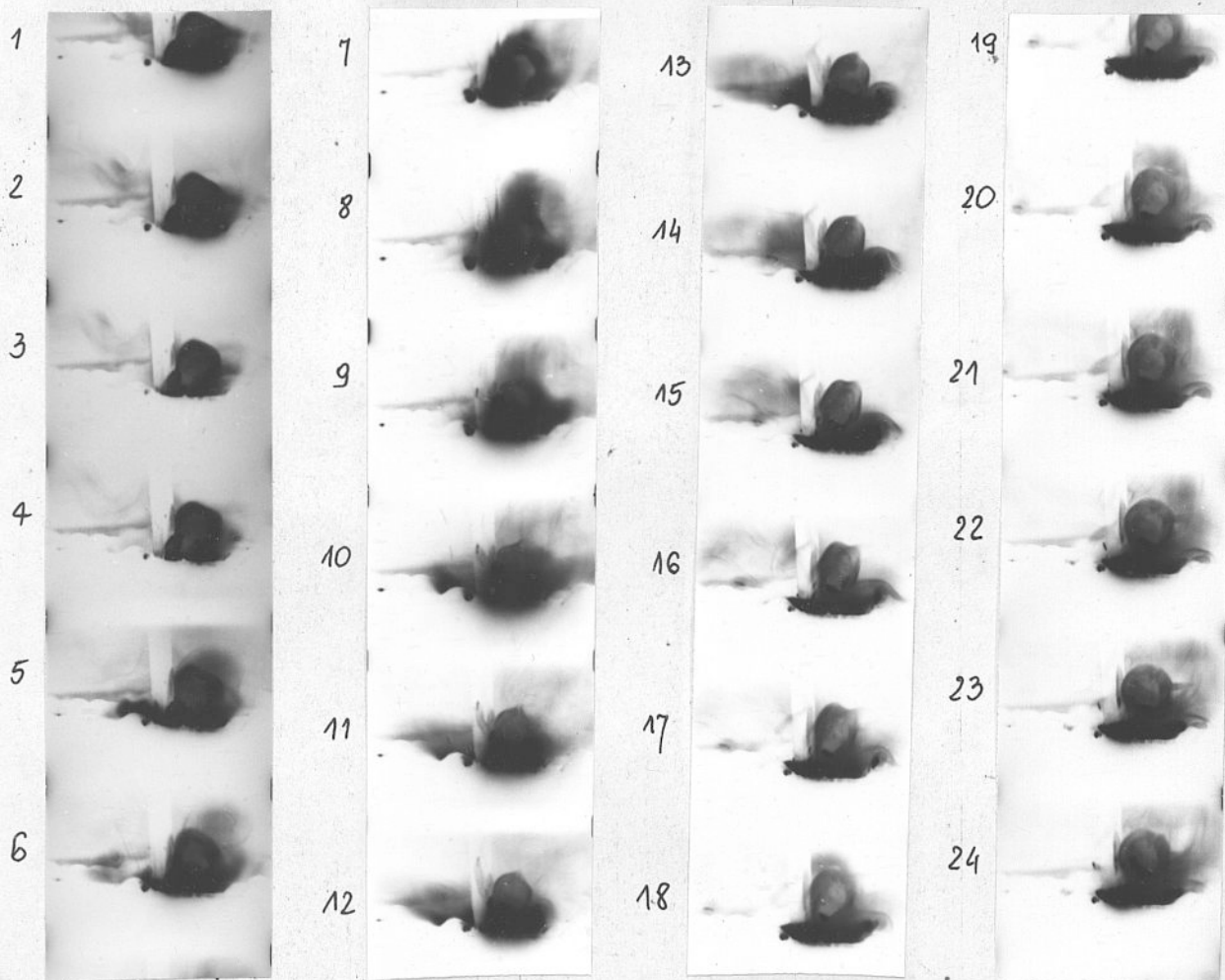
Natomiast podczas spawania w mieszaninie $50\%\text{Ar}+50\%\text{CO}_2$ rozpryski pochodzą wyłącznie z jeziora ciekłego metalu /rys.58/. Krople metalu na końcu elektrody są w całości objęte przez łuk, i o mniejszych wymiarach w porównaniu do spawania w CO_2 .

Podczas spawania w mieszaninie $80\%\text{Ar}+20\%\text{CO}_2$ obserwuje się natryskowy sposób przechodzenia materiału elektrodowego /rys.56a/, a źródłem drobnych rozprysków są zakłócenia w podawaniu drutu.

Spawanie w osłonie gazowej z dodatkiem tlenu, o składzie $80\%\text{CO}_2+20\%\text{O}_2$ charakteryzują się silniejszym w porównaniu do spawania w CO_2 , rozdmuchowaniem jeziora ciekłego metalu pod wpływem działania sił w łuku. ^Bponownym zajarzeniu się łuku po zwarciu powstaje z jeziora duża ilość rozprysków /rys.59/.

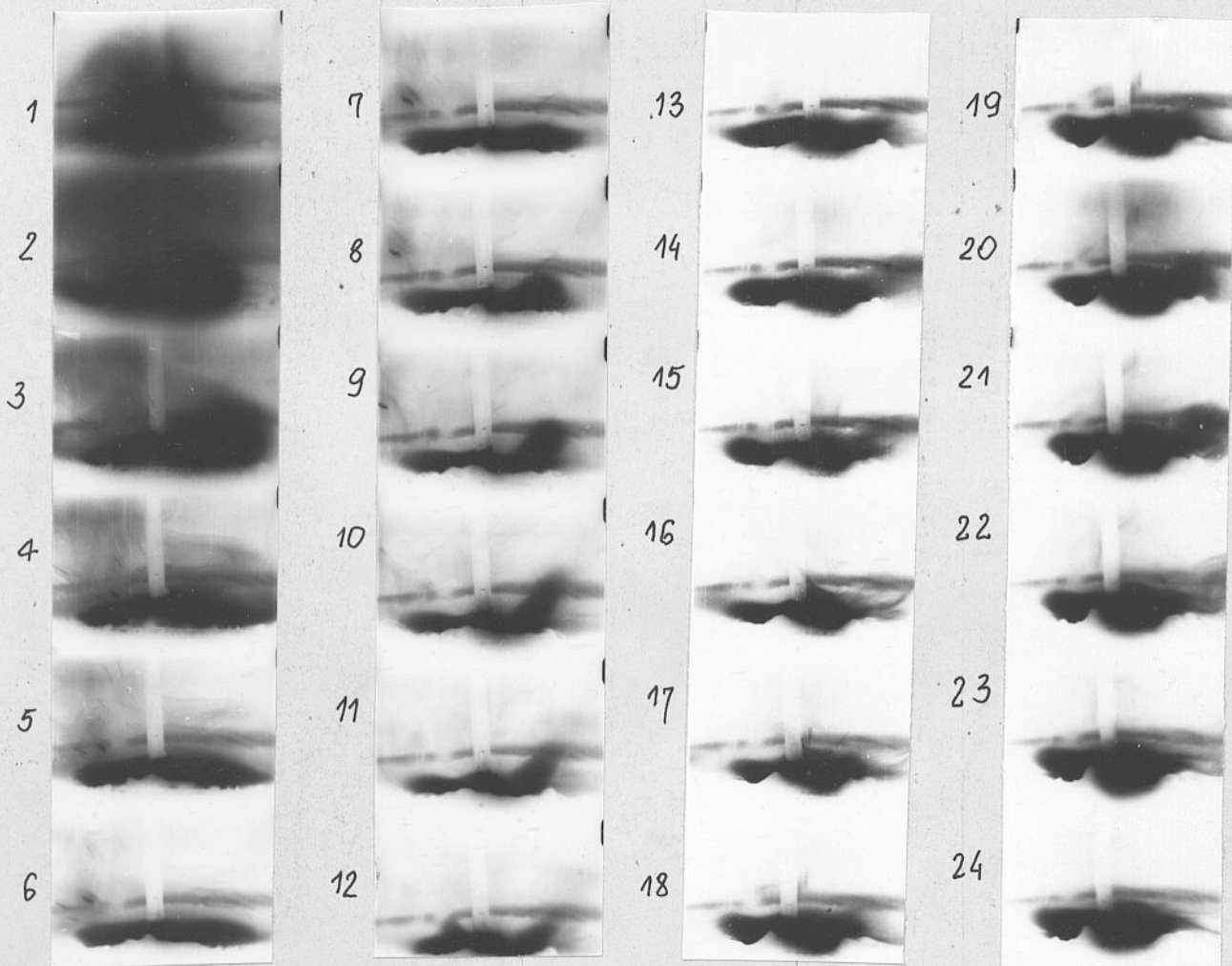


Rys.56 Sposób jarzenia się łuku podczas spawania w miesza-
ninie 80%Ar+20%CO₂ /a/, oraz w osłonie CO₂ /b/.
Podczas spawania w CO₂^{po} ponownym zajarzeniu łuku /2,3/
powstają z jeziorka drobne /4,5,6..../ i duże rozpryski
/11,12.../. Film pozytywowany, 3000 zdj./s.

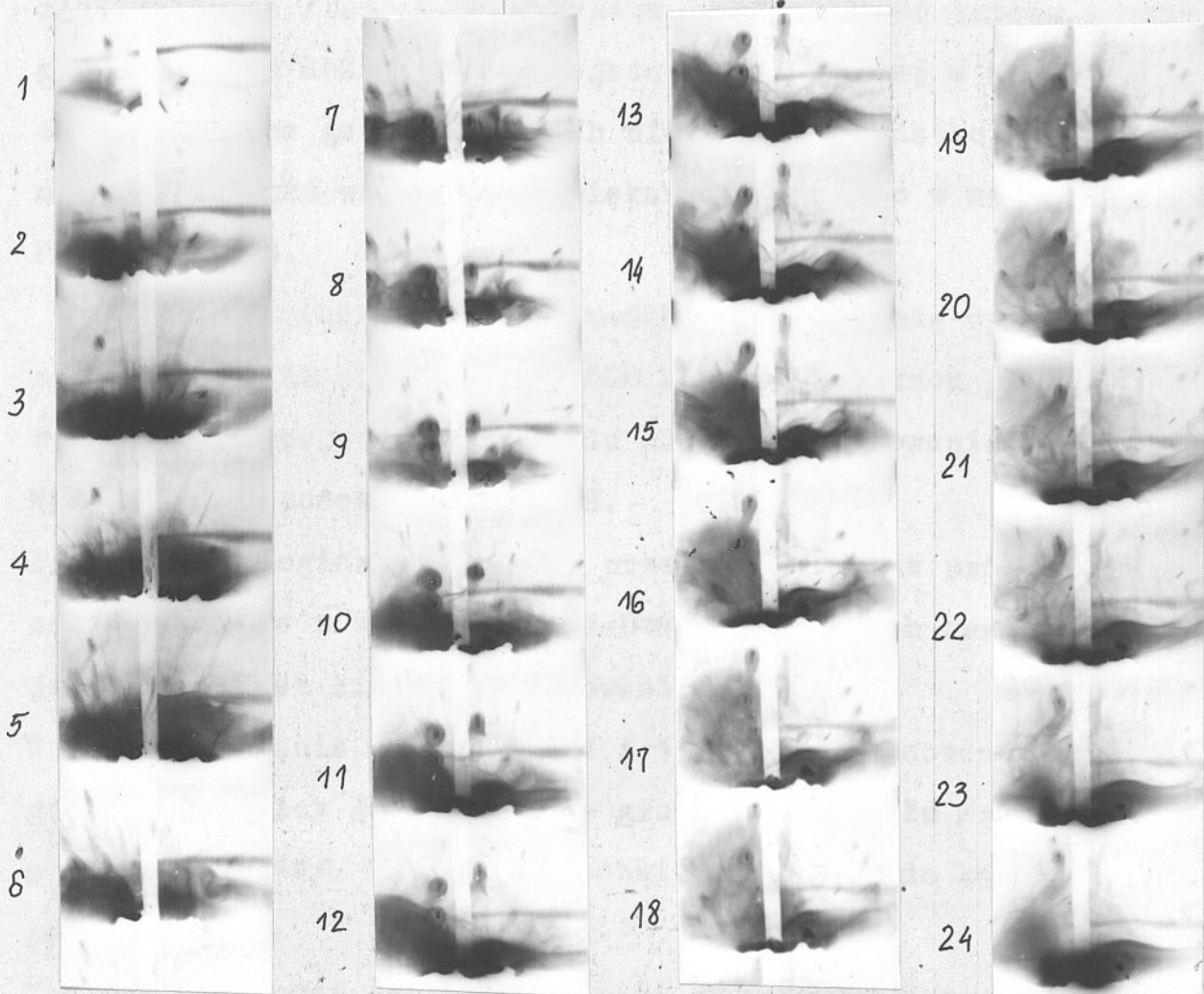


Rys.57 Wyrzucanie dużych kropeł z końca elektrody podczas spawania w osłonie CO_2 .

Film pozytywowy. 3000 zdj./s



Rys.58 Powstawanie rozprysków z jeziora spawalniczego podczas spawania w osłonie mieszanej 50%Ar+50%CO₂.
Film pozytywowany 3000 zdj./s.



Rys.59 Powstawanie rozprysków podczas spawania w osłonie mieszaniny $80\%CO_2+20\%O_2$

Widoczne silne zaburzenia jeziorka spawalniczego i wyrzucenie rozprysków.

Film pozytywowy 3000zdj/s.

10. WPŁYW SKŁADU GAZU OCHRONNEGO NA WŁASNOŚCI ZŁĄCZ SPAWANYCH

10.1. Sprawdzenie składu chemicznego i własności mechanicznych materiału rodzimego i drutów spawalniczych

Analiza chemiczna spawanych stali i stosowanych drutów elektrodowych /tabl.6,7/ wykazała, że zawartość krzemu i manganu w drucie Sp2GS jest mniejsza od określonej w normie, natomiast blacha gatunku 15G2ANb nie zawiera dodatku niklu i miedzi, a ilość wanadu jest większa niż podano w normie PN-72/H-84018.

Próby rozciągania przeprowadzono na maszynie wytrzymałościowej typu ZDM-50 /zakres 25000 kG/, na próbkach pobranych wzdłuż /W/ i poprzecznie /P/ do kierunku walcowania.

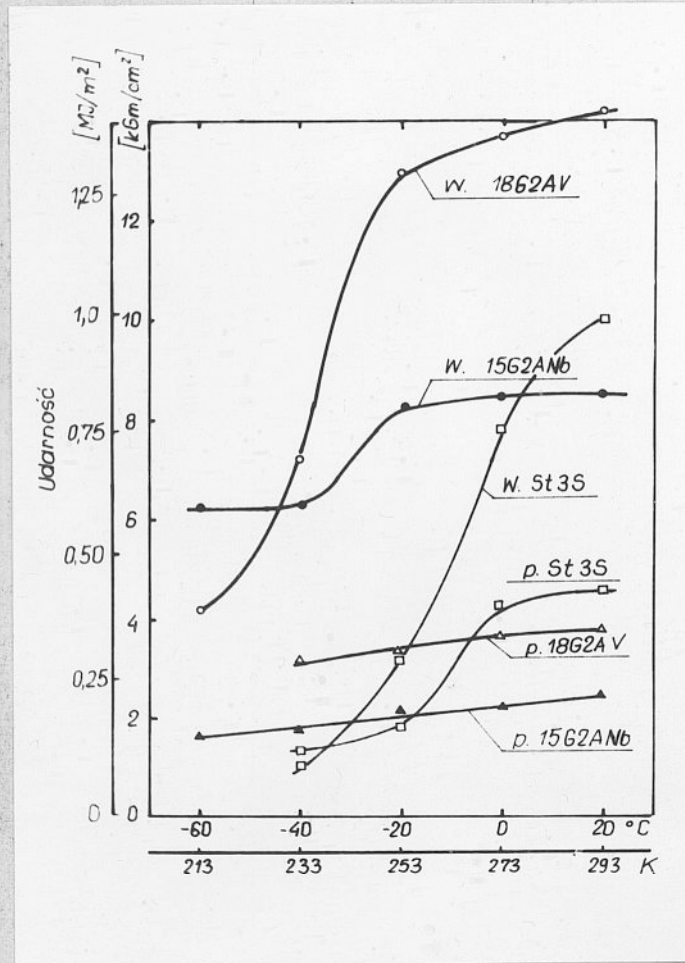
Wyniki badań podano w tabeli 9.

Próby technologiczne zginania przeprowadzono na próbkach wykonanych zgodnie z normą PN-77/H-04408, pobranych zarówno wzdłuż jak i w poprzek kierunku walcowania.

W próbie zginania stali 18G2AV i 15G2ANb zastosowano trzpień gnący o średnicy $3a$, gdzie a - grubość materiału /zgodnie z PN-72/H-84018/. Wszystkie próbki zgięły się do kąta 180° bez pęknięć.

Badania udarności na próbkach typu ISO-Charpy V z kerbem w kształcie litery V według normy PN-69/H-04370, pobranych wzdłuż i w poprzek kierunku walcowania przeprowadzono w zakresie temperatur 293-213 K /+20 do -69°C /. Próbki oziębiano w roztworze suchego lodu i skażonego spirytusu etylowego.

Otrzymane wyniki przedstawiono na rys.60. Na podstawie przeprowadzonych badań wytrzymałościowych należy stwierdzić, że zastosowana do spawania stal SSPW gatunku 15G2ANb posiada dla próbek wzdłużnych kategorię wytrzymałości E35 i odmianę plastyczności E, stal gatunku 18G2AV - kategorię wytrzymałości E42, odmianę plastyczności D /tylko dla próbek wzdłużnych/ a stal St3S spełnia wymagania podane w normie PN-72/H-84020.



Rys.60 Zależność udarności od temperatury próbek pobranych z blach gat. St3S, 18G2AV i 15G2ANb.

Tabela 9

Wyniki próby rozciągania materiału rodzimego

Rodzaj próbek	Re		Re _{śr}		R _m		R _m śr		A ₅	A ₅ śr
	MPa	kG/mm ²	MPa	kG/mm ²	MPa	kG/mm ²	MPa	kG/mm ²	%	%
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
St3S wg PN-72/H 84020			235,4	24			372,8 461	38-47		min. 26
St3S										
P1	266,8	27,2			414,0	42,2			26,5	
P2	263,9	26,9	262,2	26,7	414,0	42,2	414,3	42,2	27,4	
P3	256	26,1			415,0	42,3			26,8	
W1	265,9	27,1			457,1	46,6			28,1	
W2	260,0	26,5	263,4	26,9	457,1	46,6	457,4	46,6	28,9	
W3	264,9	27,0			458,1				27,3	
18G2AV wg zaświadczeń jakości			446,4	45,5			588,9	60,0		26,5
P1	453,2	46,2			583,7	59,5			22,8	
P2	447,3	45,6	452,6	46,1	570,9	58,2	588,9	60,0	25,1	23,7
P3	457,1	46,6			612,1	62,4			23,3	
W1	460,1	46,9			622,9	63,5			22,1	
W2	452,2	46,1	454,5	46,3	629,8	64,2	631,1	64,3	23,1	22,8
W3	451,3	46,0			640,6	65,3			23,2	

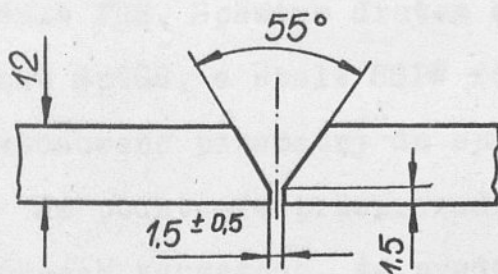
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
15G2ANb wg zaś- wiadcze- nia ja- kości			371,8	38,8			544,5	55,5		22,1
P1	396,3	40,4			544,5	55,5			19,3	
P2	415,0	42,3	405,5	41,3	551,3	56,2	547,7	55,8	18,1	18,6
P3	405,1	41,3			547,4	55,8			18,4	
W1	428,7	43,7			567,0	57,8			24,1	
W2	410,1	41,8	415,0	42,3	547,4	55,8	554,3	56,5	23,1	23,5
W3	406,1	41,4			548,4	55,9			23,5	

P - próbki pobrane w poprzek kierunku walcowania

W - próbki pobrane wzdłuż kierunku walcowania

10.2. Wykonanie złączy spawanych

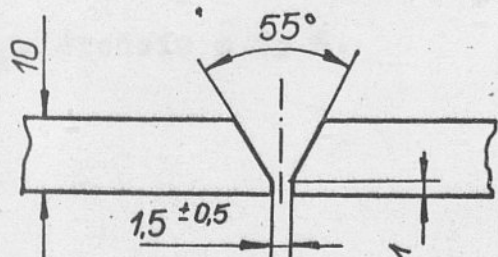
Blachy o wymiarach 130x330xg ukosowano przez frezowanie, a następnie oczyszczano z zanieczyszczeń przez piaskowanie. Sposób przygotowania brzegów blach do spawania i układ poszczególnych ściegów spoiny pokazano na rys.61.



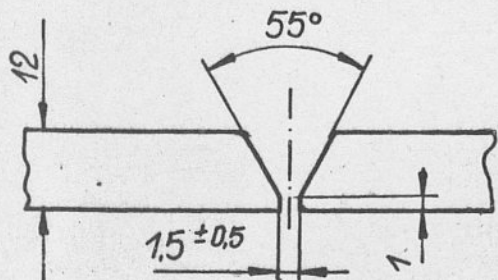
St3S



*podpawka
położona
po żłobieniu
grani*



18G2AV



15G2A



Rys.61 Sposób przygotowania i układ ściegów spoiny

Spoiny układane były ścięciem prostym, przy czym ścięg wykonano metodą „w lewo” prostopadle do kierunku walcowania blach.

Do spawania używano krajowego półautomatu EMD-450, do którego na okres wykonywania płyt próbnych podłączony został amperomierz i woltomierz /klasa 0,5/, celem bardziej dokładnego pomiaru natężenia prądu spawania i napięcia łuku. Wykonawcami próbnych złączeń byli spawacze z wieloletnią praktyką posiadający uprawnienia PRS. Spawano drutem elektrodowym o średnicy 1,2 mm, gatunku Sp1GS, a stale SSPW również drutem elektrodowym Sp2GS.

Zastosowane parametry do spawania płyt próbnych podano w tabeli 10. Na podstawie przeprowadzonego chronometrażu spawania płyt próbnych zauważono, że prędkość spawania w mieszaninach gazów $80\%Ar+20\%CO_2$ i $60\%Ar+40\%CO_2$ jest wyższa od spawania w osłonie CO_2 , średnio o 15 %.

Tabela 10

Parametry wykonywania złącz próbnych

Gatunek blach	Gatunek drutu elektr.	Skład osłony gazowej	Nr ściegu	Natężenie prądu spawania A	Napięcie łuku V	Prędkość spawania cm/s	Moc liniowa źródła ciepła kJ/cm
1	2	3	4	5	6	7	8
St3S	Sp1GS średn. 1,2 mm	100%CO ₂	1	130	22	0,30	9,5
			2	250	27,5	0,21	35,3
			3	270	28,5	0,20	38,5
		30%Ar+70%CO ₂	1	150	23	0,33	10,4
			2	260	27	0,28	25,2
			3	270	28	0,25	30,5
		40%Ar+60%CO ₂	1	150	23	0,33	10,5
			2	260	27	0,27	26,0
			3	270	28	0,25	30,2
		70%Ar+30%CO ₂	1	160	23	0,35	10,5
			2	270	27	0,30	24,3
			3	270	28	0,28	27,0
		80%Ar+20%CO ₂	1	160	23	0,35	10,5
			2	270	27	0,30	24,3
			3	270	28	0,25	30,5
		90%CO ₂ +10%O ₂	1	130	22	0,30	9,5
			2	250	27,5	0,25	27,5
			3	270	28,5	0,20	38,5
		75%CO ₂ +25%O ₂	1	110	22	0,30	8,61
			2	250	27,5	0,25	27,5
			3	270	28,5	0,25	30,8

c.dalszy tabeli 10

1	2	3	4	5	6	7	8
St3S	Sp1GS 1,2 mm	75%Ar+22%CO ₂ +3%O ₂	1	150	23	0,35	9,9
			2	270	27	0,28	26,0
			3	270	28	0,28	27,0
		50%Ar+40%CO ₂ +10%O ₂	1	150	23	0,33	10,5
			2	270	27	0,25	29,1
			3	270	28	0,28	27,0
		40%Ar+40%CO ₂ +20%O ₂	1	130	22	0,33	8,7
			2	260	27	0,25	28,0
			3	270	28	0,25	30,5
18G2AV	Sp1GS Sp2GS śr. 1,2 mm	100 %CO ₂	1	170	24	0,54	7,5
			2	280	29	0,52	15,5
		60%Ar+40%CO ₂	1	270	29	0,83	8,8
			2	270	29	0,61	12,8
		80%Ar+20%CO ₂	1	240	27	0,97	6,7
			2	290	29	0,56	12,1
		70%Ar+25%CO ₂ +5%O ₂	1	270	29	0,83	9,5
			2	260	30	0,6	13,0
		6 15G2ANb	Sp1GS Sp2GS śr. 1,2 mm	100%CO ₂	1	110	22
2	180				24	0,25	17,3
3	190				24	0,23	19,8
50%Ar+50%CO ₂	1			130	22	0,28	10,3
	2			210	25,5	0,31	17,3
	3			210	26	0,33	16,5

c.dalszy tablicy 10

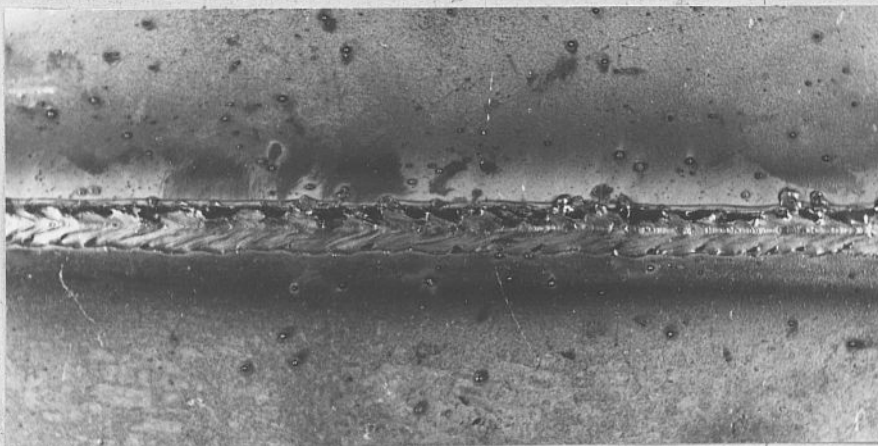
1	2	3	4	5	6	7	8
15G2ANb	Sp1GS Sp2GS śr 1,2 mm	80%Ar+20%CO ₂	1	170	20,5	0,39	8,9
			2	210	25	0,30	17,5
			3	210	25	0,29	18,1
		75%Ar+22%CO ₂ +3%O ₂	1	130	20,5	0,31	8,6
			2	210	25	0,26	20,2
			3	210	25	0,26	20,2

10.3. Obserwacje wizualne złączy spawanych

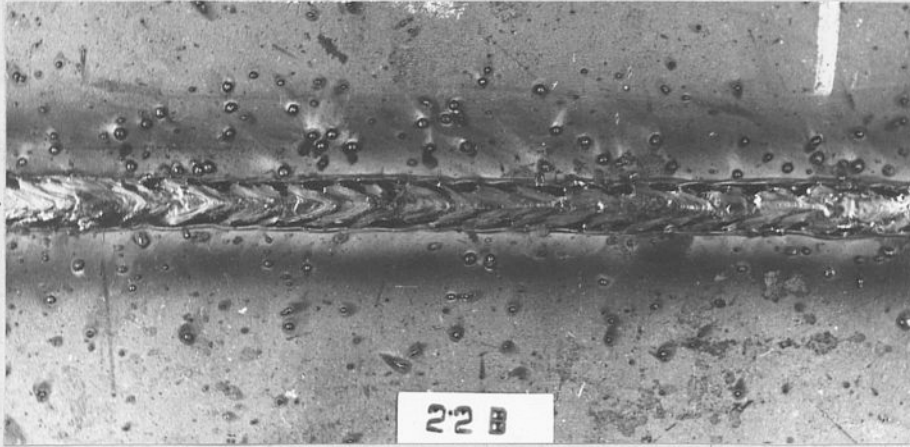
W czasie obserwacji procesu spawania próbnych złączy zauważono, że podczas spawania w osłonie CO_2 powstaje więcej rozprysków niż w osłonie mieszanin gazowych zawierających argon. Przy spawaniu w mieszaninach rozpryski posiadały mniejszą energię i osiadały na złączu w pobliżu spoiny. Poza tym mniej rozprysków osiadało w dyszy gazowej. Najmniejszy rozprysk zanotowano przy spawaniu w osłonie $80\%\text{Ar}+20\%\text{CO}_2$, $75\%\text{Ar}+22\%\text{CO}_2+3\%\text{O}_2$, dalej $60\%\text{Ar}+40\%\text{CO}_2$, $70\%\text{Ar}+25\%\text{CO}_2+5\%\text{O}_2$ i $40\%\text{Ar}+60\%\text{CO}_2$ /rys.62,63/.

Stwierdzono, że spawanie drutem gatunku Sp2GS o średnicy 1,2mm cechuje się znacznie większą ilością rozprysków osadzonych na blachach. Tym niemniej złącza spawane w osłonie każdej ze stosowanych mieszanin gazowych mają mniej rozprysków.

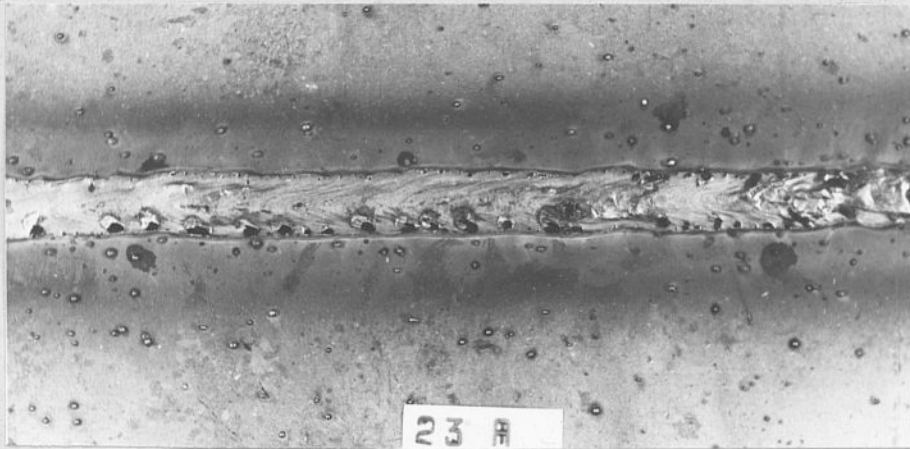
Na przytoczonych zdjęciach widocznym jest, że spoiny wykonane w warunkach spawania półautomatycznego w mieszaninach gazów, a w szczególności przy $80\%\text{Ar}+20\%\text{CO}_2$ i $60\%\text{Ar}+40\%\text{CO}_2$, cechuje ładne, gładkie lico o bardzo drobnej i równomiernej łuskowatości.



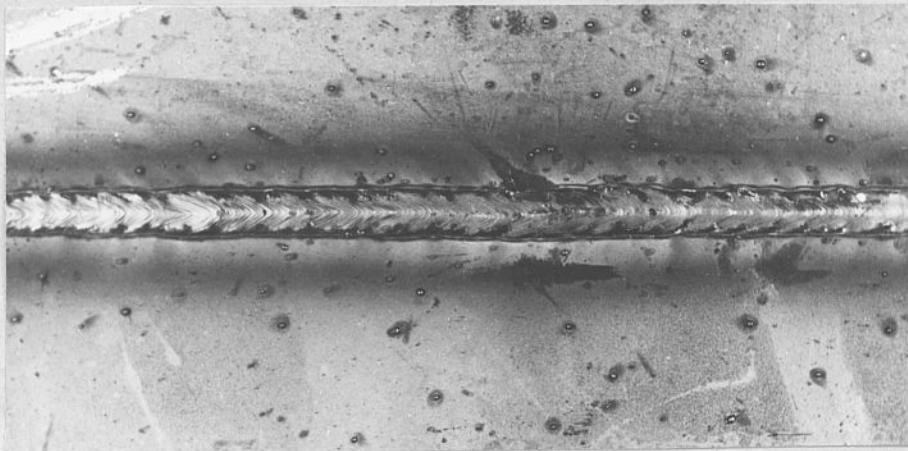
a/



b/

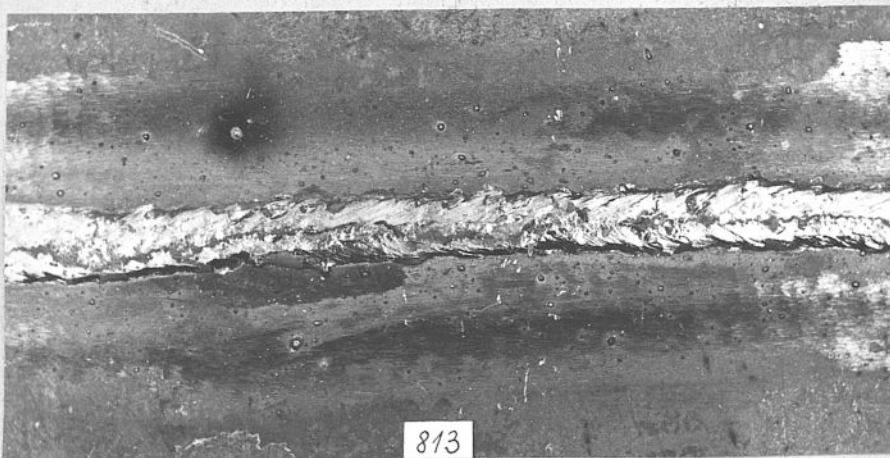
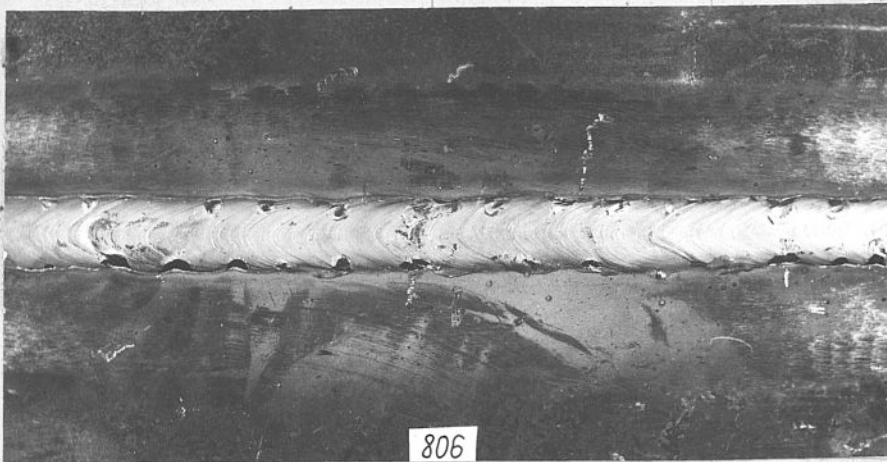
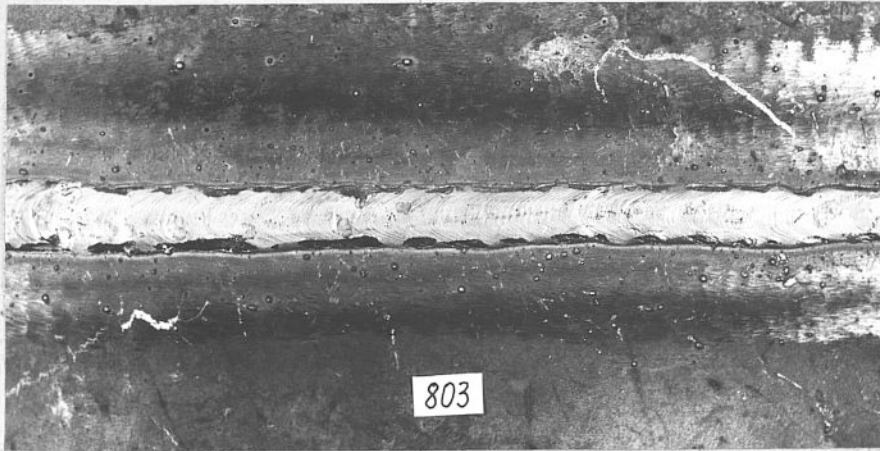


c/



d/

Rys.62 Wygląd złączy spawanych półautomatycznie ze stali 18G2AV grub. 10 mm w osłonie gazów
 a/ 100%CO₂, Sp1GS śr 1,2 mm, b/ 190%CO₂, Sp2GS śr 1,2mm
 c/ 60%Ar+40%CO₂, SP2GS śr. 1,2mm, d/80%Ar+20%CO₂
 Sp2GS śr. 1,2 mm



Rys.63 Wygląd złączeń spawanych półautomatycznie ze stali St3S grub. 12 mm w osłonie gazów /Sp1GS, śr 1,2 mm/

a/ 40%Ar+60%CO₂

b/ 80%Ar+20%CO₂

c/ 40%Ar+40%CB₂+20%O₂

Przeprowadzone badania wykazały, że wprowadzenie do spawania stali St3S jako osłony łuku elektrycznego mieszanki $60\%CO_2 + 40\%Ar$, pozwoliło na widoczne obniżenie ilości rozprysków /rys.63/. Nie stwierdzono zmniejszenia się ilości powstających rozprysków podczas spawania w mieszaninach CO_2+O_2 zamiast CO_2 . Zastosowanie mieszanin trójskładnikowych $Ar+CO_2+O_2$ nie spowodowało zauważalnych zmian w jarzeniu się łuku oraz w ilości powstających rozprysków w porównaniu do spawania w mieszaninach dwuskładnikowych $Ar+CO_2$, o takiej samej zawartości argonu.

10.4. Określenie własności mechanicznych złączy spawanych

Wszystkie płyty próbne poddano badaniom radiograficznym według norm PN-60/M-69770, PN-60/M-69773. Nie stwierdzono mniejszej ilości wad w spoinach wykonanych w osłonie mieszanin gazowych w porównaniu do spawania w osłonie CO_2 . Próbkę do badań wytrzymałościowych i metalograficznych pobrano z miejsca w których w wyniku prześwietlenia nie stwierdzono wad.

Staticzną próbę rozciągania próbek typu A i typu B oraz technologiczną próbę zginania płaskich złączy doczołowych przeprowadzono zgodnie z obowiązującymi normami PN-64/M-69718 i PN-64/M-69720. Wytrzymałość na rozciąganie złączy spawanych określona na próbkach typu A była zbliżona do wytrzymałości materiału rodzimego, a zerwanie następowało w materiale rodzimym. Wyjątkiem były próbki ze złączy wykonanych w mieszaninach CO_2+O_2 , gdyż w dwu próbkach zdarzyło się, że złom przebiegał w spoinie.

Wyniki wytrzymałości na rozciąganie spoin /próbki typu B/ przedstawiono graficznie na rys.64,65,66.

Wytrzymałość na rozciąganie spoin wykonanych ze stali St3S w osłonie mieszanin gazów 30-70%Ar+70-30%CO₂ jest wyższa o prawie 10% od wytrzymałości spoin wykonanych w osłonie CO₂. Spoiny wykonane w mieszaninach dwutlenku węgla z tlenem wykazują mniejszą wytrzymałość i znaczny rozrzut wyników.

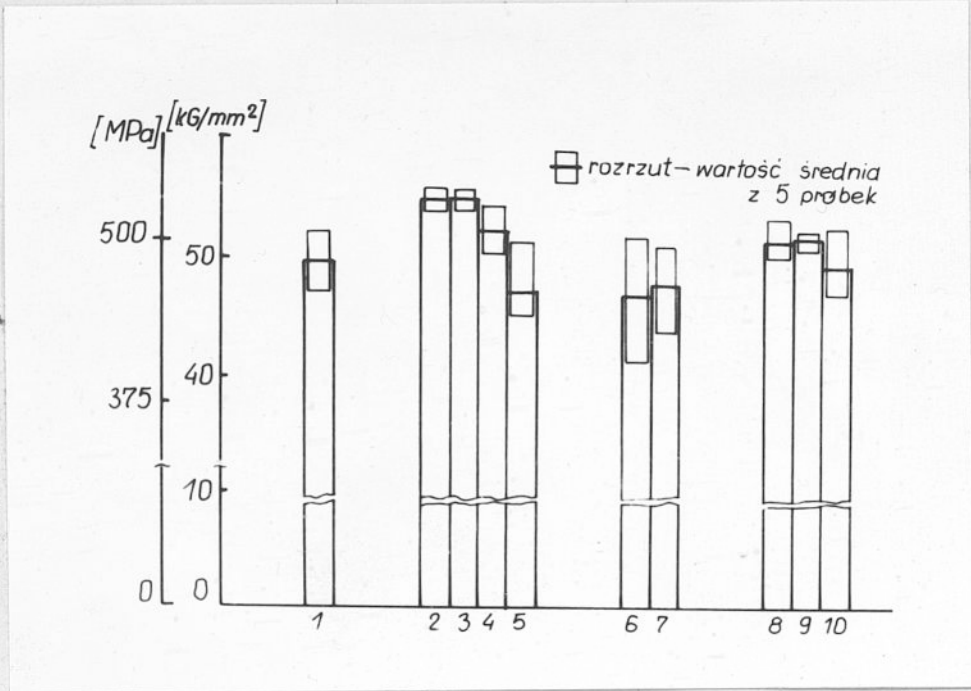
Złącze ze stali 18G2AV spawane w osłonie mieszanin gazów 80%Ar+20%CO₂ i 60%Ar+40%CO₂, mają średnio o około 10% wyższą wytrzymałość na rozzerwanie w porównaniu do spawania w CO₂. Ten wzrost wytrzymałości materiału spoiny jest bardzo pożądanym, gdyż z powodu nieznacznej różnicy w wytrzymałości na rozzerwanie materiału rodzimego i spoiny wykonanej w osłonie CO₂, niewielkie nawet wady w spoinach mogą mieć istotny wpływ na obniżenie wytrzymałości złącza. Złącza spawane ze stali 18G2AV przy użyciu drutu elektrodowego gatunku Sp2GS mają nieco większą wytrzymałość na rozciąganie materiału spoiny, w porównaniu do drutu Sp1GS. W wytrzymałości na rozciąganie spoin ze stali 15G2ANb nie stwierdzono istotnych różnic podczas spawania w różnych składach gazów ochronnych.

Technologiczna próba zginania, przeprowadzona na trzpieniu gnącym $d=2a$ dla stali St3S i $d=3a$ dla stali 18G2AV i 15G2ANb, nie wykazała zauważalnych różnic w plastyczności złącz badanych stali wykonanych w osłonie CO₂ czy w mieszanin gazowych. Obserwowane przypadkowe pęknięcia wywołane były nieciągłością materiału /przyklejenia/.

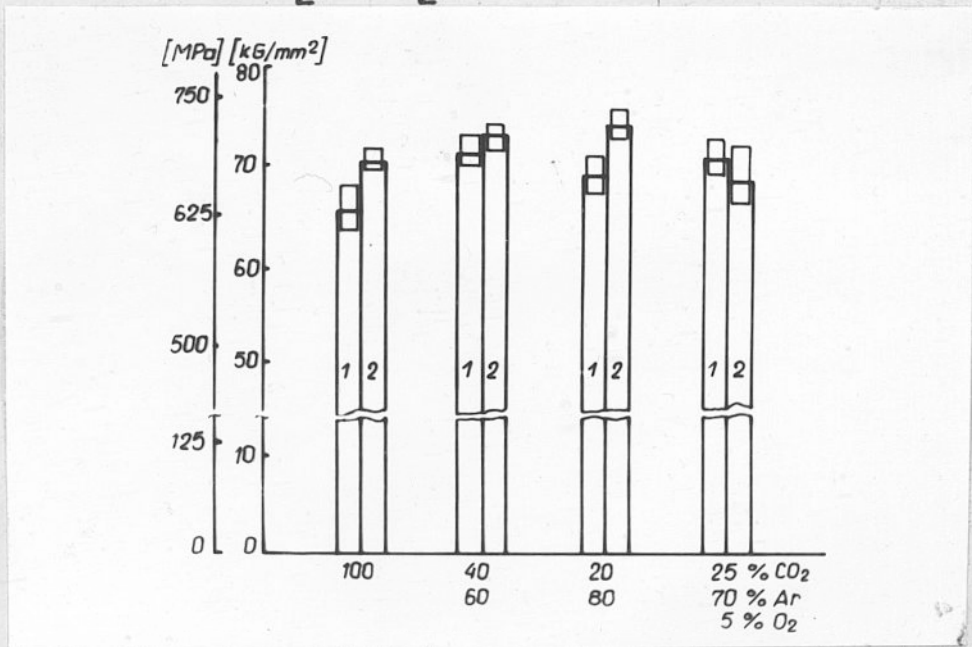
Próbie udarności na próbkach z karbem Charpy V wykonano zgodnie z PN-64/M-69733. Próbki wycinano prostopadle do osi podłużnej spoiny, nacinając karb prostopadle do powierzchni blach. Dno karbu w próbkach usytuowane zostało w osi spoiny /próbka US/. Próbki do badań w temperaturach obniżonych oziębiono w roztworze suchego lodu i skażonego spirytusu etylowego /według PN-60/H-043 71/. Uzyskane wyniki przedstawiono na rys. 67-72.

Spawanie stali St3S w mieszanicach Ar+CO₂, zawierających więcej niż 40 %Ar, powoduje zwiększenie udarności spoin. Przy składzie gazu ochronnego 80%Ar+20%CO₂ otrzymuje się w temp. 293K/+20°C/, 273K /°C/ i 253K /-20°C/ niemal dwukrotnie większą udarność. Jednak w temperaturze 233K /-40°C/, zanikają różnice w udarności spoin wykonanych w osłonie CO₂ i mieszanin Ar+CO₂, co należy tłumaczyć szczątkową już udarnością materiału rodzimego /ok.0,16 MJ/m²/.

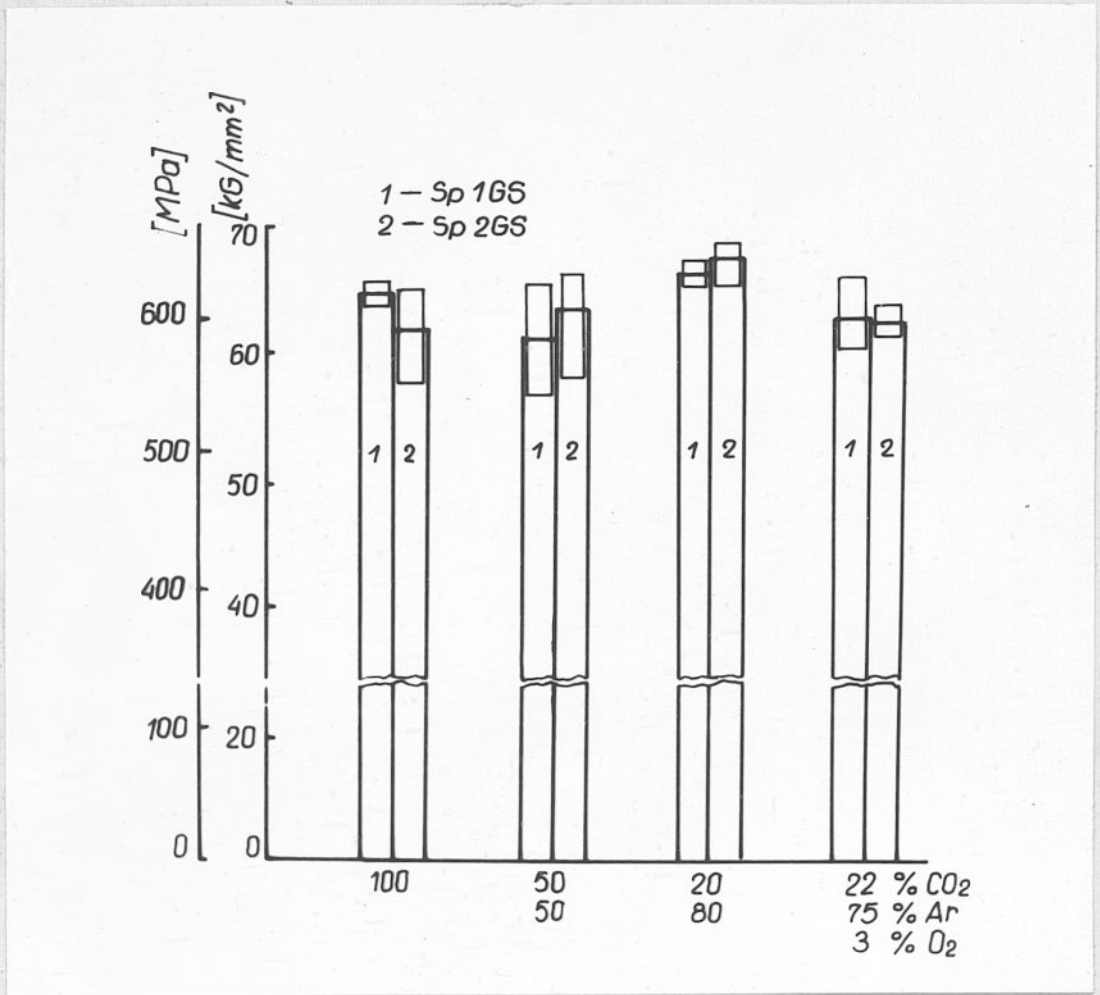
Udarność spoin spawanych w mieszaninach CO₂+O₂ oraz Ar+CO₂+O₂, z dodatkiem ponad 10% tlenu jest niższa niż podczas spawania w osłonie CO₂.



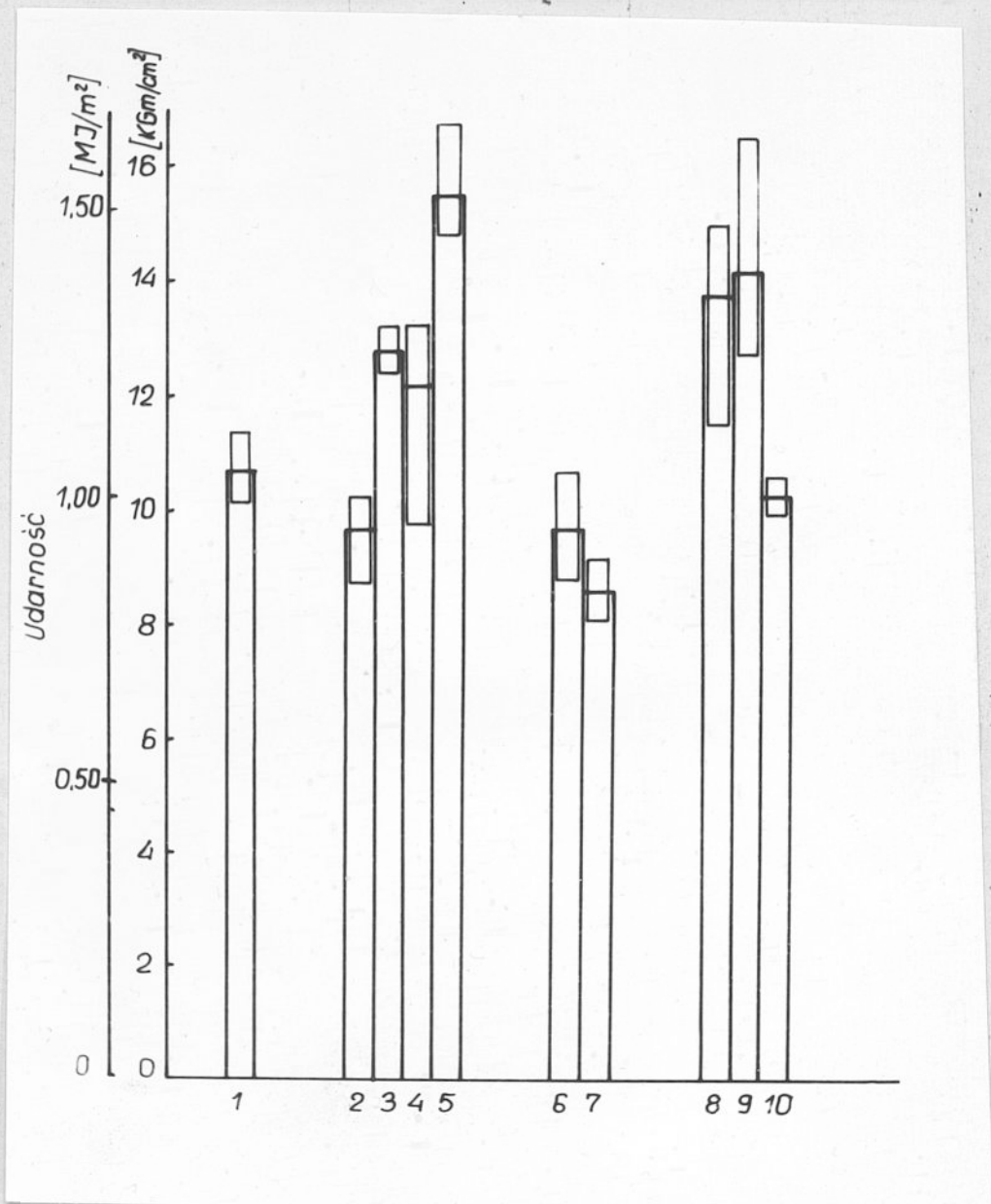
Rys.64 Zależność wytrzymałości na rozzerwanie spoin od składu atmosfery ochronnej /stal St3S, grub. 12 mm/
 1 - 100%CO₂; 2 - 30%Ar+70%CO₂; 4-40%Ar+60%CO₂; 5-70%Ar+30%CO₂
 5 - 80%Ar+20%CO₂; 6 - 90%CO₂+10%O₂; 7-75%CO₂+25%O₂;
 8 - 75%Ar+22%CO₂+3%O₂; 9 - 50%Ar+40%CO₂+10%O₂;
 10 - 40%Ar+40%CO₂+20%O₂



Rys.65 Zależność wytrzymałości na rozzerwanie spoin od składu atmosfery ochronnej /stal 18G2AV, grub.10mm/
 1 - Sp1GS; 2 - Sp2GS

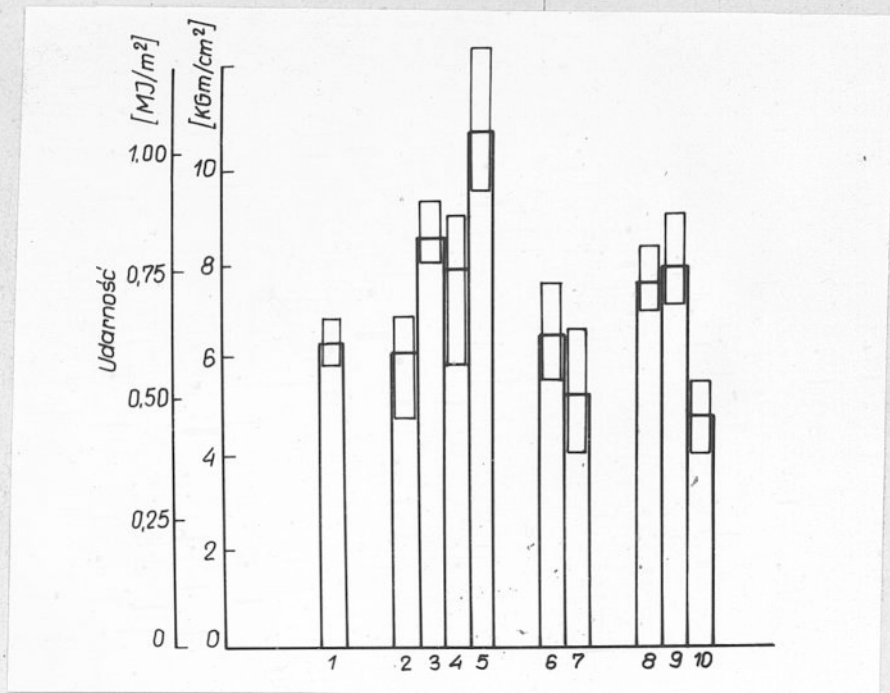


Rys.66 Zależność wytrzymałości na rozzerwanie od składu atmosfery ochronnej /stal 15G2ANb, grub. 12 mm/

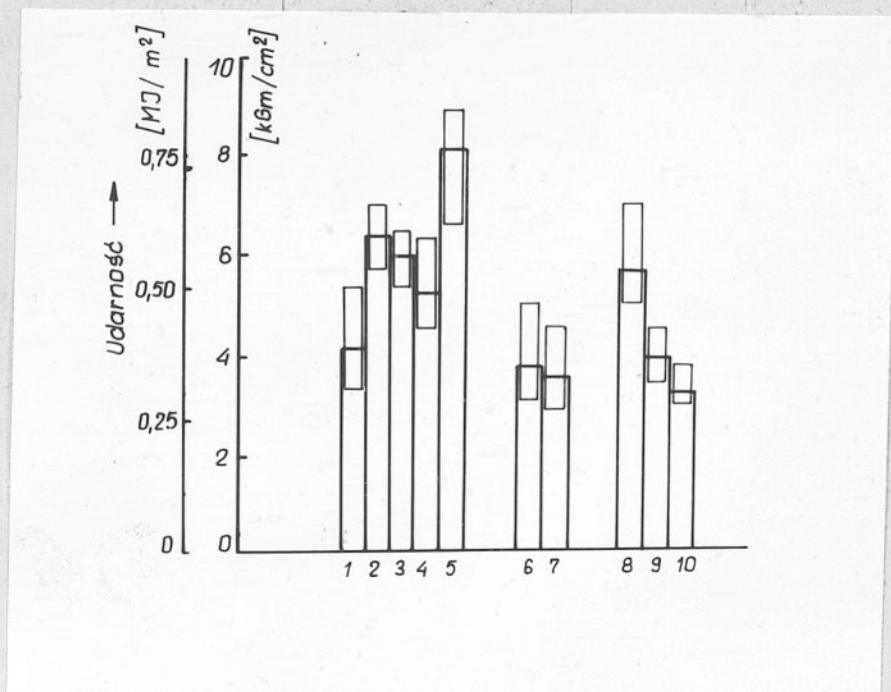


Rys.67 Wpływ rodzaju osłony gazowej na udarność spoin dla stali St3S w temp. 293K /+20°C/

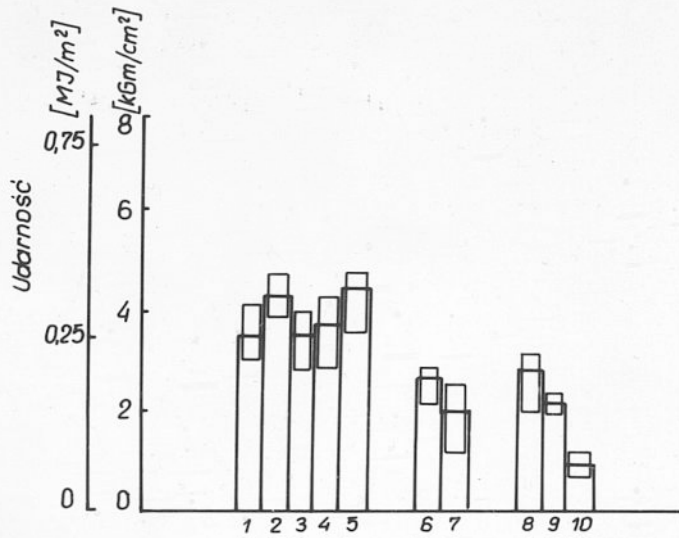
1 - 100%CO₂; 2 - 30%Ar+70%CO₂; 3 - 40%Ar+60%CO₂;
 4 - 70%Ar+30%CO₂; 5 - 80%Ar+20%CO₂; 6 - 90%CO₂+10%O₂;
 7 - 75%CO₂+25%O₂; 8 - 75%Ar+22%CO₂+3%O₂;
 9 - 50%Ar+40%CO₂+10%O₂; 10 - 40%Ar+40%CO₂+20%O₂



Rys.68 Wpływ rodzaju osłony gazowej na udarność spoin dla stali St3S w temp. 273K / 0°C / /skład gazów wg rys.67/

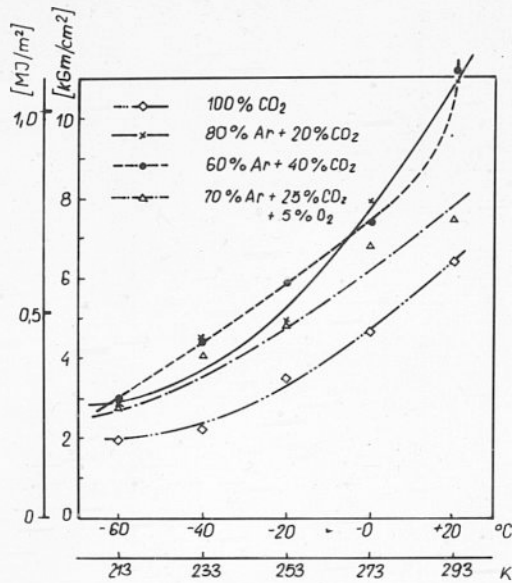


Rys.69 Wpływ rodzaju osłony gazowej na udarność spoin dla stali St3S w temp. 253K / -20°C / /skład gazów wg rys.67/

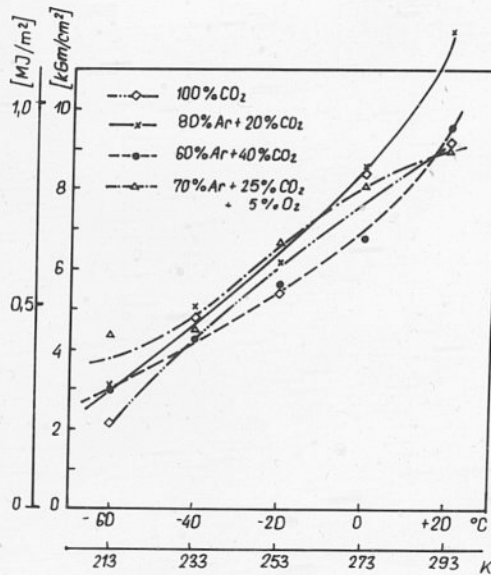


Rys.70 Wpływ rodzaju odłony gazowej na udarność spoin dla stali St3S w temp. 233K /-40°C/ /skład gazów wg rys.67/

Uwzględniając to, że minimalna wymagana udarność stali na konstrukcje spawane wynosi KV 0,342 MJ/m² /3,5 kgm/cm²/, zastosowanie do spawania stali 18G2AV i 15G2ANb mieszaniny 80%Ar+20%CO₂ i 50-60%Ar+50-40%CO₂ /drut elektr. Sp1GS/ przesuwą próg kruchości o 10-15K /10-15°C/ w stronę niższych temperatur. Spawanie drutem elektrodowym gat. Sp2GS powoduje ogólny wzrost udarności spoin 0,1-0,15 MJ/m² i nie stwierdzono wyraźnych różnic między udarnością spoin wykonanych w mieszaninach gazów oraz w osłonie CO₂.

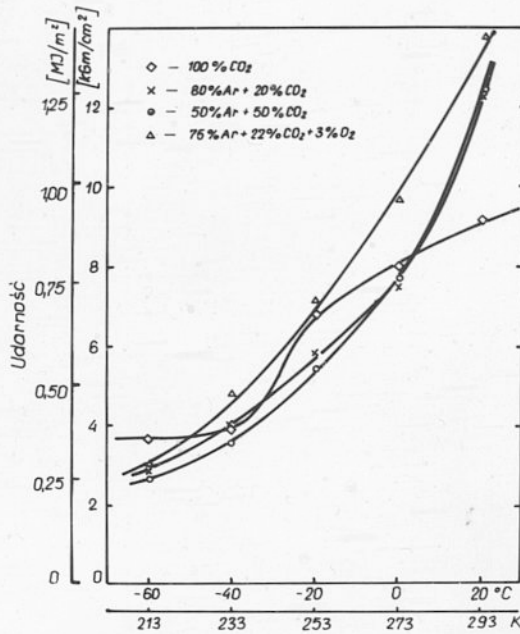
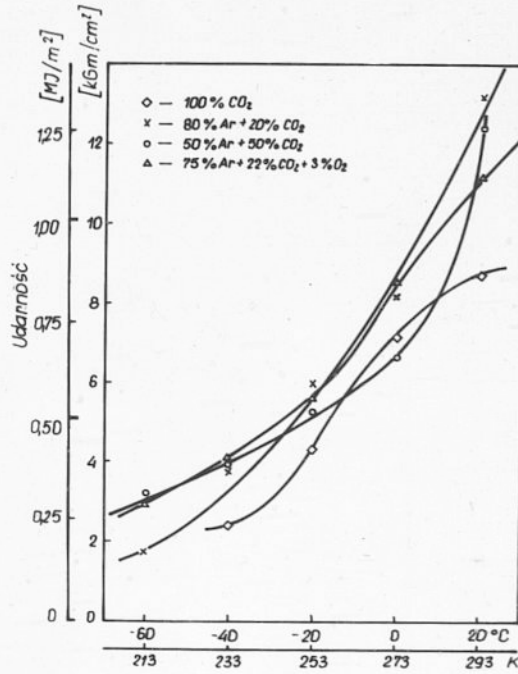


a



b

Rys.71 Zmiana udarności spoin wykonanych w osłonie mieszanin gazów od temp. dla złącz ze stali 18G2AV grub. 10 mm
a/ Sp1GS śr. 1,2 mm
b/ Sp2GS śr. 1,2 mm



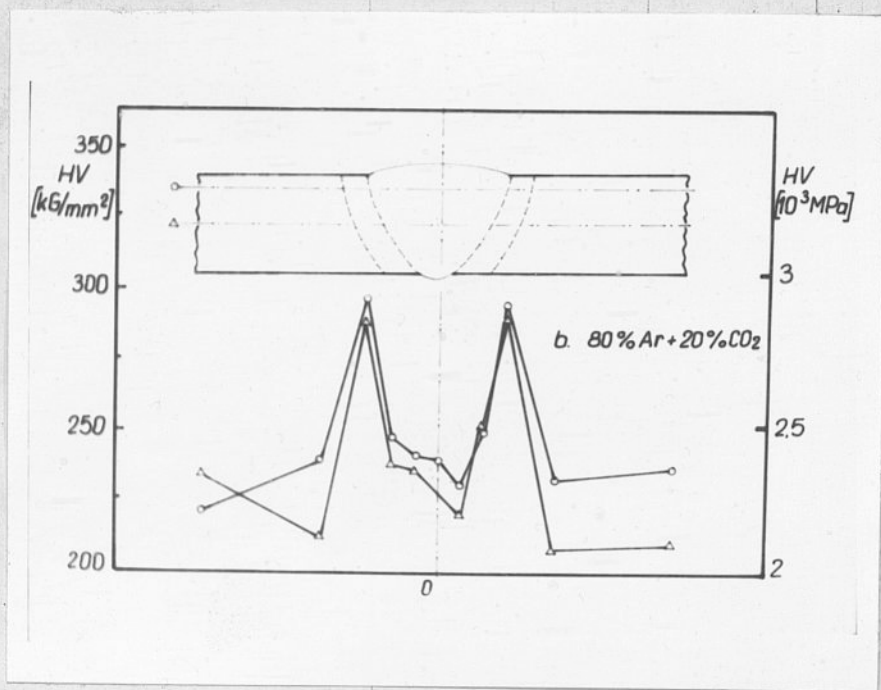
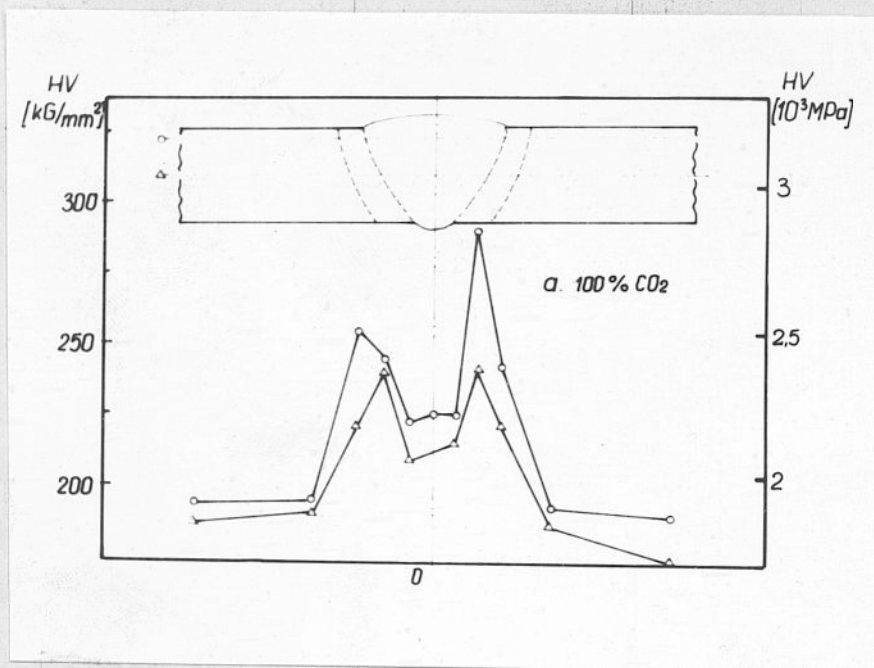
Rys.72 Zmiana udarności spoin wykonanych w osłonie mieszania gazów od temp. dla złącz ze stali 15G2ANb grub. 12mm
a/ Sp1GS śr 1,2 mm
b/ Sp2GS śr 1,2 mm

10.5. Pomiary twardości złącz spawanych

Pomiary twardości sposobem Vickersa /HV30/ na przekrojach spawanych złącz przeprowadzono zgodnie z PN-64/M-69751. Z dotychczasowych doświadczeń wynika, że ^{gdy} wzrost twardości w SWC nie przewyższa $HV = 350 \text{ kg/mm}^2$, to nie zagraża powstaniu pęknięć w złączu spawanym z powodu podhartowania.

W badanych złączach twardość w SWC była zawsze niższa od tej wartości twardości.

Dla złącz ze stali 18G2AV wykonanych w mieszaninie 80%Ar+20%CO₂ twardość w strefie przejściowej jest nieco większa niż w CO₂ /rys.73/.



Rys.73 Rozkład twardości w złączu ze stali 18G2AV o grub.10 mm spawanej w osłonie

a - 100%CO₂; b - 80%Ar+20%CO₂

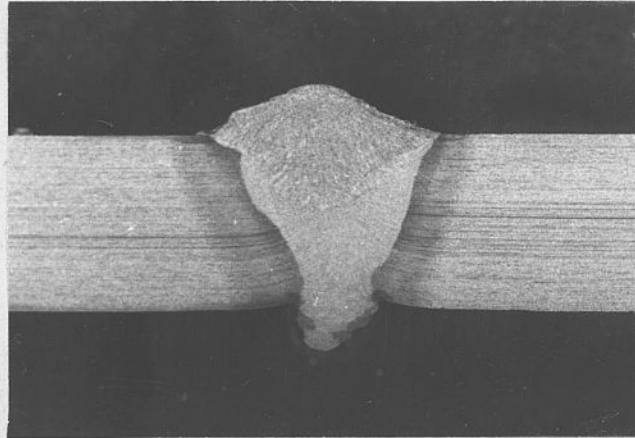
10.6. Badania metalograficzne materiału rodzimego i złączy spawanych

Celem określenia struktur materiału rodzimego i charakterystycznych obszarów złączy, przeprowadzono badania metalograficzne, makroskopowe i mikroskopowe.

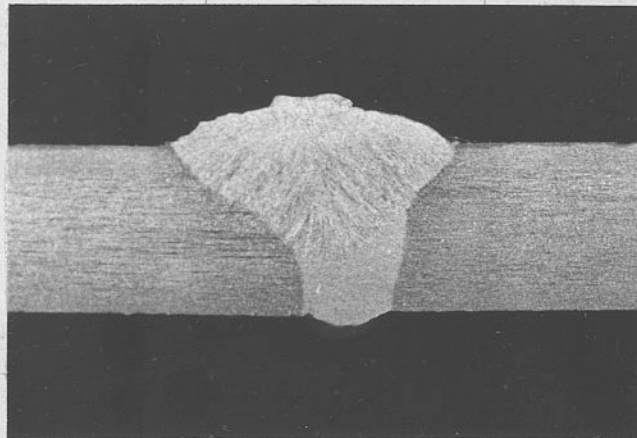
10.6.1. Badania makroskopowe

Zgłady do badań makroskopowych trawiono odczynnikiem Adlera. Ich fotografie pokazano na rys. 74, 75, 76. Badania makroskopowe przeprowadzono głównie dla pokazania różnic w geometrii spoiny podczas spawania w CO_2 oraz w mieszaninach gazów. Widoczne jest, że podczas spawania w mieszaninach gazów $\text{Ar}+\text{CO}_2$ i $\text{Ar}+\text{CO}_2+\text{O}_2$ nądlew spoiny jest bardziej płaski, a lico rozlane w porównaniu do spoin wykonanych w CO_2 . Na wszystkich strukturach widoczna jest gruboziarnista kierunkowa budowa ścięgów spoiny, a zwłaszcza ściegu zewnętrznego. Wyraźnie zaznaczone są strefy przegrzania oraz włóknista budowa materiału rodzimego.

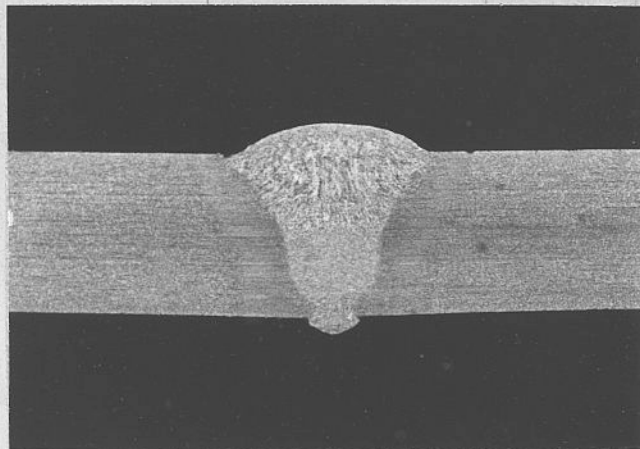
Z uwagi na różnicę w głębokości wtopienia, bardziej korzystne jest zastosowanie mieszaniny gazów do spawania warstw granicznych /rys. 74a, b/. Spawaczowi jest łatwiej uzyskać dobry przetop podczas spawania w osłonie $60\%\text{Ar}+40\%\text{CO}_2$ niż w osłonie samego CO_2 .



a

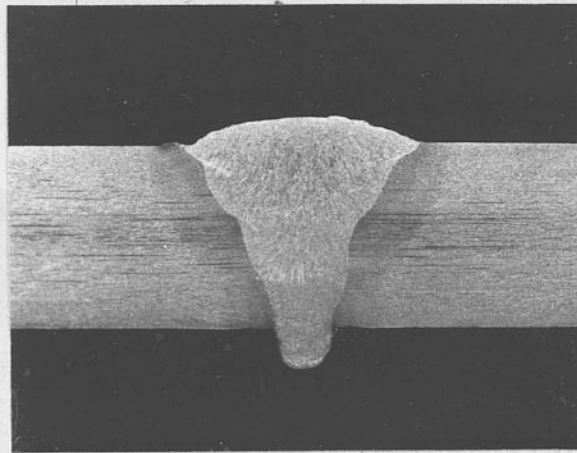


b

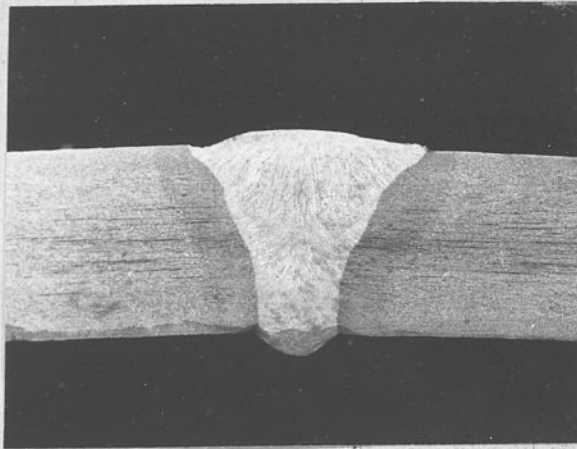


c

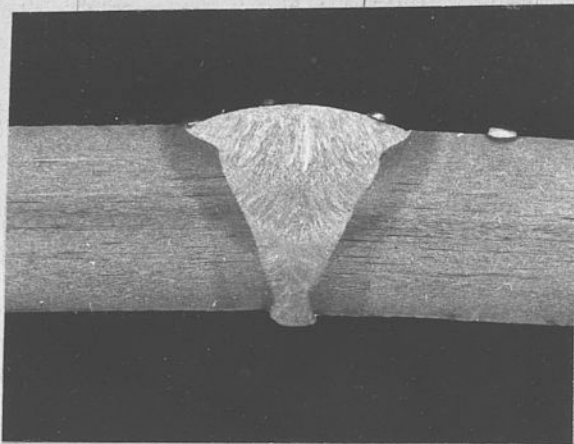
Rys.74 Makrostruktura złącz ze stali 18G2AV /traw.Adler,
pow. 125 x/ spawanych w osłonie
a/ 100%CO₂ /Sp1GS śr.1,2 mm/
b/ 60%Ar+40%CO₂
c/ 80%Ar+20%CO₂



a



b



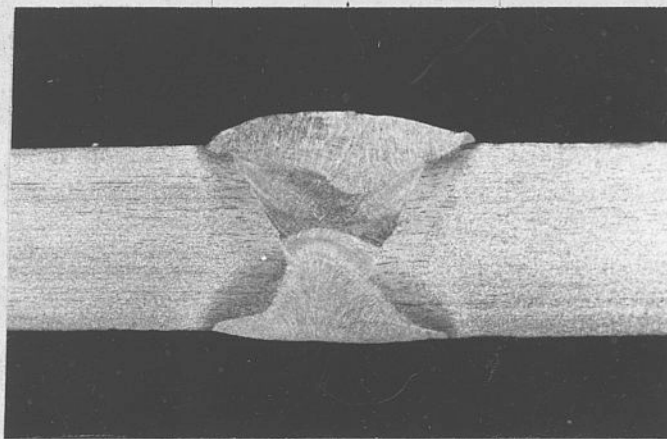
c

Rys.75 Makrostruktura złącz ze stali 15G2ANb /traw.Adler,
pow. 2x/ spawanych w osłonie

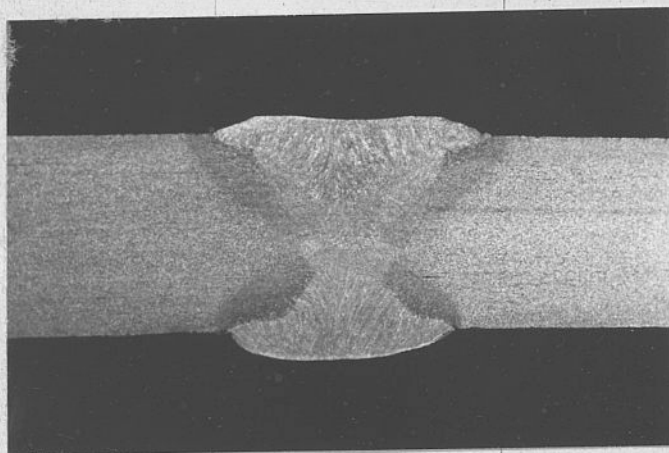
a/ 100% CO₂

b/ 50%Ar+50%CO₂

c/ 80%Ar+20%CO₂



a



b.

Rys.76 Makrostruktura złącz ze stali St2S spawanych w osłonie
/żmaw. Adler, pow.2x /

a/ 100%CO₂ b/ 40%Ar+60%CO₂

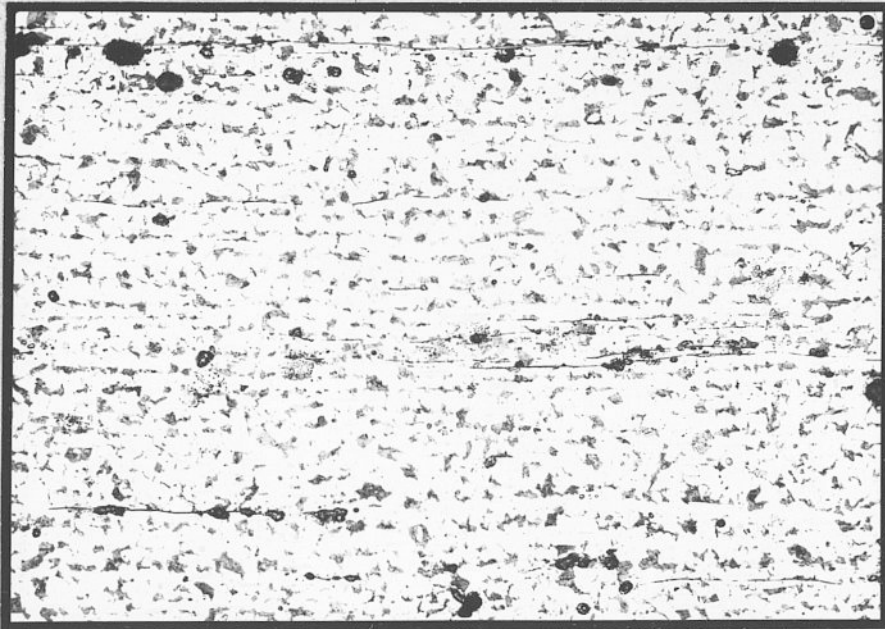
10.6.2. Badania mikroskopowe

Stal 18G2AV i 15G2ANb posiada drobnoziarnistą strukturę ferrytyczno-perlityczną, rozdrobnioną przez normalizowanie. W stali widoczne są pasmowe wtrącenia niemetaliczne a struktura ma wyraźnie zarysowaną pasmowość /rys.77/.

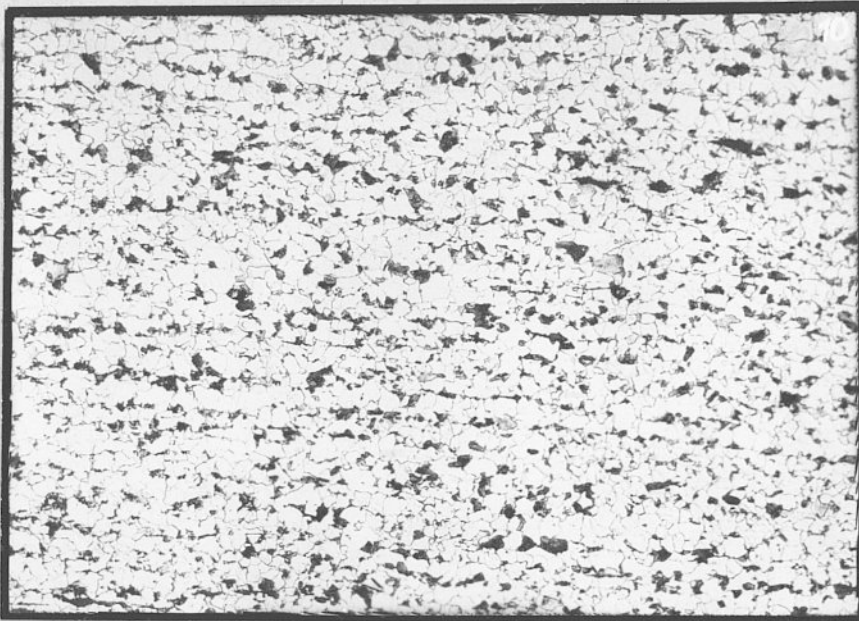
Na mikrostrukturach zglądów nietrawionych w materiale rodzimym widoczne są wtrącenia krzemianów kruchych /wskaźnik KK5 dla stali 18G2AV i KK3 dla stali 15G2ANb wg PN-64/H-04510/ rozkruszone przez przeróbkę plastyczną na gorąco, oraz wtrącenia siarczków /wskaźnik S3/, charakteryzujące się kształtem wydłużonym plastycznie. W spoinie natomiast znajdują się drobne globularne wtrącenia, nierównomiernie rozłożone /rys.78/. Spoina wykonana w osłonie CO₂ ma wtrącenia dużo większe w porównaniu do spoin wykonanych w osłonie mieszanin gazów /rys.78a,c/. Należy jednak przypuszczać, że większość wtrąceń niemetalicznych pochodzi ze spawanych blach.

Mikrostruktura spoin /rys.79/, niezależnie od rodzaju stosowanego gazu ochronnego składa się z ziarn ferrytu i perlitu w układzie Widmannstättens. Bezpośrednio ze spoiną graniczy materiał, który uległ przegrzaniu, następnie struktury po normalizowaniu i rekrytalizacji. Szerokość poszczególnych stref zależy od wielkości spawanych elementów, ale nie zaobserwowano zmian związanych z rodzajem gazu ochronnego.

Obserwacje na mikroskopie skaningowym metodą SEJ przełomów próbek udarnościoowych wykazały, że w obszarze odkształcenia plastycznego znajdują się globularne zanieczyszczenia, przez które często przebiegał złom. Nie stwierdzono jednak wyraźnej korelacji między ilością tych wtrąceń a składem mieszaniny gazu ochronnego.



a



b.

Rys.77 Mikrostruktura materiału rodzimego. Traw.Nital
pow. 250 x

a/ stal 18G2AV

b/ stal 15G2ANb



d



b

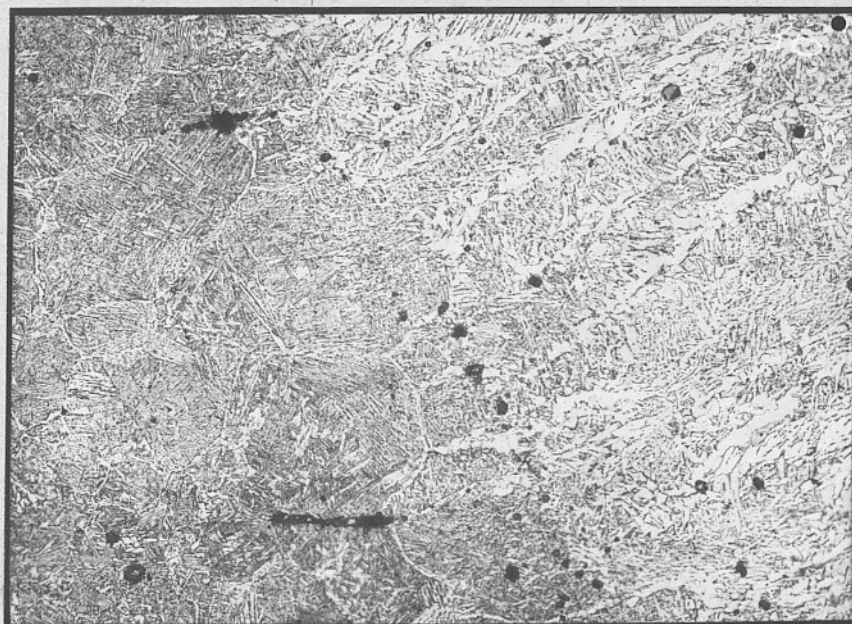


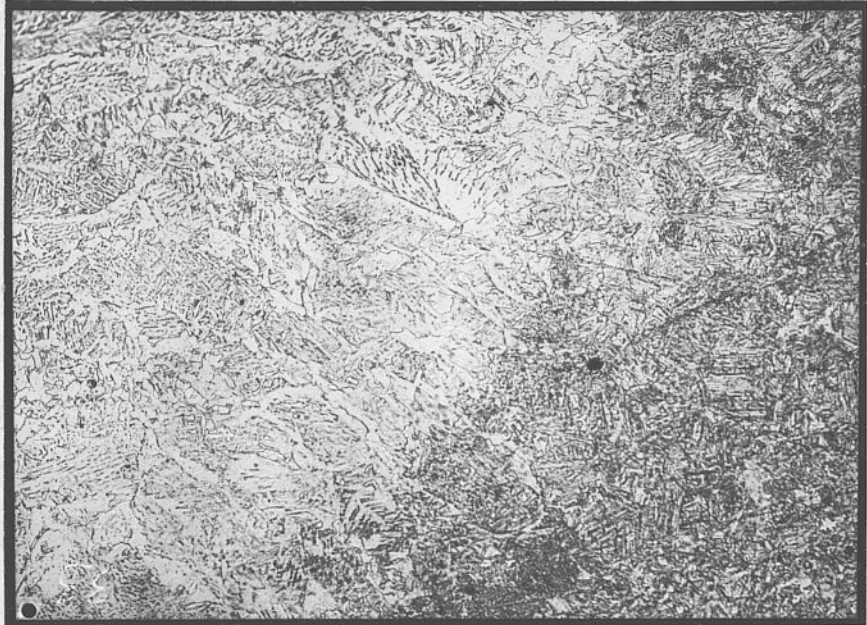
Rys.78 Rozkład zanieczyszczeń w spoinie i w materiale rodzimym. Zgląd nietrawiony. Pow. 50x

a/ 100%CO₂, 18G2AV, Sp1GS

b/ 50%Ar+50%CO₂, 15G2ANb, Sp1GB

c/ 80%Ar+20%CO₂, 15G2ANb, Sp1GS





b



c

Rys.79 Mikrostruktura złącz spawanych ze stali 18G2AV
/Sp1GS/ Traw. nital. Pow. 250x

a/ 100%CO₂

b/ 50%Ar+50%CO₂

c/ 80%Ar+20%CO₂

10.7. Skład chemiczny spoin

Przeprowadzona analiza chemiczna materiału spoin wykonanych w CO_2 i w badanych mieszaninach gazów miała na celu stwierdzenie stopnia utlenienia składników stopowych /Mn, Si i C/.

Wyniki analizy chemicznej podano w tabeli 11.

Analiza chemiczna wykazała, że najmniejsze wypalenie składników stopowych zachodzi przy spawaniu w mieszaninie $80\% \text{Ar} + 20\% \text{CO}_2$. W pozostałych mieszaninach gazów stopień utlenienia jest zależny od udziału argonu w mieszaninie, ale mniejszy aniżeli podczas spawania w osłonie CO_2 .

W spoinach wykonanych drutem elektrodowym Sp2GS ilość manganu i krzemu w spoinie jest wyższa aniżeli w spoinach wykonanych drutem Sp1GS. Należy jednak zauważyć, że skład chemiczny spoin zależy poza rodzajem osłony gazowej, również i od stopnia wymieszania stopiwa z materiałem rodzimym. Stąd są widoczne pewne niewielkie różnice w wynikach analizy chemicznej.

Tabela 11

 Skład chemiczny spoin w złączach ze stali St3S, 18G2A
 i 15G2ANb spawanych w osłonie CO₂ i mieszaninie gazów

Gatu- nek blachy	Drut elektrod.	Gaz ochronny	Skład chemiczny		
			C	Mn	Si
St3S	Sp1GS	100%CO ₂	0,080	0,80	0,41
		40%Ar+60%CO ₂	0,090	0,95	0,45
		50%Ar+50%CO ₂	0,070	0,99	0,50
		70%Ar+30%CO ₂	0,10	1,08	0,50
		80%Ar+20%CO ₂	0,070	1,06	0,55
		90%CO ₂ +10%O ₂	0,095	0,78	0,36
		75%CO ₂ +25%O ₂	0,085	0,64	0,24
		75%Ar+22%CO ₂ +3%O ₂	0,070	1,29	0,55
		50%Ar+40%CO ₂ +10%O ₂	0,10	1,03	0,45
		40%Ar+40%CO ₂ +20%O ₂	0,070	0,92	0,51
18G2AV	Sp1GS	100%CO ₂	0,140	1,04	0,35
		60%Ar+40%CO ₂	0,125	1,13	0,39
		80%Ar+20%CO ₂	0,090	1,10	0,56
		70%Ar+25%CO ₂ +5%O ₂	0,110	0,99	0,40
	Sp2GS	100%CO ₂	0,110	1,22	0,51
		60%Ar+40%CO ₂	0,115	1,25	0,51
		80%Ar+20%CO ₂	0,100	1,35	0,60
		70%Ar+25%CO ₂ +5%O ₂	0,110	1,30	0,51
15G2ANb	Sp1GS	100%CO ₂	0,110	1,14	0,44
		50%Ar+50%CO ₂	0,130	1,27	0,55
		80%Ar+20%CO ₂	0,105	1,38	0,58
		75%Ar+21%CO ₂ +3%O ₂	0,090	1,35	0,53
	Sp2GS	100%CO ₂	0,10	1,46	0,53
		50%Ar+50%CO ₂	0,095	1,45	0,61
		80%Ar+20%CO ₂	0,090	1,50	0,58
		75%Ar+22%CO ₂ +3%O ₂	0,100	1,33	0,53

10.8. Badania własności stopiwa, w zależności od składu gazu ochronnego

Stopiwo otrzymano przez napawanie przy użyciu badanych spoiw /drut elektr. Sp1GS i Sp2GS o średnicy 1,2 mm/ bocznej powierzchni płyty stalowej z zastosowaniem ograniczających płyt miedzianych. Badaniu podlegało stopiwo pobrane w odległości powyżej 10 mm od płaszczyzny płyty. Przekrój poprzeczny płyty próbnej wraz ze schematem wycinania próbek przedstawiono na rys. 80,81. Napawanie wykonywano w pozycji podolnej, w następujących składach ochronnej atmosfery gazowej / $I_{sp}=300A$, $U=27V$, $V_{sp}=0,67$ cm/s/ CO_2 , 50%Ar+50% CO_2 , 80%Ar+20% CO_2 , 75%Ar+22% CO_2 +3% O_2 , 80% CO_2 +20% O_2 .

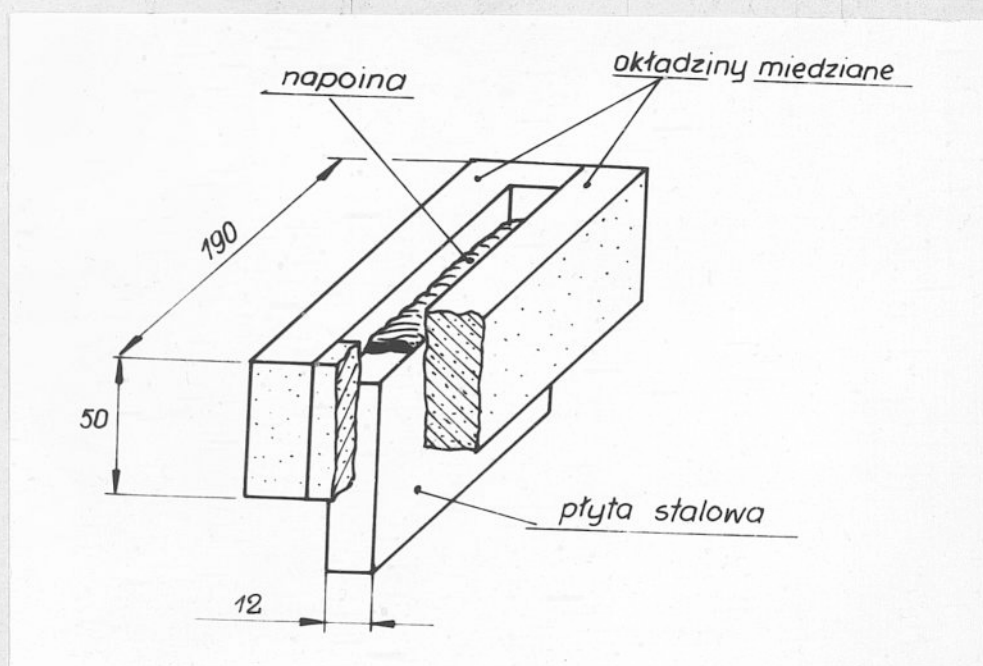
10.8.1. Określenie własności mechanicznych stopiwa

Badania stopiwa objęły określenie wytrzymałości na rozciąganie / R_m /, granicy plastyczności / R_e /, wydłużenia / A_5 / i przewężenia / Z / oraz udarności / U / . Statyczną próbę rozciągania wykonano wg normy PN-72/H-04316, zaś próbę udarności wg PN-69/H-04370. Wyniki badań przedstawiono graficznie na rys. 82-85.

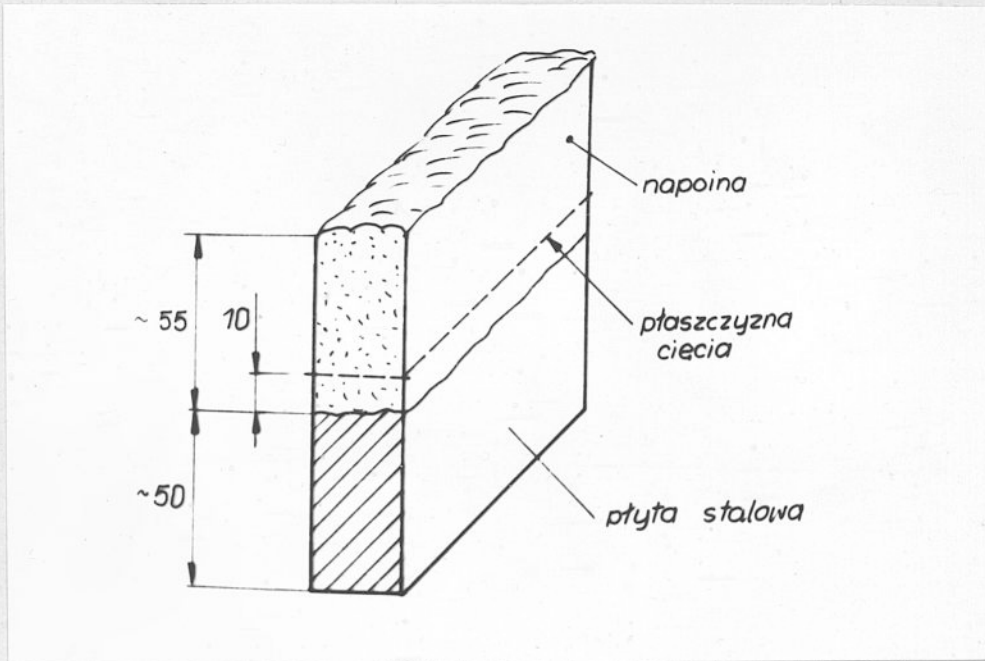
Wytrzymałość na rozzerwanie stopiwa wykonanego w mieszaninach wysokoargonowych, to jest 80%Ar+20% CO_2 i 75%Ar+22% CO_2 +3% O_2 jest o około 50MPa większa od stopiw wykonanych w osłonie CO_2 . Przy zastosowaniu drutu gatunku Sp2GS wytrzymałość stopiwa zwiększa się.

Udarność stopiwa z drutu elektrodowego Sp1GS wykonanego podczas spawania w osłonie CO_2 jest wysoka aż do temperatury 233 K /-40°C/ i wynosi około $1,1$ MJ/m², natomiast stopiwo wykonane

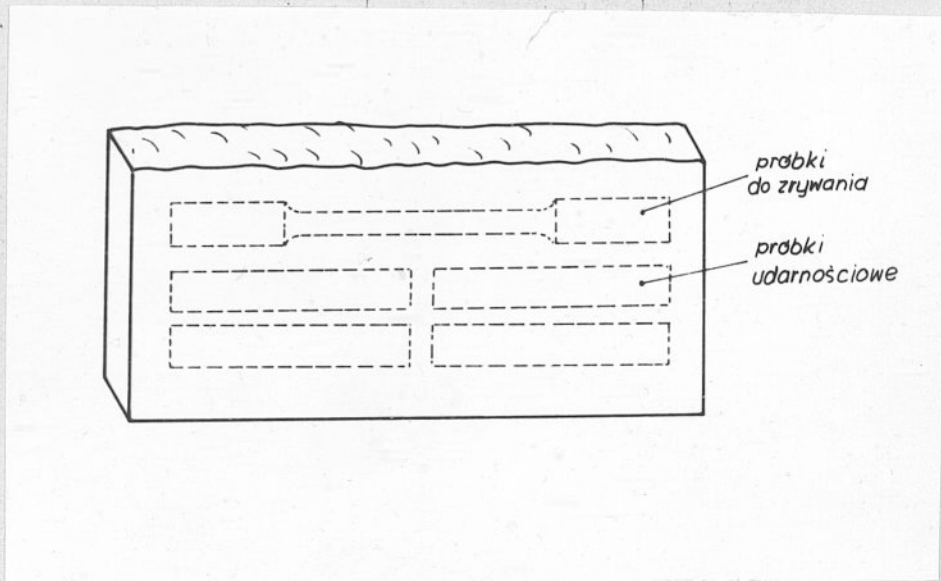
w osłonie mieszanin wysokoargonowych ma mniejszą udarność /ok. $0,8 \text{ MJ/m}^2$ /, podobnie w mieszaninie CO_2+O_2 /ok. $0,55 \text{ MJ/m}^2$ /
Przy użyciu drutu Sp2GS stopiwo wykonane w mieszaninie CO_2+O_2 i w CO_2 ma najwyższą udarność /ok. $0,55 \text{ MJ/m}^2$ w temperaturze 213K/, a stopiwo otrzymane podczas napawania w osłonie mieszaniny $80\%\text{Ar}+20\%\text{CO}_2$ posiada w temperaturze 233K udarność $0,25 \text{ MJ/m}^2$.



Rys.80 Płyta stalowa do napawania stopiwa, z ograniczającymi okładzinami miedzianymi

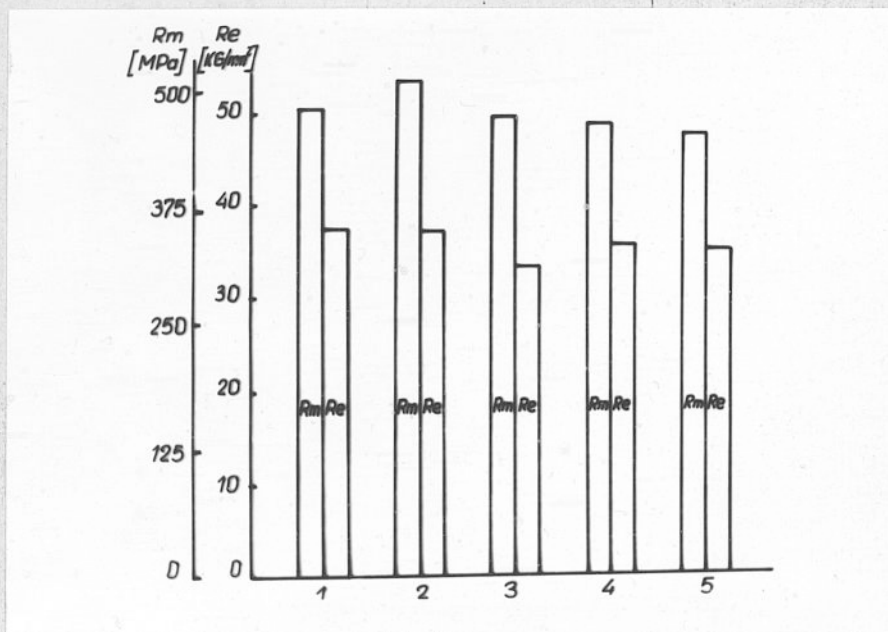
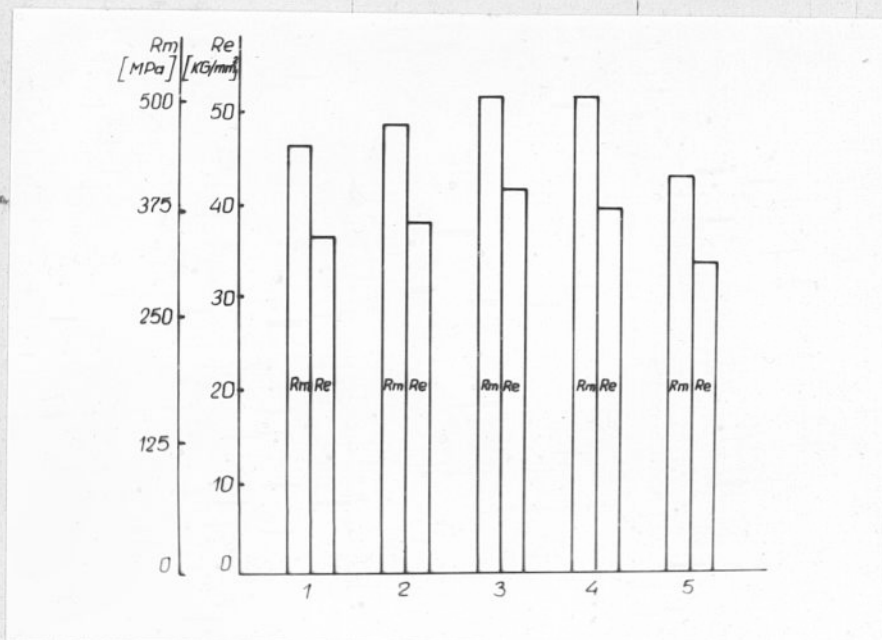


a

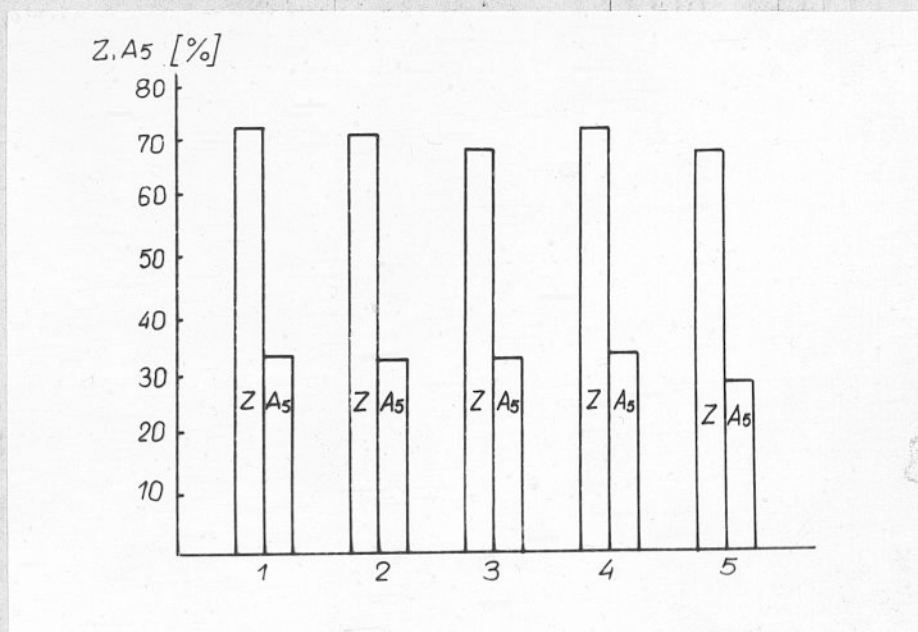
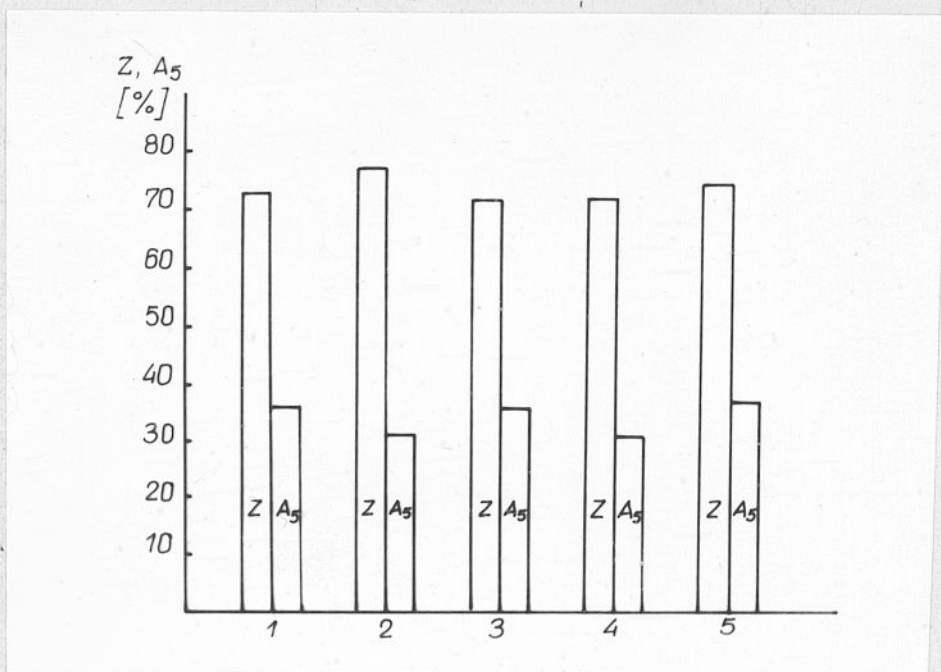


b

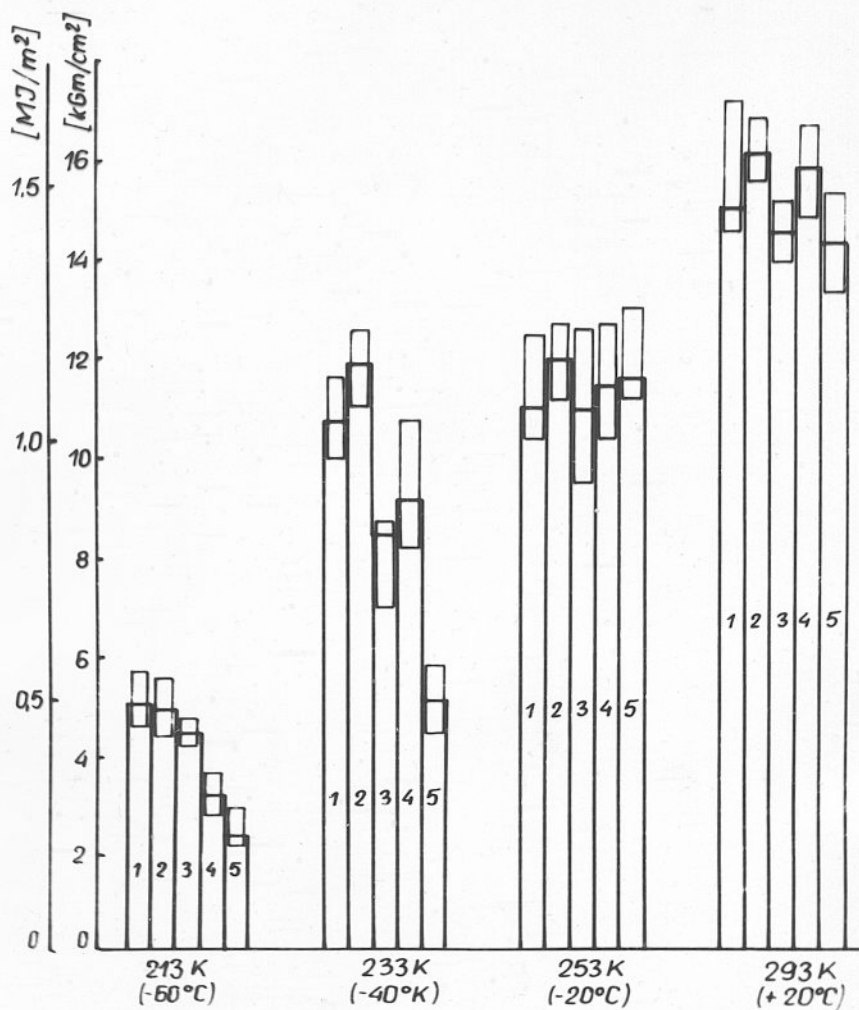
Rys.81 Sposób obcięcia napoiny /a/ i schemat pobierania próbek wytrzymałościowych /b/



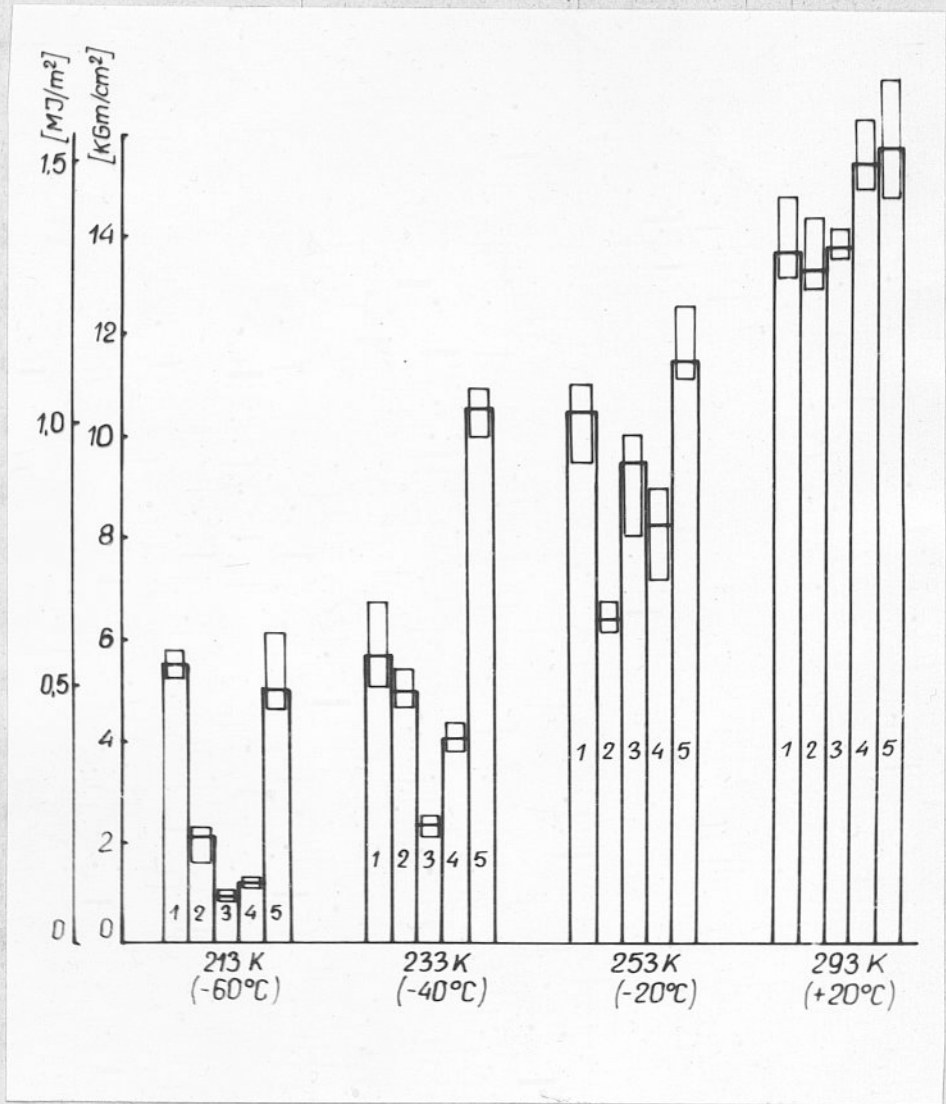
Rys.82 Wytrzymałość stopiwa otrzymanego z drutu
 a/ Sp1GS \varnothing 1,2 mm b/ Sp2GS \varnothing 1,2 mm
 1-CO₂; 2-50%CO₂+50%Ar; 3-80%Ar+20%CO₂
 4-75%Ar+22%CO₂+3%O₂ 5-80%CO₂+20%O₂



Rys.83 Wydłużenie i przewężenie względne stopiwa otrzymanego z drutu a/ Sp1GS \varnothing 1,2 mm, b/ Sp2GS \varnothing 1,2 mm
 1-CO₂; 2-50%CO₂+50%Ar; 3-80%Ar+20%CO₂; 4-75%Ar+22%CO₂+3%O₂; 5-80%CO₂+20%O₂



Rys.84 Zależność uderności od temperatury dla stopiwa otrzymanego w różnych osłonach gazowych drutem elektrodowym Sp1GS.
 1 - 100%CO₂; 2 - 50%Ar+50%CO₂; 3-80%Ar+20%CO₂;
 4 - 75%Ar+22%CO₂+3%O₂; 5 - 80%CO₂+20%O₂



Rys.85 Zależność uderności od temperatury dla stopiwa otrzymanego przez napawanie w różnych osłonach gazowych drutem elektrodowym Sp2GS

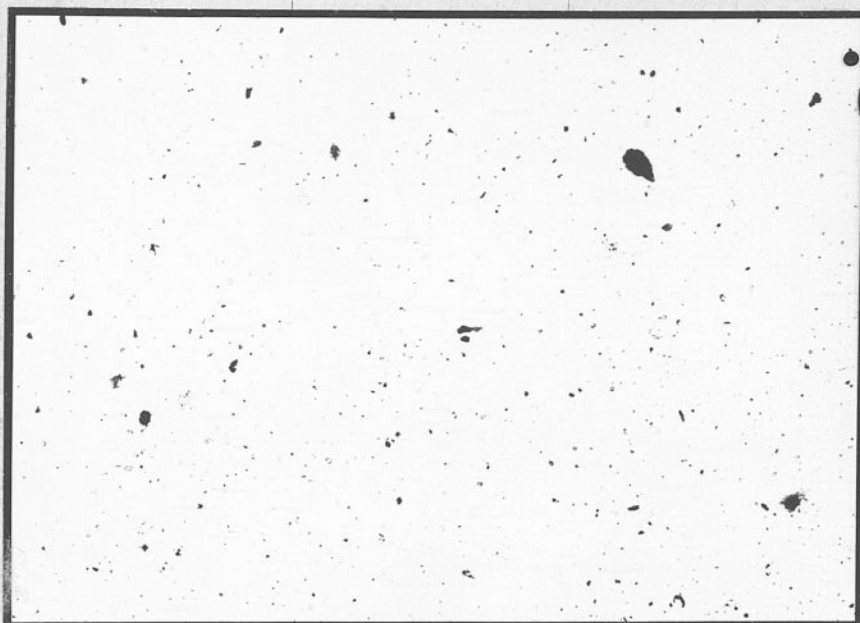
- 1 - 100%CO₂
- 2 - 50%Ar+50%CO₂
- 3 - 80%Ar+20%CO₂+3%O₂
- 4 - 75%Ar+22%CO₂+3%O₂
- 5 - 80%CO₂+20%O₂

10.8.2. Wtrącenia niemetaliczne w stopiwiu

Obserwacje mikroskopowe stopiwa na próbkach nietrawionych wykazały, że ilość wtrąceń niemetalicznych w stopiwiu jest znacznie mniejsza niż wtrąceń w materiale rodzimym /rys.86/. W zależności od zastosowanego składu osłony gazowej, otrzymuje się różną ilość wtrąceń w stopiwiu. Na próbkach stopiwa z drutu Sp1GS stopionego w osłonie CO_2 oraz w mieszaninach CO_2+O_2 , widać, że wtrąceń jest więcej niż w stopie otrzymanym przez spawanie w mieszaninach gazów zawierających argon /rys.86 c,d/. Do oceny ilościowej wtrąceń niemetalicznych w stopiwiu zliczono ilość wtrąceń i zajmowaną przez nie powierzchnię na analizatorze obrazu typu „Quantimet-720” firmy IMANCO, korzystając z fotografii mikroskopowych o powiększeniu 50 razy. Zliczono wtrącenia o powierzchni większej od $2,1 \cdot 10^{-8} \text{ m}^2$. W tabeli 12 przedstawiono wyniki analizy wykonanej na analizatorze obrazu.

10.8.3. Analiza chemiczna stopiwa

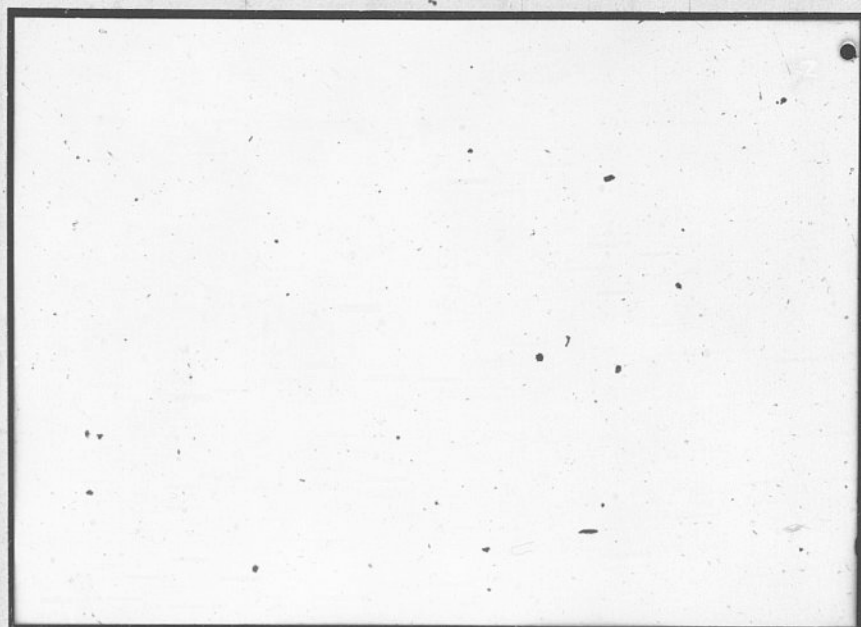
W celu określenia wypalenia składników stopowych, głównie odtleniaczy Mn i Si, przeprowadzono analizę chemiczną badanych spoiw. Wyniki przedstawiono w tabeli 13.



a



b



c



d

Rys.86 Wtrącenia niemetaliczne w stopiwie z drutu Sp1GS przy napawaniu w osłonie. Zgład nietraw. Pow. 50X

a/ 100% CO₂

b/ 50%Ar+50%CO₂

c/ 80%Ar+20%CO₂

d/ 80%Ar+20%CO₂

Tabela 12

Wyniki analizy wtrąceń niemetalicznych w stopiwie z drutu Sp1GS

Gaz ochronny	Ilość wtrąceń o określonej średnicy w m						powyżej 80 10 ⁻⁶	Sumaryczna ilość wtrąceń	Sumaryczna powierzchnia zajmowana przez wtrą- cenia m ²
	75-10/ 10 ⁻⁶	10-20/ 10 ⁻⁶	20-30/ 10 ⁻⁶	30-40/ 10 ⁻⁶	40-50/ 10 ⁻⁶	50-60/ 10 ⁻⁶			
100%CO ₂	53	69	35	9	6	2	7	181	9,9·10 ⁻⁷
50%Ar+50%CO ₂	4	18	9	7	1	7	1	47	4,6·10 ⁻⁷
80%Ar+20%CO ₂	10	25	10	5	3	2	1	56	3,08·10 ⁻⁷
75%Ar+22%CO ₂ +3%O ₂	12	8	13	2	4	2	1	42	3,9·10 ⁻⁷
80%CO ₂ +20%O ₂	36	48	25	7	1	1	-	118	6,85·10 ⁻⁷

Tabela 13

Skład chemiczny stopiw

Rodzaj drutu	Gaz ochronny	Skład procentowy		
		C %	Mn %	Si %
Sp1GS Ø 1,2	CO ₂	0,080	0,90	0,40
	50%CO ₂	0,100	1,11	0,49
	80%Ar+20%CO ₂	0,070	1,19	0,51
	75%Ar+22%CO ₂ +3%O ₂	0,115	1,19	0,65
	80%CO ₂ +20%O ₂	0,100	0,61	0,28
Sp2GS Ø 1,2	CO ₂	0,140	1,30	0,54
	50%CO ₂ +50%Ar	0,090	1,24	0,62
	80%Ar+20%CO ₂	0,080	1,57	0,68
	75%Ar+22%CO ₂ +3%O ₂	0,070	1,38	0,66
	80%CO ₂ +20%O ₂	0,090	1,19	0,45

11. ANALIZA WYNIKÓW

Określony w badaniach wstępnych wpływ długości wolnego wylotu elektrody oraz indukcyjności źródła prądu na ilość powstających rozprysków metalu pozwala stwierdzić, że właściwy dobór tych parametrów /dla drutu elektrodowego o śr. 1,2 mm - indukcyjność 1,0 mH, długość wolnego wylotu drutu 20-25 mm/ przyczynia się do zmniejszenia o połowę ilości powstających rozprysków /rys.23/.

W pracy przeanalizowano wpływ 25 składów gazów ochronnych na geometrię spoin, wydajność stapiania i ilość powstających rozprysków podczas spawania dwoma wartościami parametrów prądowych /180A, 21V oraz 300A, 27V/. Zastosowane kryteria oceny przydatności mieszanki gazów /rozprysk metalu, wytrzymałość spoin na rozerwanie, udarność spoin/ pozwoliły na zbadanie złącz spawanych, a tym samym umożliwiły wybranie najlepszych mieszanin spośród badanych składów gazów ochronnych do spawania stali węglowych. Z trzech rodzajów mieszanin $Ar+CO_2$, CO_2+O_2 i $Ar+CO_2+O_2$, najlepsze wyniki uzyskano spawając złącza w mieszaninie $Ar+CO_2$. Dodatek 40-50% Ar w mieszaninie $Ar+CO_2$ pozwala otrzymać najkorzystniejsze wymiary i kształt spoiny. Uzyskuje się wtedy mniejszą wysokość nadlewu lica i mniejszą głębokość wtopienia /rys.31/, co jest korzystne przy wykonywaniu warstw graniowych w złączach doczołowych /rys.74,75/. Dodatek tlenu do CO_2 zwiększa moc cieplną łuku, gdyż przy spawaniu w atmosferze $70\%CO_2+30\%O_2$ uzyskiwano większą głębokość wtopienia o około 15 % /rys.28/.

Dodatek tlenu do dwutlenku węgla zwiększa szybkość stapiania drutu elektrodowego /rys.33/. Spawanie w mieszaninie o składzie $60\%CO_2+40\%O_2$ daje o około 10-20% większą wydajność stapiania w porównaniu do spawania w samym CO_2 . Jednocześnie zwiększa się o 80% ilość powstających rozprysków.

Argon w mieszaninie $Ar+CO_2$ i $Ar+CO_2+O_2$ zmniejsza nieznacznie szybkość stapiania drutu elektrodowego. I tak podczas spawania w mieszaninie $80\%Ar+20\%CO_2$ zamiast w osłonie dwutlenku węgla, następuje zmniejszenie szybkości stapiania o około 15%.

Jednak spawaniu w mieszaninie $Ar+CO_2$ towarzyszy zwiększenie stabilności jarzenia się łuku, a to umożliwia w praktyce spawanie z większymi wartościami natężenia prądu i podnosi w sumie wydajność spawania o około 10-15% /tabl.40/, w porównaniu do spawania w CO_2 .

Z uwagi na blisko siedmiokrotną różnicę cen argonu i dwutlenku węgla, ważnym problemem jest stwierdzenie, przy jakiej minimalnej zawartości Ar w mieszaninie uzyskuje się znaczne zmniejszenie pracochłonności usuwania rozprysków w powierzchni blach. Te wymagania, w świetle przeprowadzonych badań spełnia mieszanina $40\%Ar+60\%CO_2$, gdyż powstaje o 50% mniej rozprysków o średnicy większej od 0,8 mm aniżeli przy spawaniu w osłonie CO_2 /rys.36/. Zmniejsza się też ilość rozprysków osadzonych w dyszy gazowej uchwyty spawalniczego, co powoduje mniejsze zakłócenia w wypływie gazu ochronnego /rys.39/. Najmniejszą ilość rozprysków obserwuje się podczas spawania w mieszaninie $80\%Ar+20\%CO_2$.

W wyniku badań przechodzenia metalu elektrodowego w łuku spawalniczym przez filmowanie z szybkością 3000 zdjęć na sekundę i oscylografowanie procesu spawania stwierdzono, że spawanie w mieszaninach Ar+CO₂ obniża energię występującą w czasie zwarcia /zmniejszenie natężenia prądu zwarcia i czasu trwania zwarcia, zwiększenie częstości zwarć/. Przy zawartości argonu w mieszaninie większej od 70% osiąga się strumieniowe przechodzenie metalu elektrodowego /przy 300A, 27V/. Podczas spawania w osłonie CO₂ źródłem rozprysków są przede wszystkim krople metalu wyrzucone na zewnątrz z końca topiącej się elektrody /rys.57/, oraz w mniejszym stopniu drobne rozpryski wyrzucone z jeziorka spawalniczego powstające w wyniku ponownego zajarzenia się łuku po zwarcu /rys.56/ Natomiast podczas spawania w mieszaninie 50%Ar+50%CO₂ rozpryski metalu pochodzą wyłącznie z jeziorka spawalniczego /rys.58/.

Podobny sposób powstawania rozprysków, lecz w mniejszej ilości występuje w mieszaninie 80%Ar+20%CO₂.

Ilość powstających rozprysków podczas spawania w CO₂ i w mieszaninach Ar+CO₂ wynika więc z różnic w przechodzeniu kropek metalu. Łuk jarzący się w CO₂, gazie o dużym przewodnictwie cieplnym, ma wąski strumień anodowy, tak iż tworząca się kropla trafia w strefę strumienia powstrzymujących ją na końcu elektrody - i często jest wyrzucana poza obręb jeziorka ciekłego metalu. Spawanie w mieszaninie zawierającej argon zwiększa działanie strumienia anodowego, który niemal w całości obejmuje tworzącą się kroplę metalu i zapobiega wyrzucaniu jej na zewnątrz łuku.

Ilość rozprysków powstających z jeziorka spawalniczego uzależniona jest od energii wydzielającej się w czasie zwarcia, co potwierdza hipotezę I.I.Zaruby [44]. Podczas spawania niskimi parametrami prądowymi, jak również w mieszaninach gazów $Ar+CO_2$ - energia zwarć jest mała, a zatem i ilość tego rodzaju rozprysków metalu jest mniejsza.

Podczas spawania w osłonie CO_2+O_2 obserwuje się większą częstość zwarć i o krótszym czasie trwania w porównaniu do spawania w samym CO_2 /rys.54/. Obserwacje zdjęć filmowych wskazują, że podczas spawania w mieszaninie $80\%CO_2+20\%O_2$ źródłem rozprysków jest jeziorko spawalnicze, które jest bardzo silnie rozdmuchiwane na zewnątrz po ponownym zajarzeniu się łuku po zwarcie /rys.59/. Fakt ten można wytłumaczyć tym, że ciekły metal o mniejszej zawartości krzemu i o wyższej temperaturze ma większą rzadkopląnność /lejność/, a stąd ^{jest} bardziej podatny na dynamiczne uderzenia strumieni plazmowych.

Badania złącz ze stali St3S spawanych drutem elektrodowym Sp1GS w mieszaninach $Ar+CO_2$ wykazały, że wytrzymałość na rozciąganie spoin wzrasta o około 10% w porównaniu do wytrzymałości spoin wykonanych w osłonie CO_2 , a uderność w temperaturze 253K /-20°C/ wynosi ok. 0,6 MJ/m² wobec 0,4 MJ/m² podczas spawania w CO_2 . Wartości te są znacznie większe od uderności materiału rodzimego /rys. 60, 69/. Dlatego dla spawania stali konstrukcyjnych zwykłej jakości należy stosować mieszaninę $40\%Ar+60\%CO_2$, która znacznie zmniejsza ilość rozprysków osadzonych na powierzchni blach oraz polepsza własności mechaniczne złącz.

Stosowanie mieszanin CO_2+O_2 zmniejsza wytrzymałość spoin jak również i ich udarność.

Próby spawania stali o podwyższonej wytrzymałości gatunku 18G2AV i 15G2ANb w CO_2 i w mieszaninach $\text{Ar}+\text{CO}_2$ i $\text{Ar}+\text{CO}_2+\text{O}_2$ wykazały, że najlepsze efekty uzyskuje się stosując mieszaninę 50-60%Ar+50-40% CO_2 . Przy użyciu drutu elektrodowego Sp1GS następuje przesunięcie progu kruchości o 10-15K /10-15°C/ w stronę niższych temperatur /rys.71a, 72a/.

Podczas spawania drutem elektrodowym Sp2GS nastąpił ogólny wzrost udarności spoin o 0,1-0,15 MJ/m², ale nie stwierdzono wyraźnych różnic między udarnością spoin wykonanych w mieszaninach gazów oraz w osłonie CO_2 /rys.71b,72b/.

Technologiczna próba zginania wykazała dobrą plastyczność złącz spawanych, niezależnie od atmosfery ochronnej i gatunku spawanej stali. W badaniach rentgenowskich nie stwierdzono różnic w jakości złącz w zależności od składu gazu ochronnego. Obserwacje mikroskopowe nietrawionych zglądów wykazały, że spoiny zawierają wtrącenia niemetaliczne pochodzące przede wszystkim z materiałów spawanych /rys.78/, co potwierdziły badania samego stopiwa /rys.86/. Należy jednak zauważyć, że ilość wtrąceń i ich powierzchnie podczas spawania w osłonie CO_2 i mieszanin CO_2+O_2 jest znacznie większa niż w mieszaninach gazów zawierających argon /tab.12/. Również lica spoin wykonanych w osłonie mieszanin zawierających powyżej 40%Ar były czyste /rys.63a/ co szczególnie istotne jest przy spawaniu wielowarstwowym.

Fakt ten jest wywołany spawaniem w atmosferze zawierającej mniej tlenu. Tak więc zmianę własności wytrzymałościowych w zależności od składu ochronnej atmosfery gazowej należy tłumaczyć różnicami w wypalaniu się Mn i Si, co potwierdzają wyniki analizy chemicznej spoin /tab.11,13/ oraz różną ilością wtrąceń niemetalicznych w spoinie. Zauważono jednak, że zbyt duża ilość odtleniaczy w stali, a zwłaszcza krzemu, zmniejsza jej plastyczność. I tak stopiwo z drutu Sp2GS otrzymane podczas spawania w osłonie 80%Ar+20%CO₂ /0,68%Si, 1,57%Mn/, miało udarność w temperaturze 253K /-20°C/^{0,65} MJ/m², a stopiwo przy użyciu CO₂ /0,54%Si, 1,3%Mn/ w tej samej temperaturze udarności 1,0 MJ/m². Dalszego zwiększenia własności plastycznych złącz ze stali SSPW należy się spodziewać przez zastosowanie drutów elektrodowych zawierających pierwiastki modyfikujące strukturę spoiny /Mo,Ni/. Zastosowanie do spawania mieszanin trójskładnikowych Ar+CO₂+O₂ nie spowodowało zmniejszenia ilości powstających rozprysków w porównaniu do mieszaniny dwuskładnikowej Ar+CO₂ o takiej samej ilości argonu, ani też nie przyczyniło się do polepszenia własności mechanicznych złącz.

Do sporządzania mieszanin gazów można używać argonu zanieczyszczonego do 5 % tlenem, a przez to tańszego od czystego argonu, co nie wpływa ujemnie na proces spawania w porównaniu do mieszanin Ar+CO₂, a znacznie obniży koszt osłony gazowej. Dotychczas brak jest jednak w handlu takiego argonu. Biorąc pod uwagę trudności przy sporządzaniu mieszaniny trójskładnikowej na stanowisku spawalniczym z czystych gazów, wydaje się, że jej zastosowanie jest obecnie niecelowe.

Przeprowadzone w tej pracy badania nad wpływem składu mieszaniny gazowej $40\%Ar+60\%CO_2$ na ilość powstających rozprysków przyczyniły się do opracowania nowej technologii spawania konstrukcji stalowych ze stali węglowych, dającej złącza o małej ilości osadzonych rozprysków metalu, pozwalającej wyeliminować konieczność nanoszenia pokryć ochronnych z wodnego roztworu cukru [88]. Mieszanina gazów jest wytwarzana przy pomocy mieszalnika na stanowisku spawalniczym z gazów dostarczonych w butlach. Nowoopracowana technologia została wdrożona w latach 1976-1977 w Konińskich Zakładach Naprawczych Przemysłu Węgla Brunatnego w Koninie, do produkcji stalowych konstrukcji tras taśmociągów, zastępując spawanie w osłonie CO_2 . Oszczędności w przeliczeniu na 1 tonę konstrukcji wyniosły 60 zł.

W N I O S K I

1. Zastosowane mieszanki gazów ochronnych do spawania stali węglowych i niskowęglowych elektrodą topliwą, dzięki wprowadzeniu argonu i ustaleniu właściwej procentowej jego zawartości, zapewniają dobre własności metalurgiczno-spawalnicze spoiwom i pozwalają ograniczyć ilość powstających rozprysków metalu.
2. Ilość powstających rozprysków można ograniczyć również w dużym stopniu przez właściwy dobór reakcji dynamicznej źródła prądu i długości wolnego wylotu elektrody.
3. Podczas spawania w osłonie CO_2 rozpryski powstają wskutek wyrzucania z przestrzeni łuku dużych kropeł wahających się na końcu elektrody oraz z jeziora spawalniczego po zwarciu w wyniku ponownego zajarzenia się łuku.
Dodatek 50%Ar do CO_2 eliminuje powstanie pierwszego rodzaju rozprysków oraz ogranicza ilość metalu wyrzucanego z jeziora spawalniczego.
Tlen w mieszaninie CO_2+O_2 zwiększa rzadkoplątność metalu w jeziorce spawalniczym, co wzmacnia rozprysk metalu.
4. Szybkość stapiania drutu elektrodowego zależy jedynie w niewielkim stopniu od składu gazu ochronnego. Wprowadzenie argonu do CO_2 zmniejsza szybkość stapiania, a dodatek 40% tlenu w mieszaninie CO_2+O_2 zwiększa o 15% szybkość stapiania.

5. Znaczne utrudnienie w sporządzaniu mieszaniny gazów trójskładnikowej $Ar+CO_2+O_2$ na stanowisku spawalniczym oraz brak zauważalnych korzyści w jarzeniu się łuku i we własnościach mechanicznych złącz w porównaniu do mieszanin dwuskładnikowych $Ar+CO_2$ o takiej samej zawartości argonu, powodują obecnie niecelowość stosowania mieszanin $Ar+CO_2+O_2$.
6. Zastosowanie do spawania stali o podwyższonej wytrzymałości mieszanin $Ar+CO_2$ o składzie 50-60% $Ar+50-40\%CO_2$ /drut elektrodowy Sp1GS/, zapewni uzyskanie złącz spawanych o korzystniejszych własnościach mechanicznych niż spawanie w osłonie CO_2 . Wytrzymałość na rozerwanie spoin zwiększa się o 10% własności pł. styczne złącz wykonanych w tych mieszaninach są również dobre, gdyż próbki z nich pobrane zginają się do równoległości ramion, a próg kruchości zostaje przesunięty o 10-15^oK w stronę niższych temperatur.
7. Wykorzystanie mieszaniny 40% $Ar+60\%CO_2$ jako osłony łuku elektrycznego, pozwala na widoczne zmniejszenie ilości rozprysków, a mieszanina 80% $Ar+20\%CO_2$ zapewnia otrzymanie złącz bez rozprysków.

Stąd najbardziej ekonomicznie uzasadnione jest zastosowanie mieszaniny 40% $Ar+60\%CO_2$ do spawania stali konstrukcyjnych zwykłej jakości, a dla stali o podwyższonej wytrzymałości mieszanin 50-60% $Ar+50-40\%CO_2$.

L I T E R A T U R A

1. Evdokimov N.J. i inni: - Zaščita poverchnosti metalla ot bryzg pri svarke
Avtom.Svarka, 1970 nr 10 s.39-42
2. Rajskij F.F. - Predbohraneniye sopel i nakonečnikov ot bryzg pri svarke v uglekislom gaze
Avtom. Svarka, 1970 nr 9 s.65
3. Paton B.F. - Tendencje rozwojowe w spawalnictwie
Przegład Spawalnictwa, 1974 nr 3 s.49-50
4. Eichhorn F. i inni: - Werkstoffübergang beim Impulslichtbogenschweissen von Stahl unter besonderer Berücksichtigung des Schutzgases Kohlendioxid
Schw. und. Schn., 1974 nr 6 s.217-220
5. Müller J.: - Gase, Gasgemische und Dämpfe für das Schutzgasschweissen, Teil I 1965
Schweisstechnik /NRD/, 1965 nr 11 s. 501-506
6. Wojtowicz W. - Tablice matematyczno-fizyczne czterocyfrowe
PZWS, Warszawa 1964
7. Bryś St. i inni - Zbadanie możliwości zastosowania helu w procesach spawalniczych.
Praca badawcza I.S. nr Ac-58, Gliwice 1975
8. Zaruba I.I. i inni - Svarka v uglekiślom gaze. „Technika”
Kiev 1966

9. Wills B., D.J.H.Corderoy - Physiko - chemical aspects of the MIG/CO₂ process
The Australian W.J., 1970 nr 1/2 s. 9-17
10. Baker B.H. i inni - Mild Steel Welding with Argon/CO₂ Mixtures
British W.J. 1961 nr 4 s.151-161
11. Cresswell R.A. - Gases and Gas Mixtures in MIG and TIG Welding
Weld.a.Metal Fabr., 1972 nr 4 s. 114-119
12. Masumoto I. - Verfahrenstechnische und Werkstoffkundliche Fragen der CO₂ Schweissung
Schweisstechnik /A/, 1963 nr 1 s.1-8
13. Salter G.R. - Argon - CO₂ - O₂ Mixtures for the Welding of Mild Steel
British W.J. 1964 nr 2 s. 63-78
14. Paton B.B., V.N.Kubasov - Eksperiment po svarke metal'ov v kosmose
Avtom.Svarka, 1970 nr 5 s. 7-12
15. Pierożek B. - Spawanie stali w osłonie CO₂
WNT Warszawa, 1967
16. Smith A.A. - Characteristics of the Short Circuiting CO₂ - Shielded Arc. Physics of the Welding Arc a Symposium, London 1962
17. Kłosowski St. - Przechodzenie materiału w łuku spawalniczym.
Zeszyty Nauk. Pol.Szczecińskiej Nr 67, 1965

18. Potapjevskij A.G. - Svarka v zaščitnych gazach plaviaščimsa elektrodom
Mašinostroenija, Moskva 1974
19. Potapjevskij A.G. i inni - Peremos elektrodnogo metalla pri svarke v uglekislom gaze
Avtom. Svarka, 1971 nr 6 s.1-4
20. Pomaska H.U., L.Wolff: - Anwendung des Kurz-, Sprüh- und pulsierenden Lichtbogens beim MIG- und MAG-Schweissen.
Der Praktiker, 1971 nr 7 s. 148-152
21. Pomaska H.U. - Wirtschaftlichkeitsvergleiche beim MAG-Schweissen unter CO₂ und Mischgasen
Der Praktiker, 1973 nr 9 s.183-185
22. Dittrich S. - Schutzgasschweissen - augenblicklicher Stand und Entwicklungsmöglichkeiten
Industrie - Anzeiger, 1970 nr 17 s. 347-351
23. 999+1 Hinweise für den Schweißtechnologien. ZIS Halle 1973
24. Conn W.M. - Die Technische Physik der Lichtbogenschweißung
Springer-Verlag, München 1959
25. Renelt E, - Schutzgasschweissen mit Gasgemischen - eine Übersicht
ZIS - Mitteilungen, 1965 nr 8 s.1166-1175
26. Elistratov A.P. i inni - Perenos elektrodnogo metalla pri svarke v smesi zaščitnych gazov
Avtom.Svarka, 1975 nr 12 s. 61-62

27. Elistratov A.P., G.G.Cernyšov - Svarka uglerodistoј stali v gazovoj smesi argon - uglekislyj gaz
Svaročn.Proizv., 1973 nr 6 s.19-20
28. Elistratov A.P., G.G.Cernyšov - Svarka plaviaščimsa elektrodom v gazowych smesach stali tipe 18-8
Svaročn. Proizv. 1973 nr 11 s.12-14
29. Dilthey U. - Zur Deutung des unsterchiedlichen Schweissverhaltens beim Schutzgasschweissen unter Argon und Kohlendioxid
Schweiss. Schn., 1974 nr 7 s. 254-258
30. Antonec D.P., A.J.Savčenko - Niekotorye osobennosti dugovoj svarki stali 20HGSNM v smesi gazov CO₂ i O₂
Svaročn. Proizv. 1974 nr 3 s.14-15
31. Needham J.C. i inni - Metal Transfer in Inert-Gas Shielded -Arc Welding
British W.J., 1960 nr 2 s.101-114
32. Defize L.F., P.C, van der Willigen: - Droplet Transfer During Arc Welding in Various Shielding Gases
British W.J., 1960 nr 5 s. 297-305
33. Bothe-Kłosowska D. - Kształt łuku a strumienie plazmowe.
Przegląd Spawalnictwa 1972 nr 2 s. 39-46
34. Smarzyński S.Z - Działanie strumieni plazmowych na cząstki materiałne w łuku spawalniczym
Praca doktorska, Szczecin 1976

35. Potapjevskij A.G. - Vidy razbryzgivaniya metalla pri
svarke v uglekišlom gaze
Avtom. Svarka, 1974 nr 5 s.10-12
36. Brochin A.A. - Osnovy svarki plavlenijem
Mašinostroeniye, Moskva 1973
37. Zaruba J.J. - Priroda korotkich zamykanij dugi pri svarke
v uglekišlom gaze
Avtom. Svarka, 1973 nr 5 s. 14-17
38. Popkov A.M. - Sviaz' poter metalla na ugar i razbryzgivanie
s charakterom okislenia ugleroda.
Svgračn.Proizv., 1975 nr 4 s. 4-5
39. Probst R. - Grundlage der Schweisstechnik - Schweissmetallur-
gie.VEB Verlag Technik,Berlin 1971
- 40, Zaruba J.J. - Usloviya ustojčivosti processa svarki
s korotkimi zamykaniami
Avtom. Svarka, 1971 nr 2 s.1-4
41. Lebedjev V.K., N.F.Medvedjenko: - K issledovaniju
perehodnych processov, vyzvannyh perenosom
metalla
Avtom.Svarka, 1967 nr 9 s.25-28.
42. Lebedjev V.K.,N.F.Medvedjenko - Issledovaniye vlijanija
perehodnych procesov na razbryzgivaniye metalla
pri svarke v uglekišlom gaze
Avtom.Svarka, 1968 nr 5 s.11-15.

43. Medvedjenko N.F. - Pričiny razbryzgiwanija metalla pri svarke s korotkimi zamykanijami v CO₂
Svaroč.Proizv. ,1969 nr 5 s. 14-15.
44. Zaruba J.J. - Faktory, opredeljajuščie razbryzgiwanie metalla pri svarke s korotkimi zamykanijami
Avtom.Svaraka, 1974 nr 8 s. 71
45. Hummitzh W. - Tropfenübergang im Kohlendioxyd - Schutzgasschweisslichtbogen
Schw. u. Schn. 1963 nr 7 s. 356-358
46. Dilthey U. - Analyse des Entstehens von Spritzern beim Lichtbogenschweissen
Schw.u.Schn. 1973 nr 5 s. 184-185
47. Hryńczuk J. i inni - Wyznaczenie parametrów prądu spawania.
Przegląd Spawalnictwa, 1973 nr 10s.228-229
48. Lewis P.D., D.N.A.Bax - Effect of Inductance on Spatter Loss in the CO₂ Shielded Welding of Mild Steel
British W.J., 1964 nr 4 s. 157-162
49. Probst R. - Metallurgie der CO₂ - Schutzgasschweissung
Dissertation, Magdeburg 1963
50. Probst R. - Spritzverluste beim CO₂ - Schutzgas - Schweissen
Schweisstechnik /NRD/, 1964 nr 7 s. 320-324
51. Uljanov V. i inni - Vlijanije aluminja v elektrodnoj provoloke na pročnost' metalla šva pri svarke v uglekislom gaze stali St3
Avtom.Svaraka, 1974 nr 12s.15-18

52. Popkov A.M. - K voprosu o pričinach razbryzgivanja metalla pri svarke s korotkimi zamykanijami v CO₂
Svaročn.Proizv. 1971 nr 5 s.14-16
53. Sluckaja T.M. i inni - Osobennosti processa svarki v uglekislom gaze provolokoj legirovannoj cirkonijem
Avtom. Svarka, 1972 nr 12 s. 67-69
54. Budnik N.M. i inni - Aktivizacija svaročnoj provoloki dla svarki v uglekislom gaze postojannym tokom priamoj polarnosti.
Svaročn.Proizv. 1970 nr 3s.24-25
55. Pavluk S.K., V.M. Betokoń - Ob ustojčivosti processa zažigania dugi pri svarke plavaščimsa elektrodom.
Svaročn.Proizv., 1974 nr 4 s.51-52
56. Krahl A. - Auswirkungen zunehmender Kohlendioxidgehalte in Argon - Kohlendioxid - Schutzgasgemischen beim Metallschutzgasschweißen von Baustählen
Schw. u Schn., 1971 nr 5 s. 183-187
57. Spicyn V.V. - O vlijanii tehnologičeskich parametrov rezima na proizvoditelnost' svarki v uglekislom gaze.
Svaroč. Proizv. 1965 nr 9 s. 29-30
58. Blume F., M.Jochim - Untersuchung des Gasschutzes beim S.G /CO₂/ - Schweißen
Schweisstechnik /NRD/, 1973 nr 12 s. 533-537
59. Krahl A. - Über die Bedeutung der freien Drahtelektrodenlänge beim Metallschutzgasschweißen
Schw.u.Schn. 1970 nr 12 s. 520-523

60. Aauis A.E. i inni - Poluavtomatičeskaja svarka s uvličennym vyletom elektroda v směsi uglekislogo gaza i kisloroda.
Avtom.Svarka, 1972 nr 4 s. 75
61. Erman M.J i inni - Vlijanie vyleta elektroda pri svarke v smesi uglekislogo gaza i kisloroda na vydele-
nie aerozla.
Avtom.Svarka, 1971 nr 3 s.75
62. Szerechowski W., J.Krawczyk - Wykorzystanie gruntowych farb ochrony czasowej do zabezpieczenia konstnukcji sstalowych przed rozpryskami przy spawaniu.
Konstrukcje Metalowe, 1971 nr 3/28 s. 111-118
63. Popkov A.M. - Vlijanie sostojania poverchnosti svarivaemoga izdelija na nabryzgivanije i poteri elektrodnogo metalla pri svarke v uglekislom gaze
Svaročn. Proizv., 1974 nr 8 s. 26-27
64. Matthes P. - Silikone als Schweisshilfsmittel
ZIS Mitt., 1974 nr 5 s. 596-602
65. Golovatiuk A.P. i inni - Nekotoryje gigeničeskije pokazateli oborudovonija dla svarki v CO₂
Avtom. Svarka, 1975 nr 7 s. 67-68
66. Fedkov V.T, A.M.Popkov - Vlijanie zascitnych pokrytij na sanitarno gigeniceskije uslovja truda pri svarke v uglekislom gaze.
Svarčn. Proziv., 1974 nr 6 s. 56

67. Ackermann E. i inni - Anwendungsmöglichkeiten und Bereitstellung von Mischgasen in der Schweißtechnik. Teil 1
Schweißtechnik /NRD/, 1976 nr 2 s. 61-63
68. Ackermann E. i inni - Anwendungsmöglichkeiten und Bereitstellung von Mischgasen in der Schweißtechnik.
Teil 2. Schweißtechnik /NRD/, 1976 nr 3 s. 119-121
69. Scheibner P. - Höhere Effektivität beim MAG - Schweißen durch Mischgase.
ZIS-Mitteilungen, 1976 nr 6 s. 546-559
70. Buki A.A. i inni - Issledovanie svarki stali 10 kp v smesi $CO_2 - O_2$
Svaročn. Proizv., 1974 nr 3 s. 15-16
71. Smith A.A. - The influence of shielding gas composition on weld metal properties.
Welding in the World, 1967 nr 1 s. 26-32
72. Kennedy C.R. - Gas mixtures in welding
The Australian W.J. 1970 nr 9 s. 38-52
73. Aichele G., A.A.Smith. - MAG - Schweißen - DVS Düsseldorf 1977
74. Titov N.J., Szmenov V.J. - Vlijanie sostava gazovyh smesoj na poteri legirujuscich elementov pri dugovoj svarke plaviasčimsa elektrodom
Svaročn.Proizv., 1975 nr 3 s. 22-23
75. Svecinskij V.G i inni - Osobennosti tonkoj struktury metalla švov, svarenyh v zaščitnyh gazach
Avtom.Svarka, 1974 nr 8 s. 5-8

76. Hannerz N.E., J.F.Lovery - Influence of micro-slag distribution on MIG-MAG weld metal impact properties
Metal Constr., 1975 nr 1 s. 21-25
77. Pomaska H.U. - Mac - Schweissen an Feinkornbaustählen in Fahrzeug und Krankbau
Der Praktiker, 1975 nr 1 s. 6-9
78. Svecinskij V.G i inni. - Svarka konstrukcyjnych stalej v trojnoj smesi Ar+CO₂+O₂
Inform. Pismo, 1973 nr 4 s, 1-4
79. Asnis A.E. i inni. - Povysenie stojkosti svov protiv por i trescin pri svarke v smesi uglekislogo gaza i kislороda
Avtom. Svarka, 1972 nr 10 s. 1-4
80. Asnis A.E. i inni. - Poluavtomatičeskaja svarka stali 16G2AF i 15G2AF_{ps} v smesi uglekislogo gaza i kislороda.
Avtom. Svarka, 1974 nr 8 s. 40-42
81. Asnis A.E. - i inni - Sopotavlenije svojstv svarnych soedinenij, vypočniennych provotokoj Sv.-08G2S v smesi uglekislogo gaza s kislородom i elektrodami UONI-13/45
Avtom. Svarka, 1974 nr 3 s, 38-42
82. Konkoli T. - Udarnnaja viazkost' metalla šva, svarenного v smesi uglekislogo gaza i kislороda
Avtom. Svarka, 1975 nr 12 s. 17-19

83. Kaczmar W., J.Kuna - Wpływ mieszanki Ar/CO₂ na własności złącz i wielkość rozprysku przy spawaniu stali St3S. Materiały konferencyjne na temat „Tendencje rozwojowe w technologii maszyn”, WSI Zielona Góra, 1975.
84. Kuna J., A.Ambroziak - Osiadłość spawania stali niskowęglowych w mieszankach CO₂+Ar. Biuletyn Inst. Spawalnictwa, 1976 nr 67 s. 33-36.
85. Durlik J., Gałkowska A. - Dobór ochronnych mieszanek gazowych do spawania blach ze stali węglowych. Materiały konferencyjne na temat: „Optymalizacja procesów spawania” Częstochowa 1973
86. Pjerożek B. - Dobór mieszanek gazowych do osłony metalu przy spawaniu elektrodą topliwą. Praca badawcza Inst. Spawalnictwa w Gliwicach nr Ac-38, 1966
87. Jeżewski M., J.Kalisz - Tablice wielkości fizycznych PWN Warszawa, 1957
88. Kaczmar.WJ, J.Kuna, A.Ambroziak - Opracowanie i wdrożenie technologii spawania stali spawalnych niskowęglowych w mieszankach gazowych CO₂+Ar. Raport nr 319, Instytut Technologii Budowy Maszyn Politechniki Wrocławskiej, Wrocław 1976 .

WYKAZ ODBIORCÓW

Ilość egz.

1. Biblioteka i Ośrodek Informacji Instytutu Technologii Budowy Maszyn Politechniki Wrocławskiej	1
2. Biblioteka Główna Politechniki Wrocławskiej	1
3. Promotor	1
4. Recenzenci	2
5. Autor	2

		1	2	3	4	5	6	7	8	9	
	* N *	N N S R T T A N								3 2 1 5	
	Rezpocz. pr.	Zakończ. pr.	Opubl. pr.		Instytut			Nr. tematu			
	1. 0. 7. 4	0. 7. 7. 7			I. 2. 4			2. 3. 3. 0. 5. v. v. 0. 2			
Nr zlecenia		Nr archiwalny									
		I. 2. 4. / K - 3. 9. 1. / 7. 7 *									
Symbol UKD 621.791		spawanie					77:Inst.Technol. Bud.Masz.PWr MNSzWT				
							pol.				
Opis bibliograficzny											
<p>Ambroziak Andrzej</p> <p>Wpływ składu ochronnej atmosfery gazowej na ilość rozprysków i własności mechaniczne złącz przy spawaniu stali elektrodą topliwą.</p> <p>Komunikaty Inst.Technol.Bud.Masz.PWr 1977 nr 391 s.171, 86 rys. 13 tabl. bibliogr.88poz. /maszyn.powiel./</p> <p>Rozprawa doktorska Politechnika Wrocławska Instytut Technologii Budowy Maszyn Wrocław Promotor: prof.dr hab.inż.Władysław Kaczmar</p>											
Charakter pracy: stosowana					Rozpowszechnienie: napraw.ręk.						
Materiały odpłatne A											

Analiza dokumentacyjna

<D> Przeanalizowano rodzaje powstających rozprysków metalu i wpływ parametrów procesu spawania na intensywność rozprysku podczas spawania stali elektrodą topliwą w osłonie gazów. Przebadano wpływ składu mieszanin Ar + CO₂, CO₂ + O₂ i Ar + CO₂ + O₂ na sposób przechodzenia metalu w łuku, ilość i wielkość rozprysków, kształt wtopienia oraz na własności mechaniczne złączy spawanych.

Na podstawie badań laboratoryjnych i przemysłowych stwierdzono, że:

- stosując jako osłonę łuku mieszaninę 40%Ar + 60% CO₂ uzyskuje się widoczne zmniejszenie ilości rozprysków, a mieszanina o składzie 80% Ar + 20% CO₂ zapewnia otrzymanie złączy bez rozprysków,
- do spawania stali konstrukcyjnych zwykłej jakości najbardziej ekonomiczna jest mieszanina zawierająca 40% Ar + 60% CO₂, a dla stali o podwyższonej wytrzymałości - 50-60% Ar + 50-40% CO₂.

Imię i Nazwisko autora analizy

Andrzej Ambroziak

Słowa kluczowe

spawanie, rozprysk, mieszaniny gazów, spoina, własności mechaniczne.

**0480*00* Ø 19 10 5

<A _____ *B _____ *C _____ *D _____

*E _____ *F _____ *G _____ *H _____

Tylko PRL	CINTE	APW.	Podpis red.	Podpis asyst. d/s badań	Potwierdzenie przyjęcia poprawki.	Potwierdzenie przyjęcia karty w Oddziale Dokumentacji.
NIE	TAK	TAK	<i>[Signature]</i>	<i>[Signature]</i>		
Wpisz TAK lub NIE						

