

Zenon BABIAK  
Andrzej AMBROZIAK  
Instytut Technologii  
Budowy Maszyn  
Politechniki Wrocławskiej

## ANALIZA CZYNNIKÓW TECHNOLOGICZNYCH WPLYWAJĄCYCH NA TWARDOŚĆ WARSTW NAPAWANYCH PLAZMOWO

**Streszczenie.** Stwierdzono znaczne różnice w twardości warstw napawanych gazowo i plazmowo proszkiem typu NiCrBSiFeC i wyjaśniono przyczyny tych różnic. Analizowano wpływ na twardość warstw napawanych plazmowo takich czynników, jak: granulacja proszku, temperatura wstępnego podgrzania podłoża, natężenie prądu łuku plazmowego, prędkość napawania i ilość warstw. Twardość warstw zależy od stopnia wymieszania napoiny z materiałem podłoża.

### WSTĘP

Wytwarzanie warstw o specjalnych własnościach na nowych elementach maszyn lub regenerację zużytych części można z powodzeniem wykonać przez napawanie palnikami gazowymi lub plazmowymi z użyciem proszków. W praktyce stosuje się proszki na osnowie:

- niklu z dodatkami (Cr, B, Si, C, Fe, Co itp.),
- kobaltu (z dodatkami Cr, W, C, Ni itp.),
- żelaza (z dodatkami Cr, Mn, Ni, C itp.).

Obecnie najszersze zastosowanie znajdują proszki na osnowie niklu. Dobierając odpowiedni skład chemiczny można łatwo uzyskać stopy o stosunkowo niskiej temperaturze topnienia ( $980^{\circ}\text{C}$ - $1220^{\circ}\text{C}$ ) oraz o twardości od 20 do 62 HRC. Wymaganą twardość warstwy uzyskuje się dzięki związkom typu  $\text{Ni}_3\text{B}$ , CrB,  $\text{Ni}_3\text{Si}$ , Me-C [1], występującym w stopach przeznaczonych do wytwarzania proszków. Do napawania gazowego stosuje się proszki o granulacji ziarn do  $100\ \mu\text{m}$ , natomiast do napawania plazmowego proszki często o takim samym składzie chemicznym, lecz o granulacji  $100$ - $320\ \mu\text{m}$ , gdyż plazma jest intensywniejszym źródłem ciepła od płomienia gazowego. Podczas produkcji proszków przez rozpylanie ciekłego stopu otrzymuje się ziarna o wielkości do  $350\ \mu\text{m}$ . Po odsianiu frakcji do  $100\ \mu\text{m}$ , proszki większe można z powodzeniem stosować do napawania plazmowego. W praktyce przemysłowej okazało się jednak, że warstwy napawane plazmowo mają twardość mniejszą o 12-14 HRC od warstw napawanych gazowo [2]. Dlatego podjęto próbę wyjaśnienia przyczyn różnic w twardości warstw napawanych gazowo i plazmowo. Badano zależność twardości warstw napawanych plazmowo od takich czynników technologicznych, jak: natężenie prądu, prędkość napawania, temperatura pod-

grzania płyty próbnej oraz granulacja proszku.

#### BADANIA WŁASNE

Do napawania stosowano proszek stopowy na osnwie niklu, oznaczony symbolem NiCr60, o składzie podanym w tablicy 1.

T a b l i c a 1

Skład chemiczny proszku użytego w badaniach

Oznaczenie	Zawartość składników w %					
	Cr	Fe	Si	C	B	Ni
NiCr60	15,6	10,68	4,35	0,8	3,76	reszta

Do napawania użyto proszku o granulacji ziarn 100-200  $\mu\text{m}$  oraz porównawczo 0-200  $\mu\text{m}$ , 200-320  $\mu\text{m}$ , i 100-320  $\mu\text{m}$ . Ilość dozowanego proszku wynosiła stale 1,2  $\text{cm}^3/\text{min}$ . Napoiły układano na płytkach ze stali niskowęglowej o wymiarach 120x65x14 mm, oczyszczonych do metalicznego połysku. Odległość palnika od materiału napawanego wynosiła 10 mm, a szerokość napoiły 2,5 mm. Schemat napawania pokazano na rys.1. Próby przeprowadzono na urządzeniu do napawania plazmowego typu NP1-250. Sprawność napawania określano w ten sposób, że próbki ważono przed i po napawaniu, a do napawania stosowano uprzednio sważone porcje proszku. Po napawaniu można więc było określić sprawność napawania jako stosunek masy proszku, który utworzył napoiły, do masy proszku użytego do napawania. Po napawaniu wycinano w odległości 40 mm od początku płytki próbkę do badań. Mierzono twardość oraz określono na podstawie zdjęć makroskopowych stopień wymieszania materiału napawanego z podłożem. Stopień wymieszania napoiły z materiałem rodzimym określa się jako iloraz powierzchni napoiły znajdującej się ponad linią materiału rodzimego ( $F_n$ ) do całkowitej powierzchni napoiły ( $F_c$ ) (rys.2). Wpływ natężenia prądu napawania na stopień wymieszania dla różnych granulacji proszku NiCr60 pokazano na rys.3, a na twardość napoiły - na rys.4.

Z wykresów tych wynika, że wraz ze wzrostem natężenia prądu rośnie stopień wymieszania napoiły, który rośnie od 10 % przy  $I = 100 \text{ A}$  do 70 % przy  $I = 180 \text{ A}$ , a twardość maleje odpowiednio od ok. 58 HRC do ok. 20 HRC. Natomiast próbka napawana gazowo miała stopień wymieszania z materiałem podłoża bliski zeru, a twardość 62,5 HRC. Podczas napawania gazowego nie uległ stopieniu rodzimy materiał w przeciwieństwie do napawania plazmowego (rys.5). Sprawność napawania, w zależności od natężenia prądu napawania, pokazano na rys.6. Dla małych natężeń prądu napawania (100A) występują większe straty proszku wskutek niewystarczającej ilości ciep-

ła, koniecznej do przetopienia wszystkich ziarn proszku. Natomiast przy natężeniu prądu 180A następuje już "wypalanie" ziarn proszku i straty proszku ponownie są większe. Najmniejsze straty stwierdzono podczas napawania proszkiem o granulacji ziarn 100-120  $\mu\text{m}$ .

Podstawowym parametrem procesu napawania jest prędkość napawania. Na rys. 7 zobrazowano wpływ prędkości napawania na twardość napoiny, a na rys.8 - wpływ częstotliwości wahań głowicy na tę twardość. Napawanie punktowym źródłem ciepła bez wahań głowicy powodowało bardzo słabe związanie warstwy z podłożem i nie może być praktycznie stosowane. W celu uzyskania warstw o dużej twardości należy stosować małe (6-7 cm/min) lub duże (powyżej 17-18 cm/min) wartości prędkości napawania. Natomiast wpływ częstotliwości wahań głowicy na twardość warstw jest nieznaczny. Stwierdzono, że przy mniejszych wartościach częstotliwości wahań głowicy ( $f = 20-40 \text{ min}^{-1}$ ) proces napawania przebiega spokojnie, natomiast przy wyższych częstotliwościach obserwowano burzliwy sposób napawania, z dużymi rozpryskami i nierównościami w układanej warstwie.

Jednym z parametrów napawania plazmowego jest odległość palnika od materiału napawanego. Szczególnie podczas napawania złożonych elementów maszyn zachodzi czasami konieczność napawania przy różnych odległościach palnika od materiału. Próby przeprowadzono dla czterech odległości: 5, 10, 14 i 24 mm (rys.9). Dla wartości skrajnych osiągnięto największą twardość, jednak proces napawania był bardzo utrudniony. Dla odległości  $l=5$  mm groziło zetknięcie głowicy palnika z napołą, natomiast gdy  $l=24$  mm występowały trudności z utrzymaniem łuku między palnikiem a materiałem napawanym.

Dla określenia oddziaływania podgrzania wstępnego blach na twardość warstwy, wykonano napoinę na blasze wstępnie podgrzanej do temperatury  $650^{\circ}\text{C}$ . Napoina miała twardość 34 HRC, a stopień wymieszania z materiałem rodzimym wynosił ok.50 %.

Podczas badań wykonano napoinę o grubości 9 mm w trzech warstwach a następnie mierzono twardość na jej przekroju (rys.10). Największą twardość miała zewnętrzna warstwa napoiny (730HV-60HRC) a najmniejszą warstwa napoiny w pobliżu materiału rodzimego (353HV-36HRC).

Obserwacje mikroskopowe struktury warstw napawanych wykazały znaczne różnice w mikrostrukturze napoin ułożonych z małym i dużym prądem napawania (mały i duży współczynnik wymieszania (rys.11)). Napoina o dużym współczynniku wymieszania wykazuje dużą ilość roztworu stałego.

Z przeprowadzonych badań wynika, że twardość napoiny jest związana z jej współczynnikiem wymieszania. Dla bliższego wyjaśnienia tej zależności, na podstawie pomiarów twardości i współczynników wymieszania 26 różnych warstw, wyliczono wartość współczynnika korelacji, który wyniósł  $r=-0,89$ , co świadczy z pewnością w ponad 99,9 %, że korelacja istnieje, a równanie prostej korelacji jest następujące :

$$y = 61,5 - 0,59 x,$$

gdzie:  $y$  - twardość warstwy w jednostkach HRC,

$x$  - współczynnik wymieszania w %.

Zależność tę wykreślono na rys.12. Dla danego rodzaju proszku, napawanego na określone podłoże, można więc znaleźć zależność między twardością jednowarstwowej napoiyny a jej współczynnikiem wymieszania.

#### WNIOSKI

1. Istnieje ścisła korelacja między twardością napoiyny ułożonej przez jednowarstwowe napawanie plazmowe, a jej współczynnikiem wymieszania z podłożem.
2. Przyczyną różnic w twardości warstw napawanych gazowo i plazmowo takim samym proszkiem NiCr60 są różnice w stopniu wymieszania napoiyny z podłożem. Podczas napawania plazmowego współczynnik wymieszania plazmowego zależy w znacznym stopniu od parametrów napawania i wynosi 10-70%, a podczas napawania gazowego wymieszanie prawie nie zachodzi.
3. Wpływ parametrów technologicznych procesu napawania (natężenie prądu, prędkość napawania, temperatura podgrzania) na twardość napoiyny ułożonej proszkiem NiCr60 zależy od wpływu tych parametrów na stopień wymieszania napoiyny z podłożem.
4. Wzrost natężenia prądu podczas napawania plazmowego obniża twardość warstwy napawanej.

#### LITERATURA

- [1] Lugscheider E.: Plasma-auf-tragschweissen von Hartlegierungen auf Nickel - und Kobaltbasis zum Verschleiss - und Korrosionsschutz" Grossen Schweisstechnik schen Tagung in Regensburg 1980, DVS - Berichte, Band 65 s. 189-201.
- [2] Zuchowski R.S., Culbertson R.P.: Plasma Arc Weld Surfacing, Welding Journal, June 1962 s.548-555.

Recenzent

Doc.dr hab. inż. A. Klimpel

## AN ANALYSIS OF TECHNOLOGICAL FACTORS INFLUENCING THE HARDNESS OF PLASMA ARC WELD SURFACING LAYERS

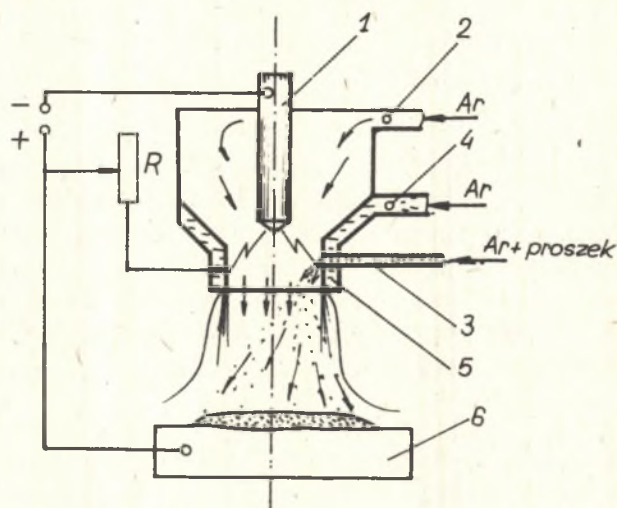
## SUMMARY

Considerable differences in the hardness of gas surfacing oxyacetylene deposition and plasma arc weld surfacing layers using the flux NiCrBSiFeC were detected. The effect of the following factors on the hardness of plasma arc weld surfacing was analysed: flux granulation, preheat temperature, plasma arc amperage torch travel speed and the number of layers. The surfacing layers hardness depends on the dilution coefficient of surfacing weld with the base material.

## АНАЛИЗ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ ВЛИЯНИЯ НА ТВЕРДОСТЬ ПЛАЗМАТИЧЕСКИ НАПЛАВЛЕННЫХ СЛОЕВ

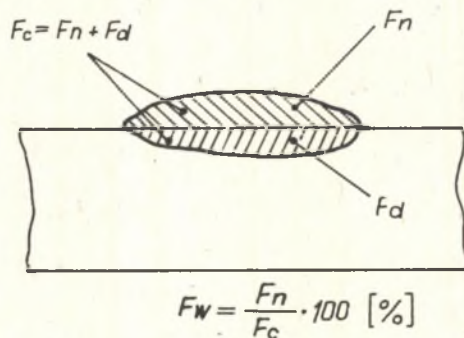
## РЕЗЮМЕ

В настоящей работе были определены значительные расхождения в твердости слоев наплавленных газовыми и плазmatическими методами при помощи порошка типа NiCrBSiFeC и были объяснены причины этих расхождений. Было проанализировано влияние на твердость плазmatически наплавленных слоев таких факторов как: гранулирование порошка, температура предварительного подогревания, сила тока плазmatической дуги, скорость наплавления и количество слоев. Твердость слоев зависит от степени смешения слоя с материалом основания.

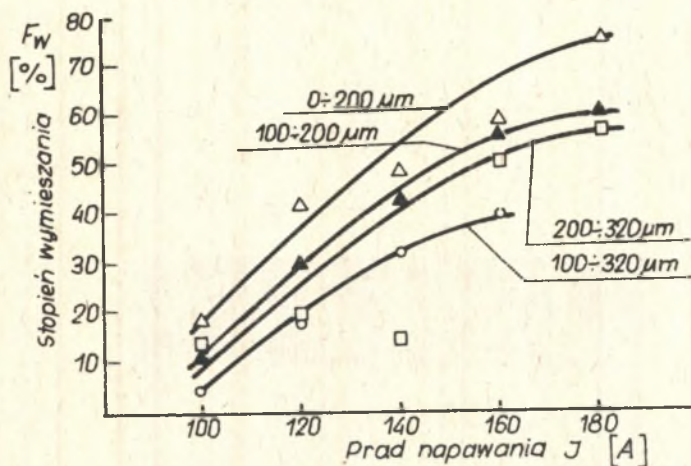


Rys.1. Schemat napawania plazmowego:

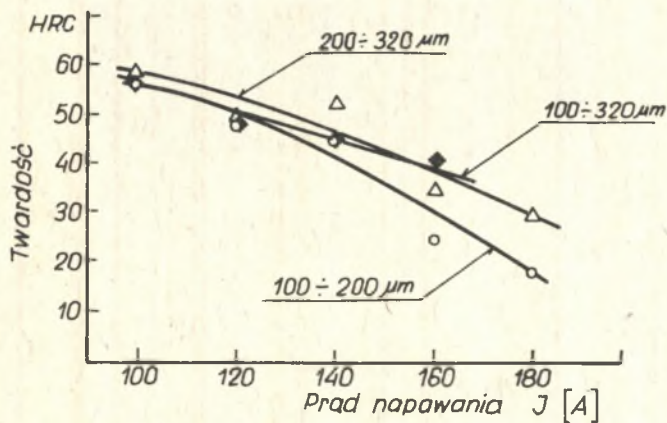
- 1) katoda wolframowa, 2) gaz główny plazmotwórczy,
- 3) gaz transportujący proszek, 4) gaz tworzący osłonę,
- 5) dysza - anoda przy łuku wewnętrznym,
- 6) przedmiot napawany (anoda przy łuku zewnętrznym).



Rys.2. Schemat określania stopnia wymieszania napoiny ( $F_w$ ) z materiałem rodzimym ( $F_n$  - pole napoiny nad linią materiału rodzimego,  $F_d$  - pole napoiny pod linią materiału rodzimego - wtopienie,  $F_c$  - całkowita powierzchnia napoiny).



Rys.3. Wpływ prądu napawania na stopień wymieszania dla różnych granulacji proszku NiCr60 ( $v=13,3$  cm/min,  $f=40$  min<sup>-1</sup>).

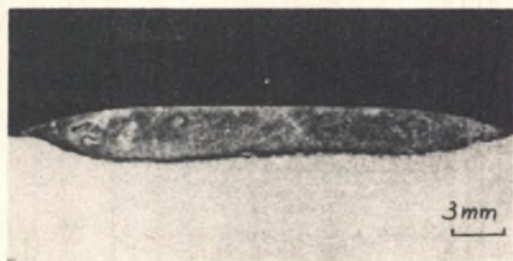


Rys.4. Wpływ prądu napawania na twardość warstwy przy napawaniu plazmowym prodkiem NiCr60 ( $v = 13,3$  cm/min,  $f = 40$  min<sup>-1</sup>).

a

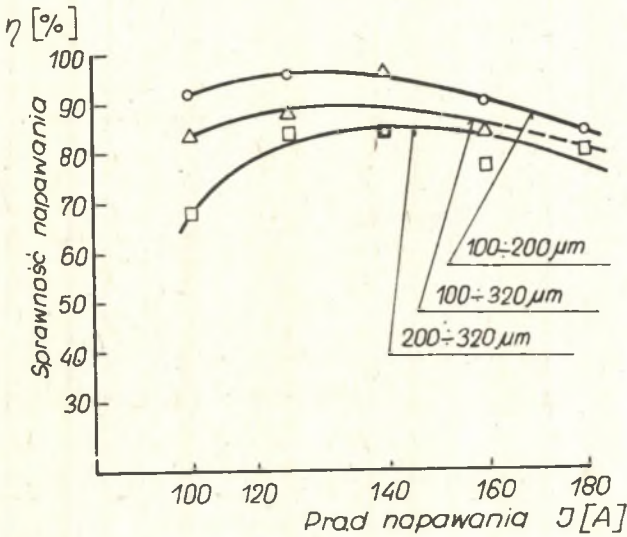


b

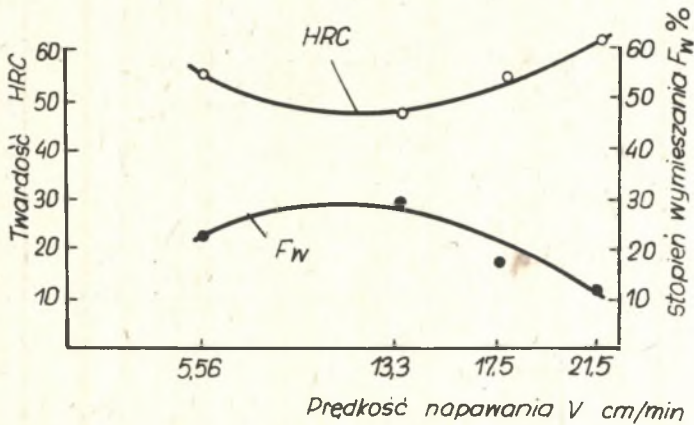


Rys.5. Wygląd napoiwy (traw. Adler):  
a) napawanie gazowe,  
b) napawanie plazmowe, 180 A.

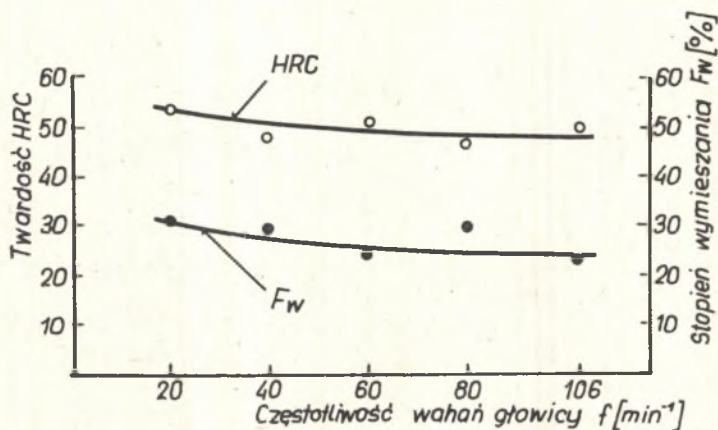




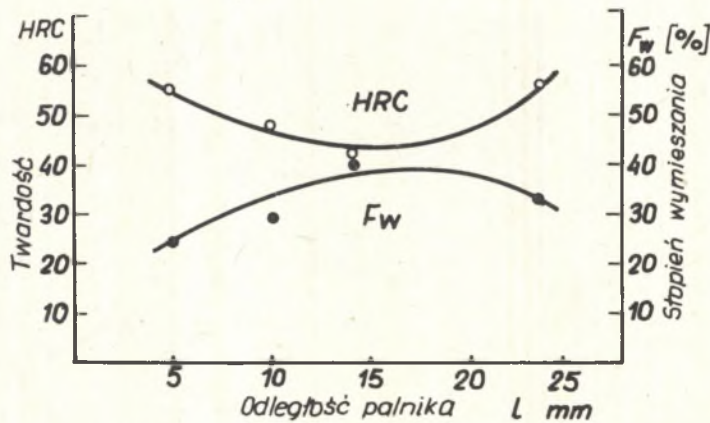
Rys. 6. Zależność sprawności napawania od natężenia prądu dla różnych granulacji proszku.



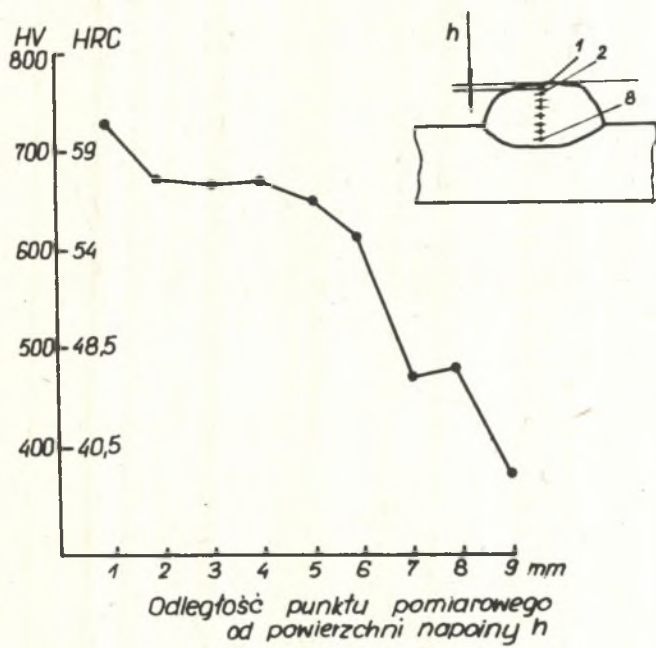
Rys. 7. Wpływ prędkości napawania na twardość i stopień wymieszania naciśnięcia dla częstotliwości wahań głowicy  $f = 60 \text{ min}^{-1}$  i  $I = 120 \text{ A}$ .



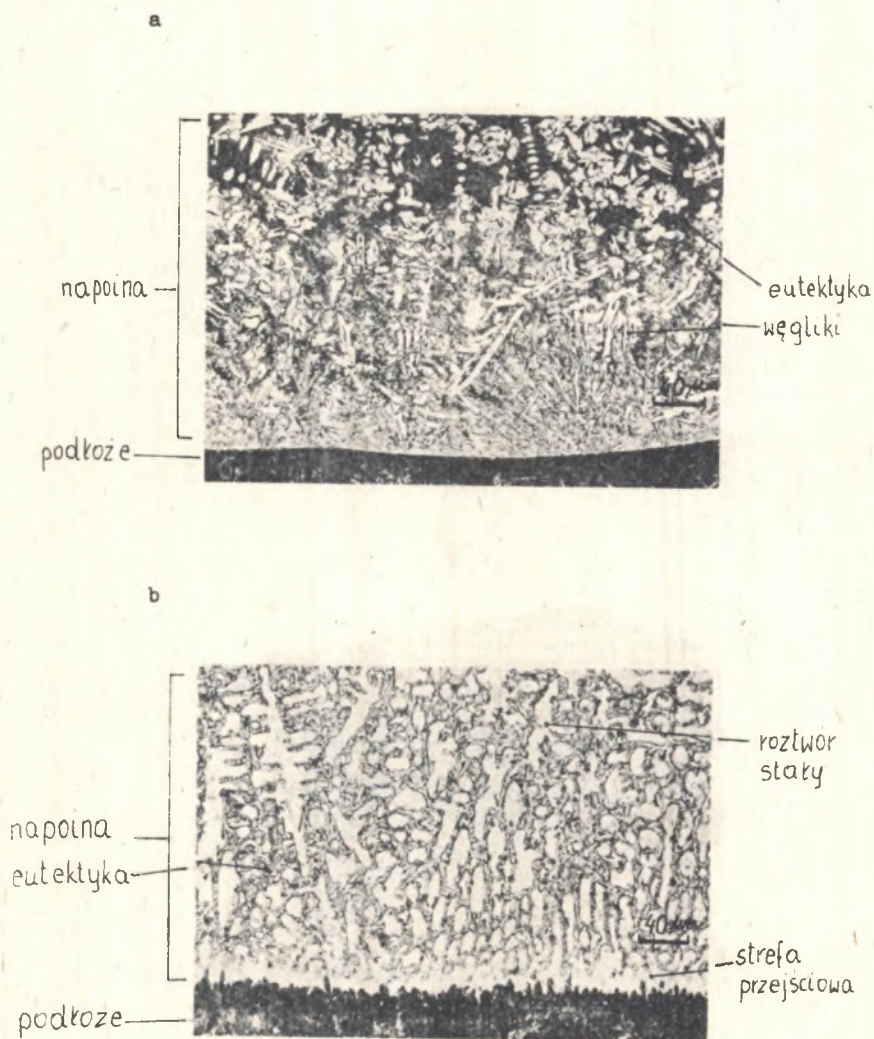
Rys. 8. Wpływ częstotliwości wahań głowicy na twardość i stopień wymieszania napoiny dla prędkości napawania 13,3 cm/min i  $I = 120$  A.



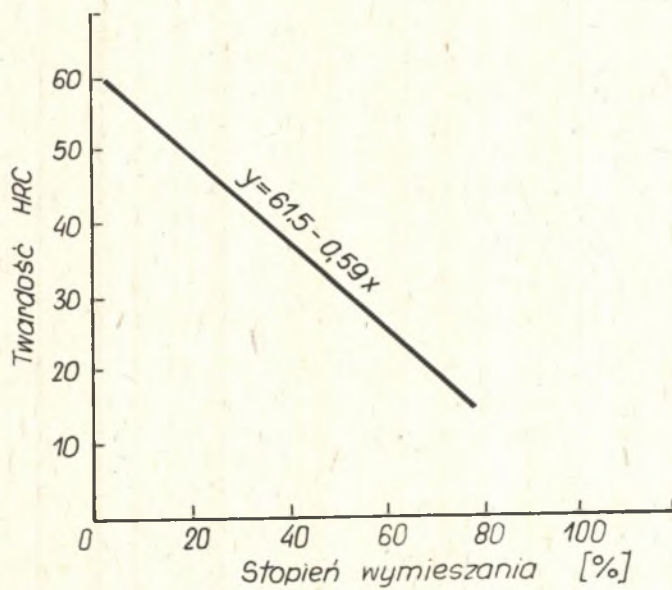
Rys. 9. Wpływ odległości palnika od materiału na twardość warstwy i stopień wymieszania, gdy  $I = 120$  A,  $V = 13,3$  cm/min,  $f = 40$   $\text{min}^{-1}$ .



Rys.10. Rozkład twardości w napoinie napawanej plazmowo wielowarstwowo ( $I = 120 \text{ A}$ ,  $f = 40 \text{ min}^{-1}$ ,  $V = 13,3 \text{ cm/min}$ ).



Rys.11. Mikrostruktury warstw napawanych plazmowo:  
 a) prąd 100A, współczynnik wymieszania 12% (56 HRC),  
 b) prąd 180A, współczynnik wymieszania 60% (17 HRC).  
 Traw. odczynnikamiem:  $9 \text{ cm}^3 \text{HCl} + 9 \text{ cm}^3 \text{gliceryny}$   
 $+ 37 \text{ cm}^3 \text{HNO}_3 + 45 \text{ cm}^3 \text{kwasu octowego}$ .



Rys.12. Przebieg prostej korelacji między twardością warstwy napawanej a współczynnikiem wymieszania.