

dr inż. Józef KOŁODZIEJ, inż. Zdzisław KOŁODZIEJCZYK, dr inż. Stanisław
KRAWCZYK, dr inż. Kazimierz MONDAŁSKI
Instytut Podstaw Budowy Maszyn
Akademia Górniczo-Hutnicza w Krakowie
Huta im. Lenina

TECHNOLOGIA OBRÓBKI ELEMENTÓW MASZYN I URZĄDZEŃ HUTNICZYCH WYKONYWANYCH Z MATERIAŁÓW TRUDNO SKRAWALNYCH

Elementy maszyn i urządzeń hutniczych ze względu na warunki pracy, wykonywane są z materiałów konstrukcyjnych o dużej wytrzymałości, odporności na zużycie ścierne, działaniu wysokich temperatur, korozji itp. Właściwości mechaniczne materiałów pozwalające na zwiększenie trwałości i niezawodności wykonanych z nich elementów, powodują równocześnie pogorszenie ich technologiczności w poszczególnych etapach wytwarzania.

Szeroko wykorzystywane w przemyśle hutniczym żeliwa utwardzone, stale austenityczne i wysokostopowe oraz napoiny, których stosowanie umożliwia wielokrotną regenerację elementów, należą do grupy materiałów trudno skrawalnych. Stąd technologia obróbki wykonywanych z nich części stwarza różnorodne problemy techniczno-organizacyjne i charakteryzuje się małą wydajnością, stosowaniem operacji szlifowania zgrubnego nie uzasadnionego wymaganą dokładnością kształtowo-wymiarową, krótkimi okresami trwałości ostrza, a co za tym idzie dużymi kosztami narzędziowymi. W przypadku szczególnie złej skrawalności wymaga stosowania wstępnego podgrzewania materiału w całej objętości.

Występujące trudności w obróbce wiórowej, niejednokrotnie powodują rezygnację z zastosowania materiałów o zwiększonej odporności na działanie dużych nacisków jednostkowych, temperatur, oddziaływanie ścierne i chemiczne środowiska. Dlatego intensyfikacja procesów produkcyjnych uzależniona jest zarówno od postępu w technologii wytwarzania materiałów o wyższych właściwościach eksploatacyjnych jak i w technologii ich obróbki.

W obróbce wiórowej materiałów trudno skrawalnych podstawowe ograniczenia stanowią właściwości wytrzymałościowe materiałów narzędziowych oraz ich ścieralność. Wieloletnie badania nad zużyciem węglików spiekanych podczas obróbki tych materiałów wykazały, że dostępne na rynku krajowym niektóre gatunki spiekanych węglików metali grupy wolframowej - H10, H05, H03 -

- mogą być z powodzeniem stosowane do obróbki żeliw utwardzonych oraz stali i stopów wysokostopowych o twardości 63 - 64 HRC. Warunkiem jest racjonalne wykorzystanie własności materiału narzędziowego, poprzez dobór warunków obróbki [1], [2], [4].

Stosowane parametry geometryczne ostrza i technologiczne skrawania, muszą zapewnić wystąpienie w ostrzu naprężeń ściskających i równocześnie minimalizować jego zużycie ściernie, z uwagi na związek pomiędzy zużyciem wytrzymałościowym i ściernym [3]. Przykładowo stosowanie kątów $\gamma_0 < -10^\circ$ korzystne z uwagi na stan naprężeń w ostrzu prowadzi do intensywnego ścierania ostrza, powodującego zmiany w jego geometrii, wzrostu sił skrawania, a w konserwacji wystąpienia wyszczerbień i wykruszeń krawędzi lub w granicznych przypadkach wyłamania ostrza.

Dotychczasowe doświadczenia pozwalają na sformułowanie następujących zaleceń odnośnie doboru parametrów geometrycznych ostrzy i technologicznych warunków obróbki [1], [2], [3], [4], [5], [6], [7]:

- wartości kątów γ_0 powinny mieścić się w przedziale $-10^\circ < \gamma_0 < -5^\circ$,
- kąt przyłożenia $5^\circ < \alpha_0 < 10^\circ$ dla $\alpha_0 > 10^\circ$ zachodzi niebezpieczeństwo wystąpienia wyszczerbień i wykruszeń, krawędzi ostrza, a w przypadku $\alpha_0 < 5^\circ$ przyspieszonego zużycia ściernego oraz pojawienia się drgań,
- wartość kąta λ_s , którego oddziaływanie na zużycia ściernie i wytrzymałościowe ostrza można rozpatrywać podobnie jak γ_0 , należy stosować w przedziale $-15^\circ < \lambda_s < -5^\circ$,
- wartość kąta χ_r z uwagi na jednostkowe obciążenie czynnej krawędzi skrawającej, zalecany ze względu na położenie w ostrzu strefy naprężeń ściskających stosunek składowych sił skrawania $F_z : F_y < 1$; oraz występowanie drgań podczas obróbki, powinna wynosić $15^\circ < \chi_r < 45^\circ$. Mniejsze wartości kąta χ_r należy stosować dla materiałów, przy obróbce których w strefie skrawania występują intensywnie odkształcenia plastyczne pomimo dużych twardości /np. stal LH15 o twardości 64 HRC/,
- wartość głębokości skrawania należy ustalić z uwagi na kąt χ_r , przy zachowaniu warunku obciążenia ostrza na możliwie dużej długości krawędzi skrawającej,
- stosowanie możliwie dużych wartości posuwu z uwagi na odsunięcie od

krawędzi powstającego wytarcia na powierzchni natarcia,

- prędkości skrawania materiałów trudno skrawalnych mieszczą się w bardzo szerokim zakresie i w zależności od własności materiału obrabianego, stosowanie ostrzy z węglików spiekanych pokrywanych warstwami TiN i TiC, wynoszą od 12 [m/min] do 56 [m/min].

Przykładem poprawy skrawalności materiału poprzez właściwy dobór materiału ostrza, jego parametrów geometrycznych oraz warunków technologicznych skrawania, jest obróbka napoin wysokostopowych ER-3, ER-F, [1], [2], [5], [7], sormaitu, stali wysokochromowych i molibdenowych D2, M1 /wg AJSJ/ [3], [4] oraz austenitycznych [1], [6].

Skład chemiczny obrabianych materiałów podano w tablicy I.

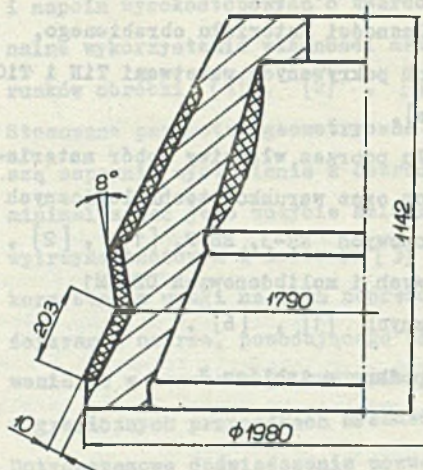
Tablica I.

Materiał obrabiany	Skład chemiczny %								HRC
	C	Mn	Si	Cr	W	Mo	V	Ni	
ER-3	0,28	1,8	0,9	2,2	8-10	-	0,2	-	44-50
	0,38	2,5	1,3	3			0,5		
ER-F	0,2	2	0,9	5,5	-	0,9	0,3	-	40-46
	0,3	2,5	1,5	8		1,5	0,5		
sormait	2	1,6	1,5	11,2	6	-	-	0,5	56-67
D2	1,6	-	-	12	-	1,0	-	-	58-62
M1	0,8	0,3	0,35	4,0	1,8	9,2	1,2	-	61-63
Stal Hadfielda	1,2	4,15	0,39					-	

Na rys.1 i 2 przedstawiono przykładowo elementy napawane utwardzającą wraz z warunkami obróbki.

Zastosowana technologia obróbki napoin umożliwiła:

- wyeliminowanie wstępnego podgrzewania niektórych elementów w całej objętości,
- zwiększenie wydajności obróbki,
- obniżenie kosztów maszynowych i narzędziowych,
- zastąpienie w przypadku sormaitu, szlifowania zgrubnego toczeniem.



Materiał: napoina ER3
Tokarka: model 1680A
Narzędzie: specjalny imako-
wy nóż składany

$$\chi = 20^\circ$$

$$\alpha = 10^\circ$$

$$\gamma = -10^\circ$$

$$\lambda = 10$$

C19 μ H10

Parametry skrawania

$$g = 2,5 \text{ mm}$$

$$v = 32 \text{ m/min}$$

$$p = 0,4 \text{ mm/obr}$$

Rys.1. Stożek wielkiego pieca.

Materiał: napoina ERF

Tokarka: TRA-90

Narzędzie: specjalny imako-
wy nóż składany

$$\chi = 20^\circ$$

$$\alpha = 10^\circ$$

$$\gamma = -10^\circ$$

$$\lambda = 10$$

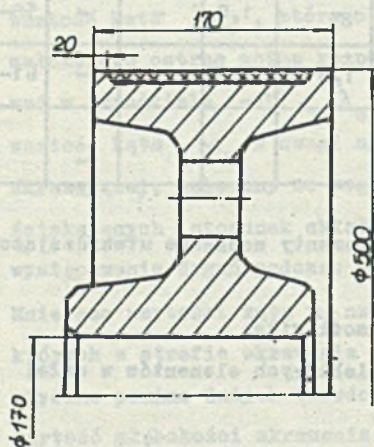
C12uH10

Parametry skrawania

$$g = 2,5 \text{ mm}$$

$$v = 38 \text{ m/min}$$

$$p = 0,5 \text{ mm/obr}$$



Rys.2. Tarcza hamulcowa.

Podobnie w technologii obróbki stali M1 i D2, z których wykonywane są walce, operacje szlifowania zgrubnego zastąpiono bardziej wydajną i tańszą operacją toczenia. Regeneracja walców o $d \leq 158$ [mm] i $l \leq 2000$ [mm] wymaga usunięcia spękanej podczas pracy warstwy materiału o grubości do kilkunastu mm. W warunkach maksymalnych nadadatków obróbkowych regeneracja walca wykonanego z materiału o złej szlifowalności zostaje skrócona z kilkudziesięciu godzin w przypadku szlifowania do kilku przy zastosowaniu toczenia. Na rys. 3 przedstawiono przykładowo zmiany trwałości ostrza $T = f/v$ oraz jego zużycie w zależności od materiału narzędziowego.

Efekty wynikające z wprowadzonych technologii obróbki podano w tablicy II. W przypadku materiałów o twardościach ~ 60 HRC, obróbka których charakteryzuje się nierównomiernym przekrojem warstwy skrawanej, dużą zmiennością sił skrawania, korzystnym jest uzyskiwanie poprawy skrawalności /niezależnie od doboru warunków obróbki/ poprzez termiczne uplastycznianie warstwy skrawanej.

Spośród szeregu sposobów lokalnego nagrzewania materiału przebadanych w warunkach laboratoryjnych /grzanie indukcyjne, oporowe, palnikami gazowymi/, dla celów produkcyjnych zastosowano grzanie łukiem elektrycznym jarzącym się w atmosferze argonu pomiędzy nietopliwą elektrodą wolframową a przedmiotem obrabianym [8], [9], [10], [11], [12]. Wysoka koncentracja energii umożliwia zwiększenie intensywności nagrzewania w stosunku do w.w. metod, a sterowanie położeniem skupa łuku pozwala na ograniczenie obszaru nagrzewanego do wymaganego minimum.

Ma to istotne znaczenie z uwagi na zapotrzebowanie mocy, jak i niedopuszczenie do wystąpienia zmian w strukturze metalograficznej materiału obrabianego.

Zbudowany prototyp urządzenia grzewczego zastosowano do obróbki napawanych utwardzająco walców hutniczych.

Przeprowadzone badania wykazały, że nagrzewanie warstwy skrawanej łukiem grzewczym o energii do 84 [kJ/m], nie powoduje niekorzystnych zmian w strukturze powierzchni obrobionej, umożliwia zaś wzrost wydajności obróbki. Efektywność obróbki termowiórowej zwiększa się wraz z twardością i niejednorodnością materiału obrabianego.

Główną wadą jest energochłonność oraz silne promieniowanie łuku, wymaga-

Tablica II

Element obrabiany Ø toczenia [mm]	Materiał Twardość HRC	Warunki obróbki							Względny wzrost wy- dajności obróbki	Orientacyjne zmniejszenie kosztów narze- dziowych [%]	
		Mat. ostrza	α°	γ°	λ_s°	χ_r°	V [m/min]	p [mm/obr]			g [mm]
Tarcza ha- mulcowa 500	ER-3 44-50	H10	10	-10	-10	20	38	0,5	2,5	5,6	70
Rolka samo- toku 520	ER-F 40-46	H10	10	-10	-10	20	38	0,5	2,5	5,6	78
Rolka 900	Stal Hadfielda	TiNH10	15	-10	-10	45	51	0,4	5,0	17	44
Duży stożek WP 4000-4790	ER-3 44-50	H10	10	-10	-10	20	32	0,4	2,5	3,7	71
Mały stożek 1790-1890	Sormait 56-62	H10	10	-10	-10	15	16,2	0,21	20	5,1	80
Walec 158	D2 58-62	H10 TiNH10	10	-10	-10	20	31,8	0,37	5,0	8-12	89
Walce hutnicze	żeliwa utwar- dzone 380-520HB	H03 H10	8-10	-5 -10	-5 -10	20-30	12- -20	0,6 1,0	3-5	3-5	40-74

jące stosowania ekranów ochronnych.

Na rys. 4 przedstawiono przykładowo przebieg zużycia ostrza oraz zmiany jego trwałości dla obróbki z nagrzewaniem i bez nagrzewania.

Niezależnie od postępu w technologii materiałów narzędziowych, racjonalnego doboru warunków obróbki, stosowania lokalnego termicznego uplastycznienia warstwy skrawanej, poprawę skrawalności można uzyskać na drodze stabilizacji siły skrawania, zmiany warunków kontaktu ostrza z materiałem obrabianym, konstrukcji narzędzia [13], [14], [15].

Na rys. 5 przedstawiono schemat hydraulicznego napędu posuwu, który zastosowano do obróbki wykrojów w walcach z żeliwa utwardzonego [13], [15]. Kształtowe toczenie poprzeczne materiałów trudno skrawalnych przy zastosowaniu posuwu mechanicznego charakteryzuje się szczególnie krótkim okresem trwałości ostrzy na skutek ich zużycia wytrzymałościowego.

Cechą charakterystyczną napędu hydraulicznego jest zmienna prędkość ruchu posuwowego przy stałej wartości siły posuwowej.

Zastosowany napęd umożliwił wyeliminowanie zużycia wytrzymałościowego ostrzy, oraz zmniejszenie zużycia ściernego od 1,5 do 2,5 raza w porównaniu ze zużyciem występującym przy napędzie mechanicznym.

Na rys. 6 podano przykładowo przebieg zużycia ostrza w przypadku posuwu mechanicznego i hydraulicznego.

Jeżeli ruch posuwowy narzędzia realizowany jest przez układ mechaniczny, korzystnym jest zastępowanie narzędzi kształtowych, punktowych. Wymaga to jednak układów kopiujących lub obrabiarek sterowanych numerycznie.

Na rys. 7 i 8 przedstawiono noże z mocowaniem mechanicznym płytki, przeznaczone do toczenia kopiowego walców bruzdowych, których profile charakteryzują się znacznym zróżnicowaniem promieni oraz pochyleniem ścian bruzd dochodzącym do 90° .

Obróbka profili wymaga układu kopiującego w zakresie $0^\circ - 180^\circ$.

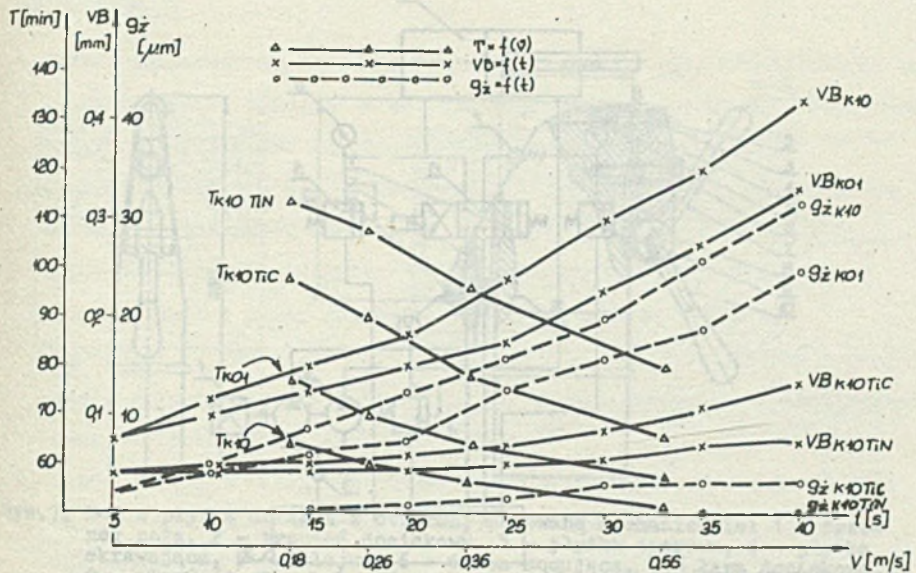
W układzie zastosowano czujnik elektryczny o działaniu przerywanym oraz sprzęgła i hamulce elektromagnetyczne firmy Heid. Dla zapewnienia wymaganej dokładności obróbki, opracowano metodę projektowania wzorników, uwzględniających charakterystykę dynamiczną układu kopiującego [16], [17], [18]. Przykładem możliwości poprawy skrawalności materiału poprzez zmianę w czasie skrawania warunków kontaktu ostrza z materiałem obrabianym jest

uchwyt narzędziowy przedstawiony na rys.9 [14]. Wychylenia ostrza wokół osi uchwytu przechodzącej przez naroże, uzależnione jest od chwilowej wartości siły skrawania i charakterystyki elementów sprężystych.

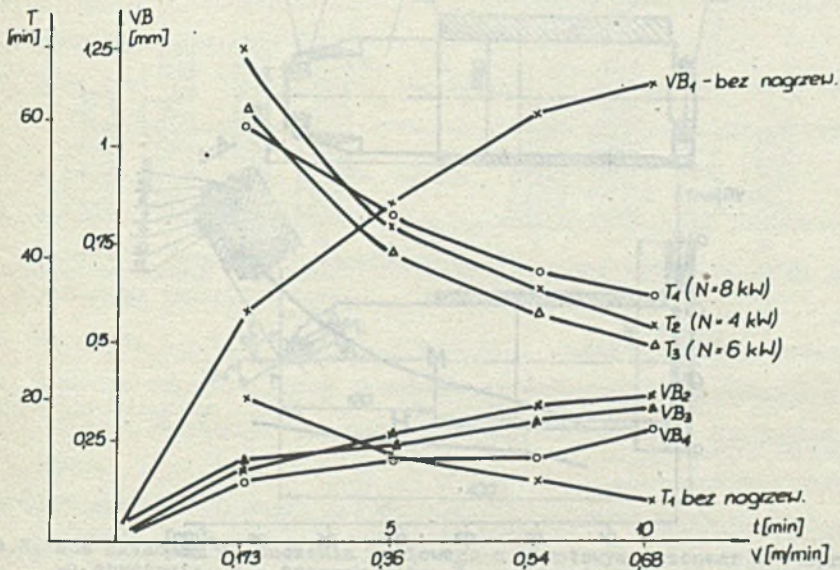
Uchwyt umożliwia obróbkę przerywaną materiałów o twardości ~ 60 HRC eliminując zużycie wytrzymałościowe, powstawanie na skutek ścierania niekorzystnych zmian kształtu ostrza na powierzchni natarcia w postaci mikro-żłobków, mogących prowadzić do wykruszeń ostrza w warunkach obciążeń wywołujących naprężenia bliskie wytrzymałości materiału narzędziowego.

W sposób istotny następuje zmniejszenie zużycia ściernego na powierzchni przyłożenia.

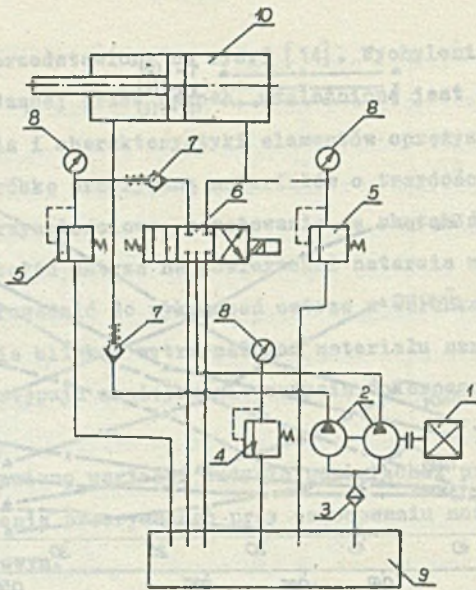
Na rys. 10. przedstawiono wartości zużycia powierzchni przyłożenia i natarcia podczas toczenia przerywanego przy zamocowaniu noża w imaku oraz w uchwycie narzędziowym.



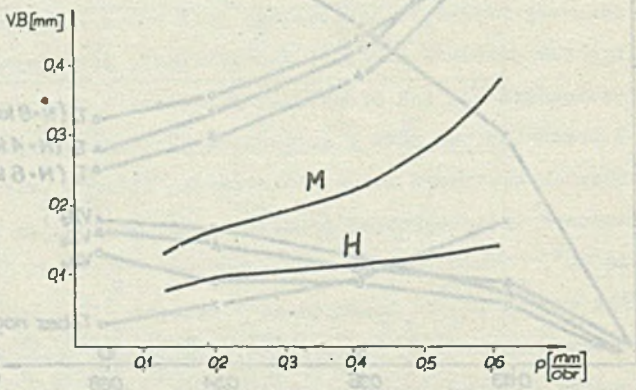
Rys.3. Zużycia i trwałości ostrzy węglików spiekanych podczas obróbki stali D-2 z posuwem $p = 0,21 \text{ mm/obr}$, $g = 2 \text{ mm}$.



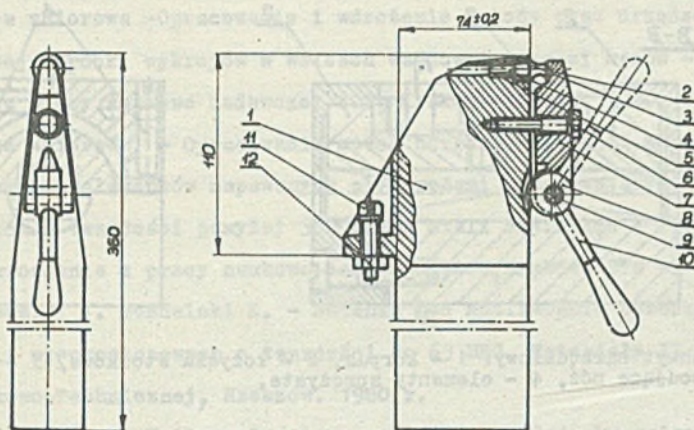
Rys.4. Zużycie i trwałość ostrza przy skrawaniu napoiły ER 3 w warunkach obróbki na zimno i z wstępnym podgrzewaniem warstwy skrawanej z różną mocą układu nagrzewającego.



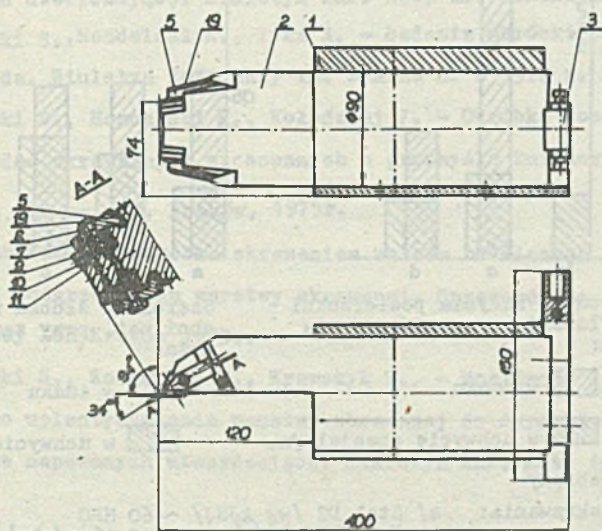
Rys.5. Schemat układu hydraulicznego napędu posuwu: 1 - silnik elektryczny, 2 - pompa zębata, 3 - filtr, 4 - zawór przelewowy /bezpieczeństwa/, 5 - zawór przelewowy, 6 - rozdzielacz, 7 - zawór zwrotny, 8 - manometr, 9 - zbiornik, 10 - silnik hydrauliczny.



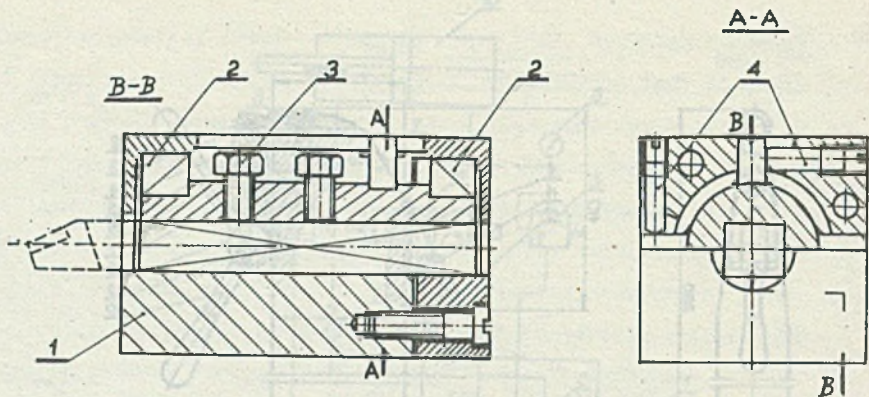
Rys.6. Zużycie ściernic ostrzy przy skrawaniu z posuwem mechanicznym /M/ i podatnym /H/ w zależności od posuwu.



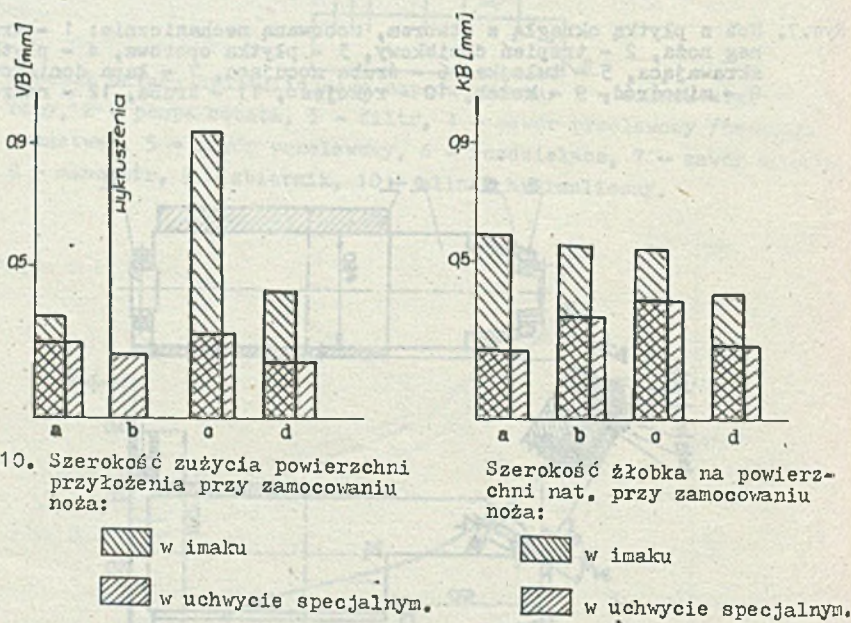
Rys.7. Noż z płytką okrągłą z otworem, mocowaną mechanicznie: 1 - trzoneg noża, 2 - trzpień dociskowy, 3 - płytka oporowa, 4 - płytka skrawająca, 5 - tulejka, 6 - śruba mocująca, 7 - łapa dociskowa, 8 - mimośród, 9 - kołek, 10 - rękojeść, 11 - śruba, 12 - nakrętka.



Rys.8. Noż składany do toczenia kopiowego z obrotowym trzonem: 1 - oprawa sprężysta, 2 - trzonek noża, 3 - mechanizm ustawczy, 4 - łapa dociskowa, 5 - trzpień, 6 - podkładka stożkowa, 7 - płytka skrawająca, 8 - płytka oporowa, 9 - trzpień ustalający płytkę oporową, 10 - śruba mocująca.



Rys.9. Uchwyt narzędziowy: 1 - korpus, 2 - łożyska stożkowe, 3 - śruby mocujące nóż, 4 - elementy sprężyste.



Rys.10. Szerokość zużycia powierzchni przyłożenia przy zamocowaniu noża:

Szerokość żłobka na powierzchni nat. przy zamocowaniu noża:

▨ w imaku

▨ w imaku

▨ w uchwycie specjalnym.

▨ w uchwycie specjalnym.

Materiał obrabiany

i parametry skrawania:

- a/ Stal D2 /wg AJSJ/ ~ 60 HRC
 $V = 0,38$ [m/s], $p = 0,1$ [mm/obr], $g = 1$ [mm].
- b/ Wałek ze stali 45 z naciętymi rowkami
 $V = 0,31$ [m/s], $p = 0,12$ [mm/obr], $g = 1$ [mm].
- c/ Kapoina EN 450 B ~ 45 HRC
 $V = 0,47$ [m/s], $p = 0,12$ [mm/obr], $g = 1$ [mm].
- d/ Kapoina EN 600 B ~ 55 HRC
 $V = 0,47$ [m/s], $p = 0,12$ [mm/obr], $g = 1$ [mm].

Czas trwania próby

$t = 1200$ [s].

Literatura

1. Praca zbiorowa - Opracowanie i wdrożenie metody oraz urządzenia do kopiającej obróbki wykrojów w walcach walcowni ciągłej kęsów - sprawozdanie z pracy naukowo badawczej AGH, Kraków. 1971 .
2. Praca zbiorowa. - Opracowanie metod obróbki, narzędzi i parametrów skrawania elementów napawanych elektrodami utwardzającymi oraz elementów o twardości powyżej 350 HB ze stali Hadfielda i SU9. Sprawozdanie z pracy naukowo badawczej AGH, Kraków 1972 r.
3. Kołodziej J., Mondalski K. - Badania nad możliwością obróbki toczeniem stali wysokostopowych o twardości do 63 HRC. Materiały II Konferencji Naukowo-Technicznej, Rzeszów. 1980 r.
4. Mondalski K. - Wytrzymałościowe zużycie narzędzi skrawających przy obróbce toczeniem materiałów trudno obrabialnych. Praca doktorska AGH, Kraków 1978 r.
5. Markowski S., Kołodziej J., Mondalski K. - Obróbka walców hutniczych napawanych utwardzająco. Biuletyn Inf. Huty im. Lenina nr 9 i 10. 1973r.
6. Markowski S., Mondalski K., Tyka A. - Badania obróbki skrawaniem stali Hadfielda. Biuletyn Inf. Huty im. Lenina nr 6 1976 r.
7. Markowski S., Mondalski K., Kołodziej J. - Obróbka toczeniem materiałów trudno skrawalnych stosowanych w przemyśle hutniczym. Zeszyty Naukowe AGH nr 496, Kraków, 1975r.
8. Praca zbiorowa. - Obróbka skrawaniem walców hutniczych o wysokiej twardości z podgrzewaniem warstwy skrawanej. Sprawozdanie z pracy naukowo badawczej AGH, Kraków 1973r.
9. Markowski S., Kołodziej J., Krawczyk S., - Możliwość zastosowania ciągłego uplastycznienia warstwy skrawanej do obróbki toczeniem materiałów napawanych utwardzająco. Biuletyn Inf. Huty im. Lenina nr 6 1974 r.
10. Markowski S., Krawczyk S., Kołodziej J. - Zastosowanie grzania do obróbki toczeniem elementów napawanych utwardzająco. Zeszyty Naukowe AGH, nr 471 1975r.
11. Praca zbiorowa. - Wykonanie i wdrożenie prototypowego urządzenia do nagrzewania warstwy skrawanej przy obróbce walców hutniczych oraz

opracowanie technologii obróbki. Sprawozdanie z pracy naukowo badawczej AGH, Kraków 1974 r.

12. Krawczyk S. - Wpływ wstępnego uplastycznienia warstwy skrawanej na wybrane wskaźniki technologiczne przy toczeniu walców hutniczych napawanych utwardzająco. Praca doktorska AGH, Kraków 1978 r.
13. Kołodziej J. - Wpływ charakterystyki napędu posuwu na wskaźniki technologiczne obróbki wiórowej walców hutniczych. Praca doktorska AGH, Kraków 1974 r.
14. Krawczyk S. - Mondalski K. - Patent nr 127 410
15. Kołodziej J., Krawczyk S. - Patent nr 75248
16. Praca zbiorowa. - Opracowanie i wdrożenie metody kopiowej obróbki wykrojów w walcach Walsowni Ciągłek Kęsów. Sprawozdanie z pracy naukowo-badawczej AGH, 1975 r.
17. Markowski S., Kołodziej J., Tyka A. - Problemy konstrukcji narzędzi składanych do obróbki kopiowej walców hutniczych. Zeszyty Naukowe AGH,
18. Markowski S., Kołodziej J., Bałaziński M., Mondalski K. - Obliczanie kształtów wzorników do obróbki kopiowej walców hutniczych z uwzględnieniem charakterystyki dynamicznej osujnika. Zeszyty Naukowe AGH, nr 558, 1976 r.

Józef KOŁODZIEJ, Zdzisław KOŁODZIEJCZYK, Stanisław KRAWCZYK, Kazimierz MONDAJSKI

THE TECHNOLOGY OF MACHINING OF THE METALLURGICAL MACHINE ELEMENTS MADE FROM THE ALMOST UNWORKABLE MATERIALS

Summary

The results of investigations in the field of improving the machinability of the materials used for metallurgical machine elements are presented. The recommendations are given for the K group metal carbide tip cutting tool geometry as well as of the cutting parameters during of the highly alloyed ER-3, ER F padding welds and sornaita as well as Hadfield steel, DZ chromium steel and cast iron hardened to 380-520 HB. As a way of improving the machinability it is suggested the thermal plasticization of the machined layer by warming it with an electric arc in the argon atmosphere. For the forming passes cutting on the rolls made from the hardened cast iron the hydraulic drive of the carriage is suggested as it makes possible the cutting force stabilization;