dr inż. Marek MIERNIK
Instytut Technologii Budowy Maszyn
Politechniki Wrocławskiej

SKRAWALNOŚĆ WYBRANYCH STOPÓW KOBALTOWYCH TYPU STELLIT

1. Wstęp

W wyniku coraz większych wymagań wytrzymałościowych stawianych materiałom konstrukcyjnym pracującym w podwyższonych temperaturach ponownie zwrócono uwagę na grupę stopów na osnowie kobaltu, znanych pod nazwą stellity. Stopy te odznaczają się doskonałą odpornością na korozję, a także żaroodpornością i żarowytrzymałością, zachowując dobre własności wytrzymałościowe w temperaturze do 1000 K.

W ostatnich latach daje się zauważyć wzrost zainteresowania tymi stopami. Corocznie zostaje opracowanych po kilka nowych gatunków tych stopów o specjalnych własnościach fizycznych i chemicznych. Zastosowanie metod metalurgii proszków i technik topienia próżniowego znacznie podniosło jakość tych stopów, przez co stały się one konkurencyjne dla stopów na osnowie niklu [1,2] . Dzięki temu są one coraz częściej stosowane jako materiał konkurencyjny w przemyśle chemicznym i lotniczym, a także w budowie urządzeń nuklearnych i kosmicznych.

2. Ogólna charakterystyka stopów kobaltowych typu stellit

Stellity są stopami kobaltu i pierwiastków grupy VI B /chrom, wolfram, molibden/ z węglem, w których kobalt może być w niewielkich ilościach zastąpiony przez nikiel lub żelazo. W celu uzyskania specjalnych efektów strukturalnych lub wytrzymałościowych, do stopów mogą być celowo wprowadzone następujące pierwiastki: niob, tantal, tytan, glin, bar, cyrkon, itr i lantan.

W wyniku złożonej kombinacji składników stopowych struktura tych stopów składa się z wydzieleń na granicach ziarn węglików $M_{23}C_6$ i M_7C_3, /gdzie M oznacza jeden lub więcej rodzajów atomów metali węglikotwórczych/ oraz bogatej w kobalt osnowy utwardzonej drobnymi wydzieleniami węglików drugorzędowych oraz związków międzymetalicznych. Głównym czynnikiem decydującym o twardości i plastyczności tych stopów jest ilość i kształt wydzieleń węglikowych na granicach ziarn osnowy kobaltowej.

Z punktu widzenia obróbki skrawaniem stopy te możemy podzielić na trzy grupy:

1. Stellity plastyczne o zawartości węgla do około 0,5 % i twardości do 40 HRC oraz wydłużeniu do 10 %. W wyniku małej zawartości węgla w tych stopach są one pozbawione dendrytycznych wydzieleń węglikowych. Niewielkie ilości wolnych wydzieleń węglikowych w postaci "dyskretnego osadu" na granicach ziarn utrudniają ich migrację i poślizgi. Stopy te można obrabiać plastycznie, a ich skrawalność jest zbliżona do skrawalności stali szybkotnących.
2. Stellity średniotwarde, tzw. "lane", o zawartości węgla do 2 %, twardości do 54 HRC i wydłużeniu do 1 %. Wysoka twardość i mała plastyczność tej grupy stopów wynika z obecności dendrytycznych wydzieleń węglikowych tworzących dobrze rozwiniętą, prawie ciągłą, przestrzenną siatkę wzdłuż granic ziarn. Odznaczają się one doskonałą wytrzymałością zmęczeniową w podwyższonej temperaturze dzięki możliwości relaksacji wewnętrznych naprężeń międzyfazowych. Obróbka skrawaniem tych stopów jest możliwa, jednak nastręcza szereg trudności.
3. Stellity narzędziowe o zawartości węgla około 2,5 % i twardości około 62 HRC. Stellity te mają idealnie ciągłą i grubą siatkę przestrzenną utworzoną z dendrytycznych wydzieleń węglikowych. Siatka ta jest masywna aby mogła nastąpić relaksacja naprężeń wewnętrznych. Są przez to kruche, a pęknięcia przebiegają przez ciągłe wydzielenia węglikowe. W zasadzie można je obrabiać jedynie sposobami obróbki ściernej, chociaż znane są przypadki ich skrawania narzędziami węglikowo-ceramicznymi z wysokotemperaturowym podgrzewaniem plazmowym [3] .

Ogólnie można stwierdzić, że przyczyny złej skrawalności stellitów wywodzą się z ich złożonej budowy strukturalnej, a decydujący wpływ na to ma rodzaj i ilość wydzieleń węglikowych na granicach ziarn. Drobne, najczęściej globoidalne wydzielenia węglików wtórnych i związków międzymetalicznych wchodzące w skład osnowy mają znaczenie drugorzędne.

Specyficzna budowa strukturalna jest przyczyną dla której mechanizm formowania wióra podczas skrawania tych stopów istotnie różni się od znanych mechanizmów dla innych metali i stopów. Jest to spowodowane obecnością w stopach kobaltowych faz elementarnych różniących się między sobą

własnościami mechanicznymi i termicznymi. Pod tym względem stopy kobaltowe typu stellit zbliżone są swoją budową do materiałów kompozytowych i czasem traktowane są jako "naturalny materiał kompozytowy".

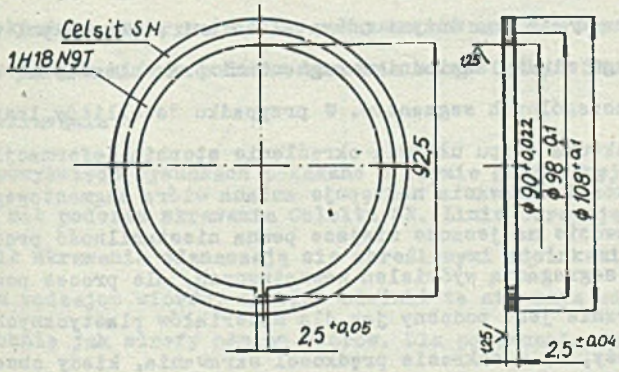
3. Metoda i warunki badań eksperymentalnych

Badania skrawalności przeprowadzono na napoinach ze stopów kobaltowych o symbolach: Celsit SN, Celsit V, Soudostel 12, których orientacyjny skład chemiczny podano w tab.1. W badaniach stosowano próbki pierścieniowe ze stali 1H18N9T, których zewnętrzną warstwę stanowiła napoina z poszczególnych gatunków stellitu, napawana elektrycznie w osłonie argonu.

Tablica 1. Skład chemiczny badanych stopów.

Nazwa stopu	Producent	Skład chemiczny [%]				Twardość po napaw. HRC
		Co	Cr	W	C	
Celsit SN	Böhler	56	25	14	2,1	51-54
Celsit V	Böhler	65	25	4,5	1,2	40-45
Soudostel 12	U.E.H.	59	29	8,5	1,5	45-54

Kształt i wymiary próbek użytych do badań pokazano na rys.1.



Rys.1. Wymiary próbki do badań.

Badania przeprowadzono przy toczeniu poprzecznym z zachowaniem warunków swobodnego skrawania ortogonalnego bez chłodzenia.

Próby skrawania przeprowadzono na tokarce uniwersalnej TUC50. Do pomiaru oporów skrawania zastosowano trójskładowy siłomierz tensometryczny wykonany w Instytucie Technologii Budowy Maszyn Politechniki Wrocławskiej [4].

Badania przeprowadzono dla następujących parametrów skrawania:

- prędkość skrawania v = 0,10; 0,15; 0,20; 0,25; 0,3; 0,4 i 0,6 m/s,
- posuw s = 0,04; 0,065; 0,095; 0,12; 0,17 mm/2π rad
- szerokość warstwy skrawanej b = 2,5 mm.

Do badań stosowano specjalnie przygotowane, wymienne płytki wielostrzowe z węglików spiekanych gatunku H20 /wg ISO-K20/ firmy Baildon o następującej geometrii:

- kąt natarcia γ_o = -0,175; 0; +0,175 rad /-10°, 0°, +10°/,
- kąt przyłożenia α_o = 0,122 rad /7°/,
- kąt pochylenia głównej krawędzi skrawającej λ_o = 0 rad,
- szerokość ostrza b_t = 4,7 mm.

4. Rodzaje tworzących się wiórów

W wyniku badań ustalono, że jednym z efektów wzrost prędkości skrawania jest zmiana rodzaju tworzącego się wióra.

Przy małych prędkościach skrawania /np. Celsitu SN poniżej 0,2 m/s/ powstają wióry segmentowe o słabej więzi między poszczególnymi elementami wióra. Odznaczają się one dużymi odkształceniami plastycznymi wzdłuż płaszczyzn poślizgu między sąsiednimi segmentami oraz nieznaczną deformacją wewnątrz poszczególnych segmentów. W przypadku "stellitów lanych" dendrytyczna struktura stopu ułatwia określenie stopnia deformacji. Wraz ze wzrostem prędkości skrawania następuje zmiana wióra segmentowego w wiór ciągły. Wprawdzie ma jeszcze miejsce pewna niestabilność procesu, wywołana głównie segregacją wydzieleń wewnętrznych, ale proces powstawania wióra zwenętrznie jest podobny jak dla materiałów plastycznych, np. stali. Dodać należy, że w zakresie prędkości skrawania, kiedy obserwuje się zmianę formy wióra z segmentowej w ciągłą, skrawaniu towarzyszy zawsze narost.

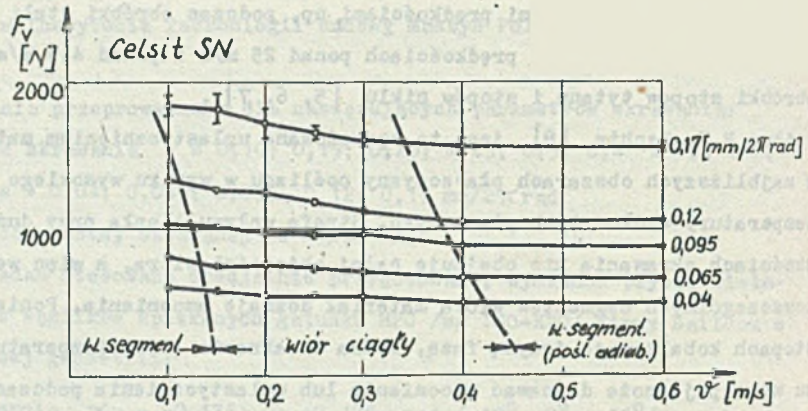
Przy dalszym zwiększaniu prędkości skrawania narost znika, a wiór

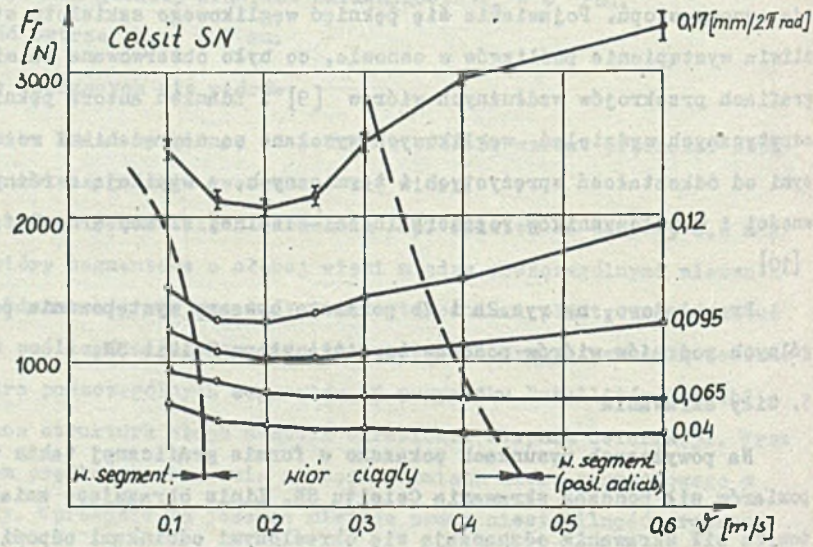
pozostaje ciągły. Jednak dokładna analiza mikroskopowa wióra ujawnia, że stabilne ciągłe poślizgi materiału ustępują miejsca bardziej intensywnym poślizgom po pewnych płaszczyznach. Podobne adiabatyczne poślizgi, zwane także katastroficznymi poślizgami termoplastycznymi, są dobrze znane przy skrawaniu z bardzo dużymi prędkościami, np. podczas obróbki stali stopowych występują one przy prędkościach ponad 25 m/s i ponad 4,5 m/s podczas obróbki stopów tytanu i stopów niklu [5, 6, 7].
Według R.F. Rechta [8] jest to spowodowane uplastycznieniem materiału w najbliższych obszarach płaszczyzny poślizgu w wyniku wysokiego wzrostu temperatury wzdłuż tych płaszczyzn. Strefa wpływu ciepła przy dużych prędkościach skrawania nie obejmuje całej objętości wióra, a więc wewnątrz poszczególnych segmentów wióra materiał doznaje umocnienia. Ponieważ w stopach kobaltowych jedyną fazą, która w zakresie zmian temperatury jakie tu występują może doznawać umocnienia lub uplastycznienia podczas deformacji, jest kobaltowa osnowa stopu, pęknięcia dendrytcznych wydzieleń węglikowych są zawsze kruche. Pęknięcia te poprzedzają plastyczną deformację osnowy stopu. Pojawienie się pęknięć węglikowego szkieletu stopu umożliwia wystąpienie poślizgów w osnowie, co było obserwowane na mikrofotografiach przekrojów wzdłużnych wiórów [9]. Zdaniem autora pęknięcia dendrytycznych wydzieleń węglikowych wywołane są naprężeniami rozciągającymi od odkształceń sprężystych i termicznych, a wynikają z różnych sztywności i współczynników rozszerzalności cieplnej elementarnych faz stopu [10].

Przykładowo, na rys.2a i 2b pokazano obszary występowania poszczególnych rodzajów wiórów podczas toczenia stopu Celsit SN.

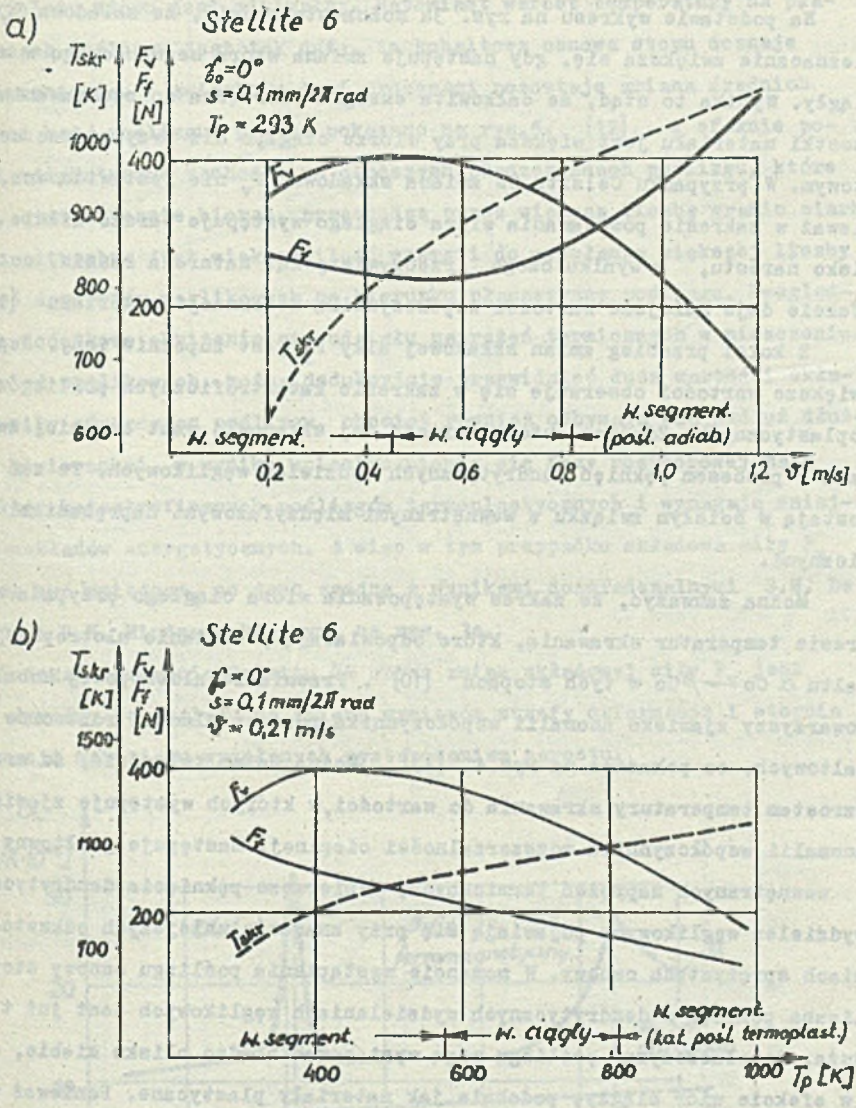
5. Siły skrawania

Na powyższych rysunkach pokazano w formie graficznej także wyniki pomiarów sił podczas skrawania Celsitu SN. Linie obrazujące zmianę składowych sił skrawania odznaczają się określonymi odcinkami odpowiadającymi różnym rodzajom wiórów, chociaż odcinki te nie mają zdecydowanych granic, podobnie jak strefy odmian wiórów. Dla porównania na rys. 3a pokazano zmiany sił skrawania podczas toczenia w identycznych warunkach stopu Stellite 6 /66 % Co, 25 % Cr, 5 % W, 1 % C - 39 - 43 HRC/ otrzymane przez S.M. De Almeidę i B.K. Hindsa [11]. Dodatkowo na rys. 3b pokazano wpływ





Rys.2. Wpływ parametrów skrawania na składową obwodową Fv/a/ i składową promieniową F_f /b/ oraz odmianę wiórów.



Rys.3. Wpływ prędkości skrawania /a/ i temperatury początkowej przedmiotu /b/ na siły i temperaturę skrawania [11]

temperatury początkowej materiału podgrzewanego wstępnie palnikiem plazmowym na wartość sił skrawania [11] .

Na podstawie wykresu na rys. 3a można stwierdzić, że składowa F_v nieznacznie zwiększa się, gdy następuje zmiana wióra segmentowego w wiór ciągły. Wynika to stąd, że całkowita energia potrzebna do zeskrawania jednostki materiału jest większa przy wiórze ciągłym niż przy wiórze segmentowym. W przypadku Celsitu SN zmiana składowej F_v nie jest widoczna, ponieważ w zakresie powstawania wióra ciągłego występuje bardzo silnie zjawisko narostu, w wyniku czego rzeczywisty kąt natarcia rośnie, co w efekcie daje mniejsze wartości współczynnika deformacji materiału [12] .

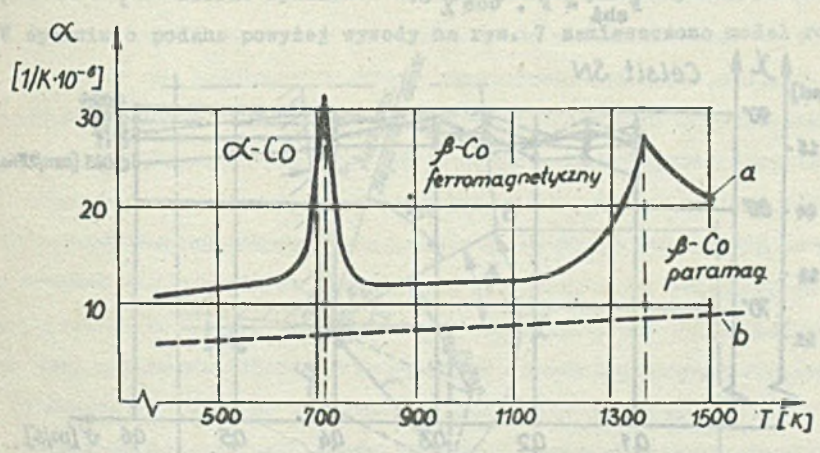
Z kolei przebieg zmian składowej siły F_f jest zupełnie inny. Jej największe wartości obserwuje się w zakresie katastroficznych poślizgów temoplastycznych. Zdaniem autora wartość tej składowej jest bardziej związana z procesem pęknięć dendrytycznych wydzieleń węglikowych. Te zaś pozostają w ścisłym związku z wewnętrznymi międzyfazowymi naprężeniami termicznymi.

Można zauważyć, że zakres występowania wióra ciągłego przypada w zakresie temperatur skrawania, które odpowiadają przemianie alotropowej kobaltu α Co $\rightarrow \beta$ Co w tych stopach [10] . Przemianie alotropowej kobaltu towarzyszy zjawisko anomalii współczynnika rozszerzalności roztworów kobaltowych, co pokazano na rys.4 [13] . Można zatem twierdzić, że wraz ze wzrostem temperatury skrawania do wartości, w których występuje zjawisko anomalii współczynnika rozszerzalności cieplnej, następuje gwałtowny wzrost wewnętrznych naprężeń termicznych, a pierwsze pęknięcia dendrytycznych wydzieleń węglikowych pojawiają się przy znacznie mniejszych odkształceniach sprężystych osnowy. W momencie wystąpienia poślizgu osnowy stopu liczba pęknięć w dendrytycznych wydzieleniach węglikowych jest już tak duża, że płaszczyzny poślizgu mogą występować bardzo blisko siebie, dając w efekcie wiór ciągły, podobnie jak materiały plastyczne. Ponieważ w tym przypadku znaczna część całkowitych naprężeń niszczących węglikowy szkielet stopu pochodzi od naprężeń termicznych, występuje zmniejszenie wartości składowej siły F_f, co można zauważyć na rys. 2b i 3a.

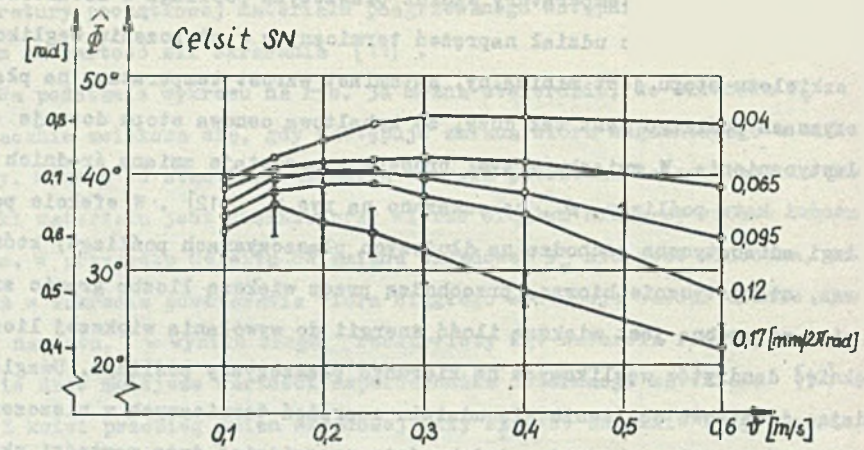
Z kolei, gdy powstawanie wióra odbywa się na drodze poślizgów adiabatycznych, obserwuje się gwałtowny wzrost składowej siły F_f. W tym wypadku obszar występowania kruchych pęknięć węglikowych wyprzedza strefę

wysokich przyrostów temperatury wzdłuż płaszczyzn poślizgu w kobaltowej osnowie stopu. A więc udział naprężeń termicznych w niszczeniu węglikowego szkieletu stopu jest minimalny. Natomiast wzrost temperatury na płaszczyznach poślizgu jest tak duży, że kobaltowa osnowa stopu doznaje uplastycznienia. W związku z tymi procesami pozostaje zmiana średnich wartości kąta poślizgu ϕ, co pokazano na rys.5. [12]. W efekcie poślizgi adiabatyczne zachodzą na dłuższych płaszczyznach poślizgu, które teraz, statystycznie biorąc, przechodzą przez większą liczbę granic ziarn. A więc potrzebna jest większa ilość energii do wywołania większej liczby pęknięć dendrytów węglikowych na kierunku płaszczyzny poślizgu. Uwzględniając dodatkowo obniżenie się udziału naprężeń termicznych w niszczeniu wydzieleń węglikowych, można dedukcyjnie przewidzieć duże wartości składowej siły płaszczyzn poślizgu, chociaż również odbywają się wzdłuż dłuższych powierzchni, w wyniku uplastycznienia się fazy roztworowej mają charakter katastroficznych poślizgów termoplastycznych i wymagają mniejszych nakładów energetycznych. A więc w tym przypadku składowa siły F_v powinna być mniejsza, co jest zgodne z wynikami doświadczalnymi S.M. De Almeidy i B.K. Hindsa pokazanymi na rys. 3a.

Podczas skrawania Celsitu SN obraz zmian składowej siły F_v jest mniej wyraźny ze względu na zmianę wymiarów strefy deformacji i stopnia deformacji materiału wywołanych występowaniem narostu.



Rys.4. Zależność współczynnika rozszerzalności cieplnej kobaltu /a/ i węglika wolframu /b/ od temperatury.



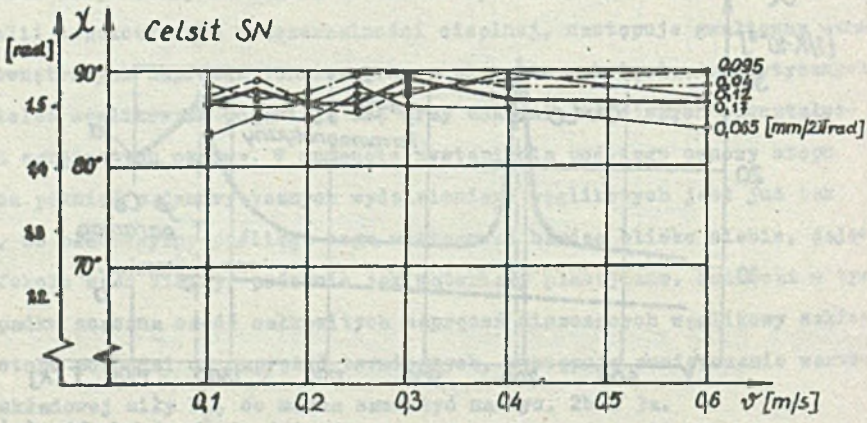
Rys.5. Wyniki pomiarów średniego kąta poślizgu $\hat{\phi}$

Inną cechą charakterystyczną sił skrawania podczas toczenia swobodnego "stellitów lanych" jest to, że wypadkowa sił skrawania daje z płaszczyzną poślizgu, niezależnie od parametrów skrawania, duże wartości kąta $\chi \approx 90^{o}$ /rys.6/ [13] .

Tak duże wartości kąta χ mogą wydawać się zaskakujące.

W przypadku jednorodnych materiałów plastycznych siła tnąca F_{shi} wzdłuż płaszczyzny poślizgu jest określana zależnością:

$$F_{shi} = F \cdot \cos\chi \qquad /1/$$



Rys.6. Wyniki pomiarów kąta χ

gdzie: F - wypadkowa sił skrawania,

χ - kąt zawarty między kierunkiem wypadkowej sił skrawania, a płaszczyzną poślizgu.

W odniesieniu do stellitów byłaby ona zbyt mała, aby mogła wywołać poślizgi w materiale wzdłuż tego kierunku.

Zdaniem autora w przypadku materiałów wielofazowych, w których trwałe odkształcenia poszczególnych faz są wywołane różnymi procesami, bilansowanie wypadkowej siły skrawania należy przeprowadzić wzdłuż tych kierunków, na których mają miejsce deformacje poszczególnych faz, a które to deformacje mają istotne znaczenie w procesie formowania wióra. A więc w przypadku stellitów powinny być uwzględnione siły rozgrywające węglikowy szkielet stopu. Kierunek maksymalnych naprężeń rozciągających, niszczących węglikowy szkielet stopu, tworzy z płaszczyzną poślizgu kąt 45° [9, 10] . Orientacyjną sumaryczną wartość siły rozciągającej, niszczącej wydzielenia węglików /bez uwzględnienia relaksacji naprężeń/ można określić ze wzoru:

$$F_R = \delta_w \cdot l \cdot b \cdot \eta, \qquad /2/$$

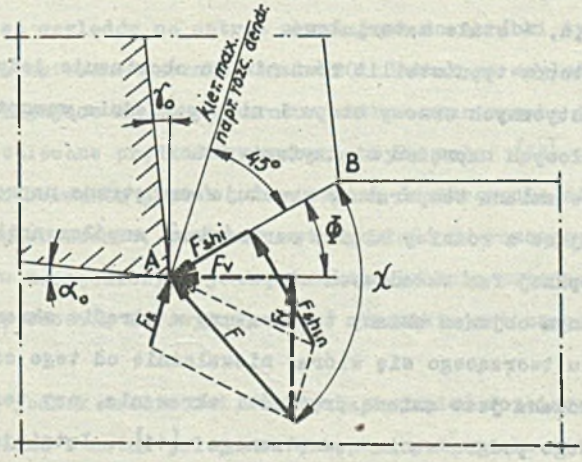
gdzie: δ_w - wartość naprężenia rozrywającego dentryty węglikowe,

l - długość płaszczyzny poślizgu,

b - szerokość skrawania,

η - udział wydzieleń węglikowych na płaszczyźnie poślizgu.

W oparciu o podane powyżej wywody na rys. 7 zamieszczono model rozkładu



Rys.7. Model sił skrawania w strefie skrawania

sił podczas skrawania stopów wielofazowych typu stellit. Zgodnie z tym modelem wypadkowa sił skrawania F została rozłożona na składowe:

F_R - siłę rozciągającą i niszczącą dendrytyczne wydzielenia węglikowe,

F_{shi} - siłę tnącą w płaszczyźnie poślizgu,

F_{shin} - siłę normalną do płaszczyzny poślizgu.

Składowe F_{shi} i F_{shin} odpowiedzialne są za poślizgi kobaltowej osnowy stopu, a ich wzajemny stosunek, określony na drodze doświadczalnej jest analogiczny jak w przypadku swobodnego skrawania ortogonalnego jednorodnych materiałów plastycznych.

6. Temperatura skrawania

Maksymalna temperatura w strefie skrawania stopów kobaltowych typu stellit, odgrywa znaczenie większą rolę niż podczas skrawania materiałów izotropowych.

Po pierwsze zmiana temperatury wpływa na wartość naprężenia plastycznego płynięcia materiału, zgodnie z zależnością empiryczną podaną przez N. Uedę i T. Matsuo [7] :

$$\tau = A \cdot \gamma^n \cdot \dot{\gamma}^m \exp\left(\frac{B}{T}\right), \qquad /3/$$

gdzie: γ - odkształcenie postaciowe,

$\dot{\gamma}$ - szybkość odkształcenia,

T - temperatura,

A,B,m,n, - stałe materiałowe.

W przypadku stopów typu stellit równanie to obowiązuje jedynie dla odkształceń plastycznych osnowy stopu i nie uwzględnia wewnętrznych, termicznych i siłowych naprężeń międzyfazowych.

Po drugie zmiana temperatury wywołuje wewnętrzne naprężenia międzyfazowe wynikające z różnicy między wartościami współczynników rozszerzalności cieplnej faz składowych stopu.

Zewnętrznym objawem zmiany temperatury w strefie skrawania jest zmiana rodzaju tworzącego się wióra, niezależnie od tego czy zmiana temperatury wywołana jest zmianą prędkości skrawania, czy też jest wynikiem dodatkowego podgrzewania zewnętrznego [11] . Istnieje również związek między temperaturą skrawania, a siłami skrawania.

Stosując dodatkowe podgrzewanie materiału w obszarze bezpośrednio poprzedzającym strefę skrawania do temperatury około 800-900 K można znacznie obniżyć wartość sił składowych F_v i F_f działających na ostrze narzędzia /rys.3b/. Jest to związane z wywołaniem wewnętrznych naprężeń międzyfazowych ułatwiających niszczenie węglikowego szkieletu stopu. W przypadku kobaltowej osnowy stopu ciepło dostarczone z zewnątrz powoduje, że uplastycznienie osnowy osiąga się teraz przy znacznie mniejszych prędkościach skrawania, a otrzymane wióry są podobne do otrzymywanych podczas skrawania z poślizgami adiabatycznymi.

Jak widać skrawalność stellitów można znacznie poprawić przez zastosowanie odpowiedniego podgrzewania wstępnego, ponieważ część energii potrzebnej do zeskrawania materiału można dostarczyć z zewnątrz w postaci ciepła.

7. Zasady doboru materiału na ostrza skrawające

Z punktu widzenia trwałości narzędzi stopy kobaltowe typu stellit odznaczają się wyjątkowo złą skrawalnością, której przyczyną są:

1. duża wytrzymałość i twardość,
2. wysoka zawartość wydzieleń węglikowych i związków międzymetalicznych,
3. duże podobieństwo składu chemicznego i powinowactwo adhezyjne do węglików spiekanych,
4. mała przewodność cieplna,
5. duże naciski jednostkowe przypadające na naroże ostrza [15] .

Z tych też względów na ostrze skrawające do obróbki tych stopów stosowano węgliki spiekane gatunku H10 i H20. Jednak ze względu na duże naprężenia rozciągające na samym narożu ostrza oraz wysoką temperaturę tam panującą, zalecane prędkości skrawania były małe [15] .

Próby zastosowania płytek ceramicznych do skrawania stellitu skazane były na niepowodzenie, ponieważ wytrzymałość na rozciąganie ceramicznych materiałów narzędziowych jest ponad trzykrotnie mniejsze niż węglików spiekanych, chociaż żarowytrzymałość ceramiki jest znacznie lepsza [11] .

Istnieją jednak możliwości obniżenia naprężeń rozciągających na narożu ostrza. Jedna z metod polega na wstępnym podgrzaniu materiału w obszarze bezpośrednio poprzedzającym strefę skrawania, np. za pomocą palnika

plazmowego, do temperatury ponad 800 K. Dzięki temu uzyskuje się znacznie mniejsze wartości sił skrawania. W praktyce oznacza to możliwość zastosowania narzędzi z ostrzami ceramicznymi lub ceramiczno-węglikowymi, a przez to znaczne zwiększenie wydajności obróbki.

8. Wnioski

W oparciu o dotychczas przeprowadzone badania można stwierdzić, że skrawalność stopów kobaltowych typu stellit w istotny sposób zależy od ich budowy strukturalnej. W pierwszym rzędzie zależy ona od rodzaju i ilości wydzieleń węglikowych na granicach ziarn kobaltowej osnowy stopu. Węgliki drugorzędowe i związki międzymetaliczne zawarte wewnątrz ziarn roztworów odgrywają w skrawaniu rolę drugorzędną, przyczyniając się jedynie do ich utwardzenia.

Stwierdzono, że mechanizm tworzenia się wióra podczas skrawania tych wielofazowych stopów jest odmienny w porównaniu do materiałów izotropowych, a jest to związane z dużymi różnicami własności mechanicznych i termicznych elementarnych faz stopów. Strefa zauważalnych odkształceń plastycznych nie może być identyfikowana jako strefa skrawania, ponieważ jest ona poprzedzona obszarem powstawania kruchych pęknięć dendrytycznych wydzieleń węglikowych. Kierunek maksymalnych naprężeń rozciągających, niszczących węglikowy szkielet stopu, tworzy z płaszczyzną poślizgu kąt 45°.

Wzrost prędkości skrawania i wzrost temperatury materiału przez zastosowanie dodatkowego podgrzewania wywierają podczas obróbki "stellitów lanych" podobny wpływ na proces powstawania wióra. W ogólnym przypadku powoduje to zmianę odmiany wióra z segmentowej poprzez ciągłą aż do odmiany charakterystycznej dla katastroficznych poślizgów termoplastycznych.

Kiedy katastroficzne poślizgi termoplastyczne osiągane są na drodze wzrostu prędkości skrawania mają one charakter poślizgów adiabatycznych, co objawia się bardzo dużym wzrostem składowej siły skrawania. W wyniku tego na narożu ostrza pojawiają się wysokie naprężenia rozciągające, znacznie obniżające jego trwałość. Zastosowanie dodatkowego podgrzewania materiału do temperatury ponad 800 K umożliwia wystąpienie katastroficznych poślizgów termoplastycznych przy znacznie mniejszych prędkościach skrawania, z tą jednak różnicą, że składowe sił skrawania - szczególnie składowa osiowa - są zdecydowanie mniejsze. Dzięki temu można efektywnie stoso-

wać na ostrza materiały ceramiczne i ceramiczno-węglikowe, a przez to znacznie zwiększyć wydajność obróbki skrawaniem tych stopów.

9. Literatura

1 Sulivan C.P., Donachie J.M., Morral F.R.: Cobalt - Base Superalloys 1970 /Cobalt monograph series/, Centre d´ Information Du Cobalt, Brussels 1970.

2. Shetty H.R., Kossel T.H., Fiore N.F.: A study of Abrasive Wear Mechanism in Cobalt - Base Alloys, Wear 3,84, 1983.

3. Tanaka Miyoshi, Omori Minoru.: Study of Machining for Difficult - to Machine Hard Materials with Ceramic Tools by Means of Plasma Heating, Nippon Tungsten Rev., 10, 1977.

4. Miernik M.: Teoretyczne i doświadczalne podstawy skrawania stellitów. Praca doktorska. Politechnika Wrocławska, Wrocław 1978.

5. Schroeder T.A., Hazra J.: High Speed Machining Analysis of Difficult - to Machine Materials, SME Manuf. Eng. Trans, vol. 9: 9-th North Amer. Manuf. Res. Conf. Proc., Dearborn, Mich. 1981.

6. Komanduri R., Hazra J.: A Metallurgical Investigation of Chip Morphology in Machining an AJSJ 1045 steel at Various Speed up to 10100SFPM., SME Manuf. Eng. Trans. vol. 9: 9-th North Amer. Res.Conf. Proc., Dearborn, Mich, 1981.

7. Ueda N., Matsuo T.: An Analisis of Saw-Toothed Chip Forming, Annals of the CIRP, 1, 31, 1982.

8. Recht R.F.: Catastrophic Thermoplastic Shear, I. Appl. Mech. /Trans. ASME/, 86, 1964.

9. De Almeida D.M., Hinds B.K., Miernik M., Żebrowski H.: Machinability of Stellite Type Cobalt - Bases Alloys - The Influence of Microstructure on chip Formation /artykuł przygotowany do publikacji w Metallis Technolgy/.

10. Miernik M.: Fenomenologiczne podstawy teorii skrawania stopów kobaltowych /praca przygotowywana do publikacji w 1984r./.

11. De Almeida S.M., Hinds B.K.: The Influence of Temperature on the Machinability od Stellite 6, Proc. 21-th Int. Mach.Tool Des. and Res. Conf. 1980, Swansea 1981.

12. Miernik M., Żebrowski H.: Badanie sił skrawania, narostu oraz kąta

poślizgu w toczeniu stellitu. Postępy Technologii Maszyn i Urządzeń. Zeszyt 3 - 4, 1981.

13. Novikova S.J.: Teplovoje rossirenje tvjerdych tjel. Iz. Nauka,Moskva 1974.

14. Miernik M., Żebrowski H.: Skrawalność stellitów - model teoretyczny i mechanizm tworzenia wióra. Postępy Technologii Maszyn i Urządzeń. Zeszyt 3 - 4, 1981.

15. Miernik M., Żebrowski H.: Skrawalność stellitów. Zbiór materiałów z Konf. Nauk.-Technicznej, KNW, Rzeszów 1975.

Marek MIERNIK

MACHINING PROPERTIES OF SELECTED STELLITE TYPE COBALT ALLOYS

Summary

The influence of chemical composition and structure of cobalt alloys on their machinability is discussed. The processes of chip forming are described on the basis of phenomenological theory of cutting polyphase alloys. The influence of cutting conditions on the cutting forces, temperature, and the chip type are presented. Possibilities of the more effective machining of these alloys are suggested as well as principles of cutting edge material selection.