



Próba oceny skrawalności stopów z układu Fe-Al podczas toczenia wzdłużnego

ZBIGNIEW ZARAŃSKI, IGNACY ŁOSIK, STANISŁAW SULEJ,
TOMASZ DUREJKO

Wojskowa Akademia Techniczna, Wydział Mechaniczny,
Instytut Materiałoznawstwa i Mechaniki Technicznej,
00-908 Warszawa, ul. S. Kaliskiego 2

Streszczenie. W pracy przedstawiono wyniki badań skrawalności stopów na osnowie fazy międzymetalicznej z układu Fe-Al. Skrawalność oceniano na podstawie wybranych wskaźników, między innymi wyznaczając siłę skrawania oraz analizując zużycie ostrzy skrawających i chropowatość powierzchni. Z przeprowadzonych badań wynika, że intermetale Fe-Al są materiałami trudno obrabialnymi i ich skrawanie z parametrami podobnymi do innych materiałów konstrukcyjnych jest niemożliwe.

Słowa kluczowe: faza międzymetaliczna Fe-Al, skrawalność, opór właściwy skrawania, zużycie narzędzia, struktura geometryczna powierzchni

Symbole UKD: 621.9

1. Wstęp

Obróbka skrawaniem, pomimo burzliwego rozwoju niekonwencjonalnych technologii wytwarzania nadal odgrywa ważną rolę w wytwarzaniu maszyn, umożliwia uzyskanie zarówno najwyższej dokładności geometrycznej, przede wszystkim wymiarowej, jak i kształtu oraz najlepszych właściwości warstwy wierzchniej [1, 2].

Stopy na osnowie faz międzymetalicznych z układu Fe-Al, dzięki swoim właściwościom pośrednim pomiędzy metalami a ceramiką, zalicza się do materiałów trudno obrabialnych [1]. Istotne znaczenie podczas procesów mechanicznego rozdzielania objętościowego intermetali mają ich specyficzne właściwości, różniące je

od klasycznych stopów, z których decydującymi o skrawalności są wzrost granicy plastyczności wraz ze wzrostem temperatury podczas obróbki i wrażliwość cech plastycznych na zmianę środowiska [1].

W związku z powyższym efektywna obróbka skrawaniem tych materiałów stanowi poważne wyzwanie. Wyniki doświadczeń uzyskane dla tworzyw o podobnych cechach, jakimi są np. klasyczne stopy kwasoodporne, żaroodporne i żarowytrzymałe, wskazują, iż głównym problemem w procesach obróbczych tych materiałów jest wysoka temperatura skrawania i szybkie zużywanie się ostrzy narzędzi. Aby zminimalizować te problemy, należy między innymi stosować relatywnie małą prędkość skrawania, duże posuwy, małą głębokość skrawania, dobierać odpowiednie materiały na ostrza narzędzi, stosować odpowiednio intensywne chłodzenie i smarowanie oraz możliwie sztywny układ obrabiarka-uchwyty-przedmiot-narzędzie [5-9].

Ocenę skrawalności materiałów konstrukcyjnych, pod względem wartości sił skrawania i wynikających z tego faktu oporów właściwych skrawania, przeprowadza się w odniesieniu do właściwości pewnych materiałów, które traktuje się jako wzorce. Najczęściej materiałem porównawczym jest stal konstrukcyjna walcowana na gorąco o wytrzymałości na rozciąganie około 750 MPa lub odmiana perlityczna żeliwa z grafitem płatkowym o twardości około 200 HB [10].

Dwoma podstawowymi wskaźnikami stosowanymi do określenia skrawalności materiału są: okresowa prędkość skrawania — v_{cT} oraz chropowatość powierzchni — R_a [10]. Często okresową prędkość skrawania zastępuje się wielkościami pochodnymi, takimi jak okres trwałości ostrza — T i intensywność zużycia ostrza — dVB/dt [10]. Przy pełnej ocenie właściwości charakteryzujących skrawalność materiału określa się również pomocnicze wskaźniki, do których zaliczają się między innymi: siła skrawania — F_c , opór właściwy skrawania — k_c oraz rodzaj i kształt wióra [10].

Celem badań realizowanych w ramach niniejszej pracy była ocena skrawalności stopów na osnowie faz międzymetalicznych z układu Fe-Al podczas toczenia wzdłużnego. Dokonano tego poprzez określenie wybranych podstawowych i pomocniczych wskaźników, między innymi siły skrawania, zużycia ostrzy skrawających. Dodatkowo wyznaczono podstawowe wysokościowe parametry chropowatości obrobionej powierzchni.

2. Obiekt badań

W badaniach skrawalności intermetali wykorzystano następujące materiały:

- trzy stopy na osnowie fazy FeAl:
 - o zawartości aluminium 36% at. w stanie lanym — oznaczenie Fe-36Al (L),

- o zawartości aluminium 40% at. w stanie lanym — oznaczenie Fe-40Al(L) i po homogenizacji — oznaczenie Fe-40Al(H),
- o zawartości aluminium 45% at. z dodatkami stopowymi o zawartości w % at.: 0,22 molibdenu, 0,13 węgla, 0,1 cyrkonu i 0,01 boru w stanie po normalizacji — oznaczenie Fe-45Al(N);
- stop Fe₃Al o zawartości 28% at. aluminium i 5% at. chromu w stanie po normalizacji — oznaczenie Fe-28Al-5Cr(N).

Obróbkę cieplną intermetali prowadzono w piecu elektrycznym komorowym typu PEK-4/1350. Proces homogenizacji realizowano w atmosferze powietrza, w temperaturze 1000°C, w czasie 10 godzin, normalizację natomiast w temperaturze 700°C, w czasie 5 godzin.

Intermetale typu FeAl w stanie lanym miały twardość w granicach od 24 do 34 HRC, a po obróbce cieplnej — od 18 do 30 HRC. Stop Fe₃Al miał twardość w stanie lanym od 20 do 29 HRC i znacznie niższą, wynoszącą od 11 do 14 HRC po normalizacji.

W celach porównawczych, głównie do oszacowania oporów skrawania, wykorzystano materiał wzorcowy, jakim była normalizowana (N) stal węglowa 45 o twardości od 160 do 200 HB. Normalizację przeprowadzano w temperaturze 830°C w czasie 3 godzin.

3. Warunki badań

Wszystkie próby toczenia, mające na celu ocenę skrawalności intermetali z układu Fe-Al, przeprowadzono na tokarce kłowej TPC40, wykorzystując nóż tokarski oprawkowy typu MTJNR 2525 M16M1 z przyklejonym na trzonku układem przetworników tensometrycznych, umożliwiającym pomiar siły skrawania (składowej obwodowej siły — F_c). Geometria noża była następująca: $\chi_r = 93^\circ$, $\gamma_n = -6^\circ$ i $\lambda_n = -6^\circ$. Przedmiot obrabiany w kształcie walca mocowano w uchwycie trójszczekowym i podpierano z drugiej strony kłem obrotowym.

W badaniach do oceny oporów skrawania stosowano dwa rodzaje płytek skrawających wieloostrowych dwustronnych (z geometrią zerową), z różnych węglików spiekanych, z pokryciem trójwarstwowym TiN/Al₂O₃/TiCN, wytworzonym poprzez chemiczne osadzanie z fazy gazowej:

- TNMG 160408 z rozwiniętą powierzchnią natarcia, z węglika spiekanego gatunku NTP35,
- TNMA 160404 z płaską powierzchnią natarcia, z węglika spiekanego gatunku NTK25.

Do oceny możliwości kształtowania powierzchni o zmiennej grubości skrawania stosowano różne ostrza: CB20, CC670, NTK25, NTP35.

Skalowanie układu pomiarowego oraz pomiaru wartości siły skrawania, podczas toczenia wzdłużnego, przeprowadzono, wykorzystując układ pomiarowy składający się z uniwersalnego wzmacniacza prądu stałego typu CL 101 oraz komputera PC wyposażonego w kartę pomiarową analogowo-cyfrową PCL-818. Do rejestracji wyników pomiarów użyto oprogramowania Labtech Acquire.

Pomiary wartości zużycia ostrza od strony powierzchni przyłożenia wykonano na mikroskopie warsztatowym dużym firmy Zeiss z cyfrowym układem pomiarowym.

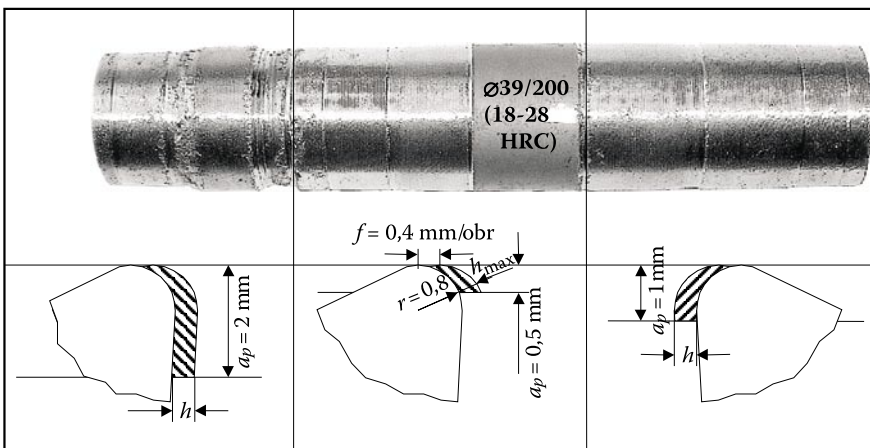
Chropowatość kształtowanych powierzchni oceniono na podstawie pomiarów profilografometrem typu PGM1C z głowicą pomiarową G250BS.

Wszystkie wyniki badań przedstawiono jako wartość średnią arytmetyczną z serii pomiarów. Odchylenie standardowe pominięto ze względu na porównywalną i małą wartość dla poszczególnych serii pomiarów.

4. Wyniki badania skrawalności

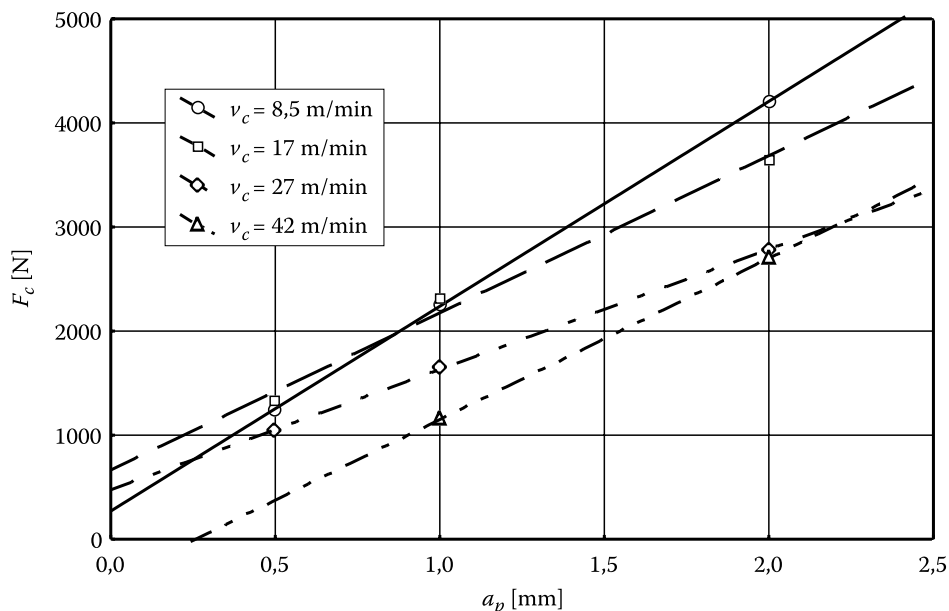
4.1. Siły skrawania

Próby toczenia wzdłużnego, mające na celu określenie zmiany wartości siły skrawania w funkcji prędkości skrawania, przeprowadzono przy stałej wartości posuwu 0,4 mm/obr i przy zmiennej głębokości skrawania równej 2,1 i 0,5 mm. Widok powierzchni zewnętrznej przykładowego wałka po przeprowadzonych próbach toczenia wzdłużnego, z wymienionymi wyżej parametrami geometrycznymi, przedstawiono na rysunku 1.



Rys. 1. Widok powierzchni wałka ze stopu Fe-40Al(H) po próbach toczenia przy stałym posuwie f , z różną prędkością v_c i głębokością a_p oraz odpowiadające tym parametrom przekroje warstwy skrawanej

Zależność siły skrawania F_c stopu FeAl(H) od głębokości skrawania, określona dla wariantów obróbki z rysunku 1, dla zadanych parametrów skrawania przedstawiono na rysunku 2.

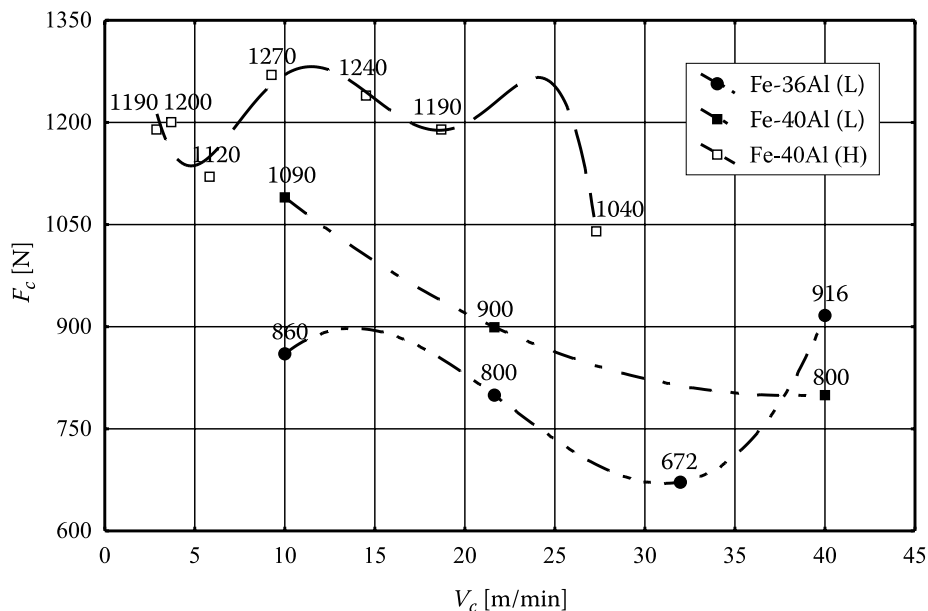


Rys. 2. Zależność siły skrawania F_c od głębokości skrawania a_p przy stałym posuwie $f = 0,4$ mm/obr dla wałka ze stopu Fe-40Al(H), dla czterech różnych prędkości skrawania v_c .

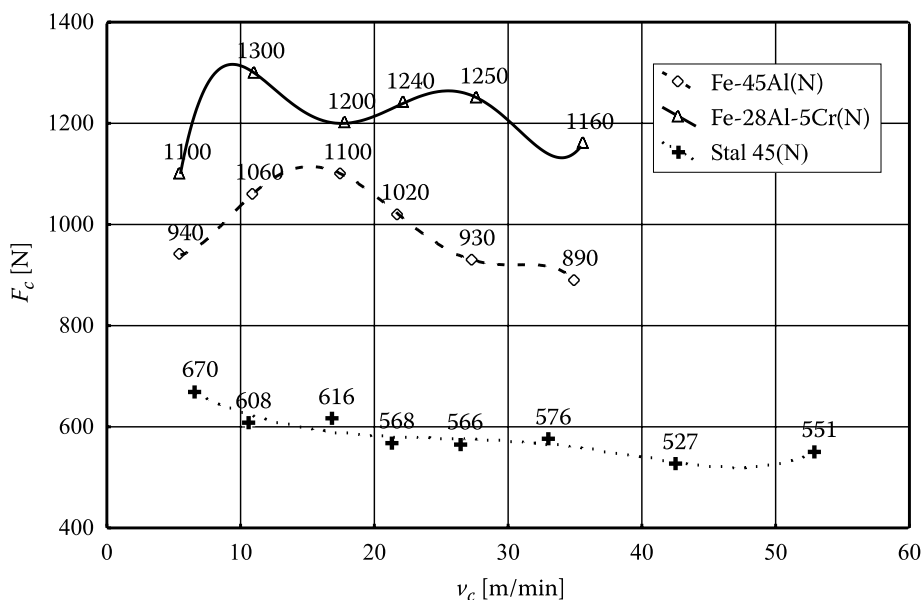
Natomiast zależność siły F_c , wyznaczoną dla ustalonych wartości podstawowych parametrów geometrycznych (a_p, f), od prędkości skrawania v_c dla stopów z układu Fe-Al przedstawiono na rysunkach 3 i 4.

Prezentowana na rysunku 2 zależność siły skrawania w funkcji głębokości skrawania, przy stałym posuwie, potwierdza jej proporcjonalną tendencję wzrostową. Cechą charakterystyczną jest widoczna, wynosząca około 8%, różnica wartości sił dla prędkości skrawania 8,5 i 17 m/min, w porównaniu z prędkością 27 i 42 m/min.

Przedstawione na rysunkach 3 i 4 rozkłady wartości siły skrawania w funkcji prędkości, ilustrują natomiast złożony charakter tej zależności, który odpowiada przebiegom przedstawianym w literaturze [3, 10]. Uzyskane w ten sposób przebiegi pozwalają na dobór zakresów prędkości, którym towarzyszą najmniejsze siły skrawania. Wszystkim wartościom sił skrawania przedstawionym na rysunkach 3 i 4 towarzyszy zdecydowanie większe, w porównaniu do klasycznych materiałów konstrukcyjnych, zużycie ostrzy wyrażone za pomocą parametru VB , czyli wysokości starcia na powierzchni przyłożenia.



Rys. 3. Zależność siły skrawania F_c od prędkości skrawania v_c , przy stałym przekroju warstwy skrawanej $A = 0,2 \text{ mm}^2$ ($a_p = 0,5 \text{ mm}$ i $f = 0,4 \text{ mm/obr}$), dla wałków ze stopów FeAl



Rys. 4. Zależność siły skrawania F_c od prędkości skrawania v_c , przy stałym przekroju warstwy skrawanej $A = 0,2 \text{ mm}^2$ ($a_p = 0,5 \text{ mm}$ i $f = 0,4 \text{ mm/obr}$), dla wałków ze stopów Fe-45Al(N) i Fe-28Al-5Cr(N) oraz stali węglowej 45(N)

Stopy, które wykorzystano w badaniach, różniły się zawartością procentową żelaza i aluminium, co nie wpłynęło na wartości badanych cech. Siły skrawania dla obu stopów typu FeAl w stanie litym, po unormowaniu przekroju warstwy skrawanej były podobne, co świadczy o tym, że badane właściwości zależą głównie od warunków i parametrów technologicznych skrawania. Natomiast po homogenizacji wartości sił były znacznie większe, co można zaobserwować na rysunku 3, na przykładzie prób toczenia wałka ze stopu Fe-40Al.

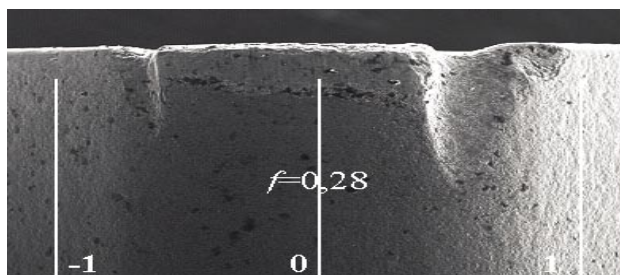
Biorąc pod uwagę wartości sił skrawania w badanym zakresie prędkości dla stopów Fe-40Al(H) i Fe-28Al-5Cr(N), dla których minimum przypada dla prędkości nieznacznie poniżej 20 m/min oraz fakt, że przy stosunkowo umiarkowanym zużyciu ostrza otrzymuje się dobrą jakość powierzchni po obróbce, uznano na tym etapie badań tę wartość prędkości jako technologicznie uzasadnioną do prowadzenia dalszych prób skrawania.

4.2. Zużycie ostrzy skrawających

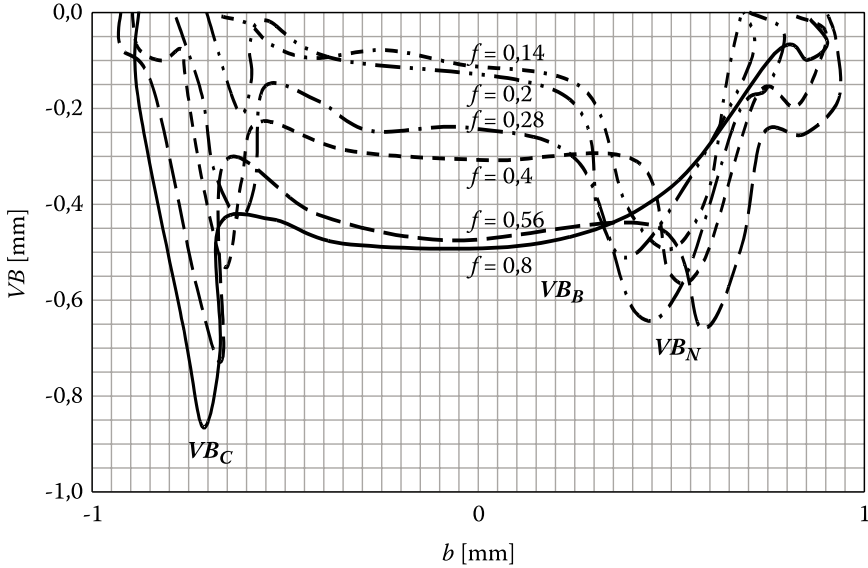
Zużycie ostrza określa się wartościami bezwzględnyymi starcia na powierzchni przyłożenia VB lub intensywnością zużycia ostrza rozumianą jako stosunek tej wartości zużycia do czasu rzeczywistego pracy ostrza dVB/dt .

W przypadku skrawania intermetali zużycie ostrza VB jest bardzo duże, a ze względu na wartości posuwu 0,4 mm/obr i głębokości skrawania 0,5 mm, które są porównywalne z promieniem zaokrąglenia ostrza, nie jest łatwe do interpretacji. Typowe ślady zużycia o charakterze ciągłym na powierzchni przyłożenia, występujące w zasadzie w strefie zaokrąglonej części naroża, pokazano na rysunku 5.

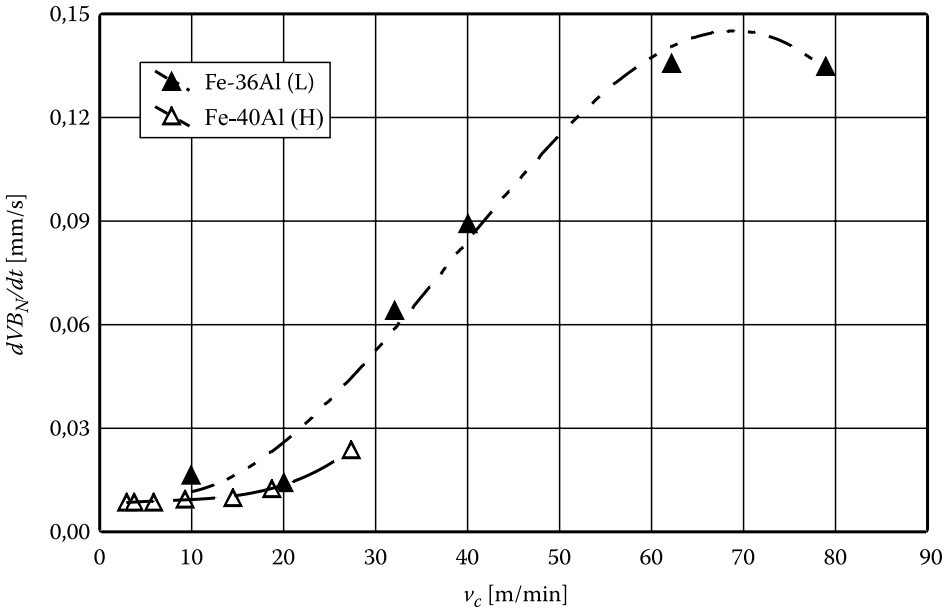
Na podstawie obserwacji ostrzy sporządzono mapę ich zużycia, pokazaną na rysunku 6 z przyjętymi oznaczeniami wskaźników zużycia, którymi posłużono się przy interpretowaniu wyników badań skrawalności intermetali. Jako najbardziej adekwatny wskaźnik do analizy przyjęto zużycie skoncentrowane VB_N , które mierzono na dużym mikroskopie warsztatowym z cyfrowym układem pomiarowym.



Rys. 5. Zużycie ostrza płytki skrawającej TNMA-NTK25 podczas skrawania stopu typu Fe-45Al(N) w czasie 47 s, z parametrami skrawania: $a_p = 0,5$ mm i $v_c = 22$ m/min; 0, 1, -1 — linie granic rozwinięcia powierzchni przyłożenia (rys. 6)



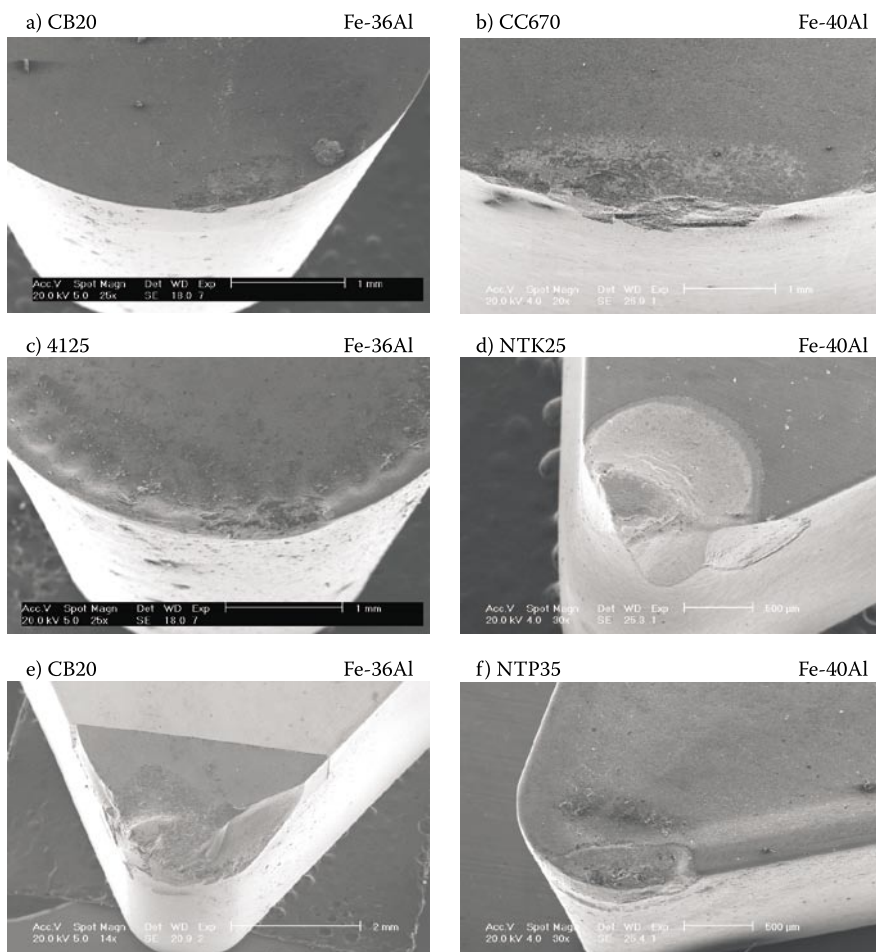
Rys. 6. Mapa zużycia ostrzy płytki TNMA-NTM25 w funkcji posuwu podczas skrawania stopu Fe-45Al(N) w czasie 47 s, ze stałą głębokością skrawania 0,5 mm i prędkością skrawania 22 m/min: 0 — wierzchołek ostrza; -1, 1 — granice rozwinięcia powierzchni przyłożenia (rys. 5)



Rys. 7. Zależność intensywności zużycia ostrza dVB_N/dt w funkcji prędkości skrawania v_c dla stopów typu FeAl(L i H) przy stałej wartości przekroju warstwy skrawanej

Wyliczone wartości intensywności zużycia skoncentrowanego dVB_N/dt w funkcji prędkości skrawania dla stopów FeAl przedstawiono na rysunku 7. Wykres przedstawia przybliżenia wykładnicze tej zależności, chociaż w rzeczywistości może być ona bardziej złożona [10]. Jedno wydaje się być oczywiste — to, że najmniejsza intensywność zużycia ostrza odpowiada prędkości skrawania z górną granicą około 20 m/min, co jednocześnie koreluje z obszarem mniejszych wartości sił skrawania.

Przy próbach skrawania z różnymi ostrzami podano zużycie o charakterze dynamicznym (rys. 8) przedstawiając kolejno: a) złamanie krawędzi skrawającej płytki z CB20 o zarysie okrągłym (\varnothing 5 mm); b) złamanie z rozwarstwieniem krawędzi skrawającej dla płytki okrągłej (\varnothing 12 mm) z CC670; c) niewielkie starcie na



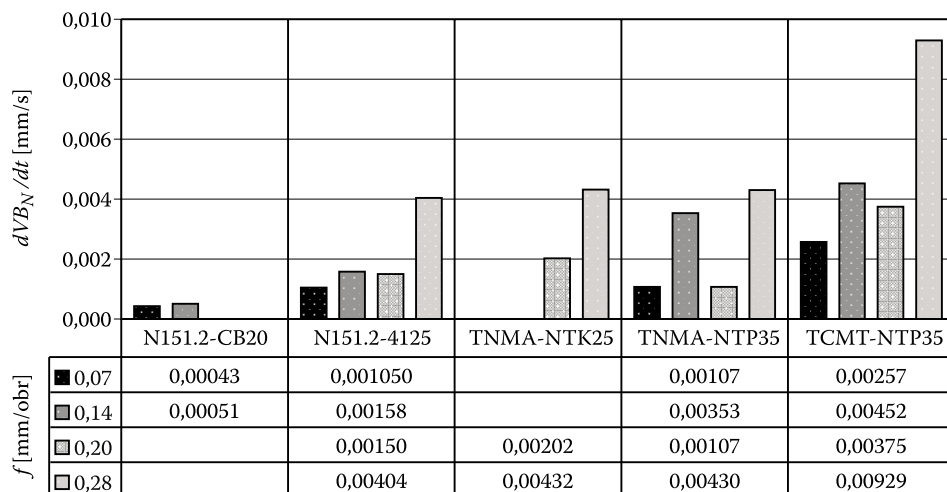
Rys. 8. Charakterystyczne rodzaje zużycia ostrzy wykonanych z różnych materiałów podczas skrawania stopów Fe-Al (opis w tekście)

powierzchniach przyłożenia i natarcia dla płytki z materiału 4125 (pokrycie TiAlN naniesione metodą PVD) o zarysie okrągłym (\varnothing 5 mm), z ukształtowaną powierzchnią natarcia; d) znaczne zużycie ściernie powierzchni przyłożenia i natarcia oraz wykruszenie ostrza płytki z NTK25, które prawdopodobnie jest przyczyną dwóch wyraźnie zarysowanych obszarów zużycia od strony powierzchni przyłożenia; e) złamanie krawędzi i wykruszenie warstwy borazonowej z CB20; f) niewielkie starcie powierzchni przyłożenia i natarcia dla płytki z NTP35, z ukształtowaną powierzchnią natarcia, pracującą pod kątem przystawienia 45° . Przedstawione na rysunku 8 zużycie płytek świadczy o trudnościach, jakie napotyka się podczas skrawania kształtującego intermetali z układu Fe-Al.

Z analizy tej wynika, że płytki z CB20 są bardzo wrażliwe na wykruszenia i pomimo bardzo wysokiej twardości oraz odporności na ścieranie, ich dość duża udarność jest niewystarczająca do efektywnego skrawania intermetali Fe-Al w stanie lanym. Najlepsze efekty uzyskano podczas kształtowania tych stopów ostrzami o zarysie okrągłym z materiału 4125, bez stosowania cieczy chłodząco-smarującej.

W badaniach skrawalności intermetali, podczas operacji skórowania i toczenia kształtującego stosowano płytki skrawające z różnym pokryciem. Najkorzystniejsze efekty dotyczące zużycia ostrzy oraz jakości powierzchni uzyskiwano w przypadku pokrycia wielowarstwowego Ti/Al₂O₃/TiCN₃ (naniesionego metodą CVD) i jednowarstwowego TiAlN (wytworzonego metodą PVD).

Na rysunku 9 zilustrowano intensywność zużycia ostrzy w funkcji posuwu dla płytek skrawających wykonanych z różnych materiałów narzędziowych i różniących się geometrią w układzie narzędzia, przy głębokości skrawania 0,2-0,3 mm i stałej prędkości skrawania w zakresie 15-20 m/min.



Rys. 9. Intensywność zużycia ostrza dVB_N/dt wykonanego z różnych materiałów w funkcji posuwu f podczas skrawania stopów Fe-40Al(H) z ustalonymi warunkami skrawania

5. Struktura geometryczna powierzchni

Podstawą oceny struktury geometrycznej powierzchni są parametry amplitudowe, charakteryzujące poziom chropowatości powierzchni. Do oceny struktury geometrycznej wybrano parametry amplitudowe: R_a , R_z , R_{\max} , R_q oraz wskaźniki: R_p/R_{\max} , sKd, których wartości zestawiono w tabelach 1 i 2.

Przykładowy profilogram dla powierzchni obrobionej w warunkach badań (toczenie wzdłużne dokładne) przedstawiono na rysunku 10. Profilogramy powierzchni stanowiły podstawę do określenia wartości wymienionych parametrów chropowatości. Podczas obróbki narzędziem z określoną geometrią ostrza, przy sprzężonej kinematyce ruchów względnych narzędzia i przedmiotu obrabianego, strukturę geometryczną powierzchni charakteryzuje deterministyczny okresowy profil powierzchni.

TABELA 1

Zestawienie wartości liczbowych wybranych parametrów powierzchni obrobionych w warunkach badań (ostrze TNMA-NTK25 w oprawce MTJNR 2525M16M1, prędkość skrawania $v_c = 20$ m/min, głębokości skrawania: $a_p = 0,5$ mm)

| Posuw [mm/ obr] | Stal 45 (N) | | | | Fe ₃ Al (N) | | | | Fe-45Al (N) | | | |
|-----------------------|-------------|-------|------------|----------------|------------------------|-------|------------|----------------|-------------|-------|------------|----------------|
| | R_a | R_z | R_{\max} | R_p/R_{\max} | R_a | R_z | R_{\max} | R_p/R_{\max} | R_a | R_z | R_{\max} | R_p/R_{\max} |
| | [μm] | | | | | | | | | | | |
| 0,14 | 3,67 | 28,12 | 28,61 | 0,49 | 1,75 | 9,72 | 9,85 | 0,56 | 1,80 | 11,63 | 12,00 | 0,49 |
| 0,20 | 4,14 | 24,73 | 25,43 | 0,50 | 3,01 | 14,71 | 14,91 | 0,59 | 3,34 | 17,01 | 17,57 | 0,58 |
| 0,28 | 7,48 | 42,53 | 42,88 | 0,53 | 6,53 | 32,85 | 18,29 | 0,54 | 8,77 | 49,56 | 49,89 | 0,54 |

Zestawione w tabeli 1 wartości zmierzonych parametrów ukształtowanej powierzchni odpowiadają obróbce średnio-dokładnej. Widoczna jest wyraźna różnica w wysokościach nierówności powierzchni na korzyść stopów FeAl w porównaniu do stali 45(N), zaś obliczony wskaźnik R_p/R_{\max} sugeruje regularność odwzorowania kształtu ostrza narzędzia w geometrii obrobionej powierzchni w odniesieniu do stali 45(N) i stopów FeAl.

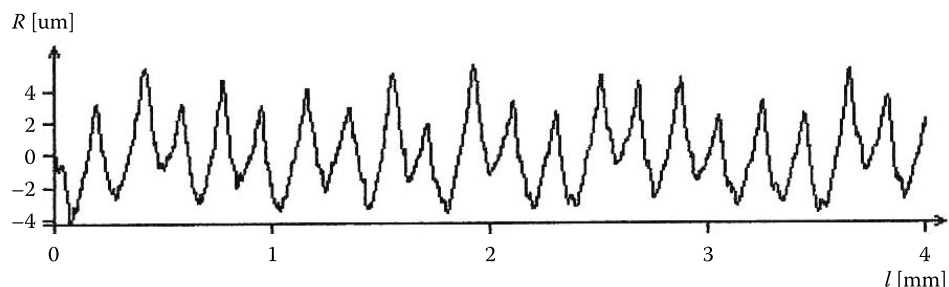
Na podstawie danych w tabeli 2 można zauważyć znaczne zmiany w wartościach współczynnika determinowości okresowej (sKd). Wzrastają jego wartości wraz z wartością posuwu niezależnie od rodzaju obrabianego materiału, jednakże determinowość profilu jest większa przy obróbce stali 45(N).

TABELA 2

Zestawienie parametrów do oceny stopnia determinowości struktury geometrycznej obrabianych powierzchni w warunkach badań (ostrze TNMA-NTK25 w oprawce MTJNR 2525M16M1, prędkość skrawania $v_c = 20$ m/min, głębokości skrawania: $a_p = 0,5$ mm)

| Posuw [mm/ obr] | Profil teoretyczny | | Profil rzeczywisty (powierzchnia obrabiona) | | | Współczynnik determinowości profilu | | |
|-----------------------|------------------------|------------------------|--|------------------------|-------------|--|-----------------------|-------------|
| | H ¹ [μm] | D ² [μm] | Rq | | | SKd | | |
| | | | Stal 45 (N) | Fe ₃ Al (N) | Fe-45Al (N) | Stal 45(N) | Fe ₃ Al(N) | Fe45-Al (N) |
| 0,14 | 4,9 | 2,13 | 4,75 | 2,12 | 2,21 | 0,09 | 0,47 | 0,43 |
| 0,20 | 10,0 | 8,88 | 5,08 | 3,56 | 3,97 | 0,34 | 0,69 | 0,56 |
| 0,28 | 19,6 | 34,14 | 8,72 | 7,77 | 10,52 | 0,45 | 0,56 | 0,30 |

¹ — teoretyczna wysokość profilu chropowatości,



Rys. 10. Profil chropowatości powierzchni obrabianej wałka wykonanego z FeAl (ostrze TNMA-NTK25, prędkość skrawania $v_c = 20$ m/min, głębokości skrawania: $a_p = 0,5$ mm, posuw 0,14 mm/obr)

² — dyspersja podstawowego profilu składowej zdeterminowanej.

6. Podsumowanie

Z badań skrawalności stopów na podstawie faz międzymetalicznych wynika, że skrawanie tych materiałów poprzez toczenie z parametrami skrawania podobnymi do innych materiałów konstrukcyjnych jest niemożliwe. Przy stosunkowo niedużych wartościach trzech podstawowych parametrów skrawania: głębokości skrawania $a_p = 0,5$ mm, posuwu $f = 0,4$ mm/obr i prędkości skrawania $v_c = 20$ m/min, zużycie ostrza jest tak duże, że toczenie z jeszcze większymi parametrami skrawania staje się nieefektywne. Oznacza to, że skrawanie tych materiałów można przeprowadzać

tylko przy niższych wartościach wymienionych parametrów, co tym samym determinuje wartości naddatków na obróbkę, które powinny być małe. Należy więc tak projektować procesy wytwarzania wyrobów, aby ograniczyć operacje kształtujące do minimum, z nakierowaniem tych procesów wyłącznie na operacje wykańczające.

Z przeprowadzonych badań wynika, że obróbkę kształtującą można prowadzić z wartościami parametrów mniejszymi od przytoczonych wyżej. Prawdopodobnie wartości okresowej prędkości skrawania można byłoby ustalić w rozsądnych granicach dla niższych wartości parametrów skrawania.

W prezentowanych badaniach wykorzystywano płytki skrawające wykonane z węglików spiekanych z nowoczesnymi pokryciami. Wydaje się, że pewne rezerwy w zakresie materiałów narzędziowych, możliwych do zastosowania podczas obróbki skrawaniem intermetali, być może tkwią w zbiorze materiałów narzędziowych z grupy cermetali i ceramiki [7, 9].

Ponadto poprawy skrawalności w tym zakresie można oczekiwać w doborze odpowiedniej geometrii płytek skrawających, optymalizacji podstawowych parametrów skrawania i warunków obróbki a od strony materiału obrabianego — zmiany jego właściwości poprzez optymalizację struktury i obróbki cieplnej.

Podsumowując wyniki badań można sformułować następujące wnioski końcowe:

1. Minimalną wartość siły skrawania, względnie umiarkowane zużycie ostrzy i zadowalającą jakość powierzchni uzyskuje się przy obróbce stopów na osnowie faz międzymetalicznych Fe-Al z prędkością około 20 m/min.
2. Opór właściwy skrawania w funkcji grubości warstwy skrawanej, określony na podstawie prób toczenia wzdłużnego przeprowadzonych z prędkością około 20 m/min, jest bardzo duży i wyższy od wartości dla klasycznych stopów zaliczanych do trudno obrabialnych.
3. W operacjach skórowania surówki i toczenia kształtującego stosowano płytki skrawające z pokryciami, z których najkorzystniejsze efekty dotyczące zużycia ostrzy oraz jakości powierzchni uzyskiwano w przypadku pokryć wielowarstwowych Ti/Al₂O₃/TiCN (CVD).
4. Chropowatość powierzchni obrobionej odpowiadająca toczeniu dokładniemu jest łatwa do uzyskania podczas obróbki z posuwem o wartości do 0,2 mm/obr.
5. Profil chropowatości jest zdeterminowany geometrycznie składową okresową wynikającą z kinematyki ruchów względnych narzędzia i przedmiotu obrabianego.

Wyniki badań skrawalności stopów na osnowie faz międzymetalicznych z układu Fe-Al w próbach toczenia wzdłużnego wałków oraz przedstawione na ich podstawie charakterystyki, ze względu na duże wartości siły skrawania i znaczne wartości zużycia ostrzy nowoczesnych płytek skrawających, świadczą o trudnej

obrabiwalności tych materiałów w kształtowaniu części maszyn za pomocą obróbki skrawaniem ostrzami o zdefiniowanej geometrii.

Artykuł wpłynął do redakcji 23.11.2005 r. Zweryfikowaną wersję po recenzji otrzymano w kwietniu 2006 r.

LITERATURA

- [1] J. BYSTRZYCKI, R. A. VARIN, Z. BOJAR, *Postępy w badaniach stopów na bazie uporządkowanych faz międzymetalicznych z udziałem aluminium*, Inżynieria Materiałowa, nr 5, 1996.
- [2] I. ŁOSIK, Z. ZARAŃSKI, *Badania skrawalności stopów na osnowie faz międzymetalicznych*, Materiały VIII Międzynarodowego Sympozjum IPM „Doskonalenie konstrukcji oraz metod eksploatacji pojazdów mechanicznych”, Warszawa–Rynia, 2002.
- [3] I. ŁOSIK, Z. ZARAŃSKI, S. SULEJ, C. SENDEROWSKI, *Siły skrawania podczas toczenia wzdłużnego stopów na osnowie faz międzymetalicznych z układu Fe-Al*, Inżynieria Materiałowa, nr 6, 2004.
- [4] I. ŁOSIK, Z. ZARAŃSKI, S. SULEJ, T. DUREJKO, *Wear of Cutting Edges During Fe-Al Intermetals Turning*, International Journal of Applied Mechanics and Engineering, nr 9, 2004.
- [5] K. E. OCZOŚ, *Rozwój innowacyjnych technologii ubytkowego kształtowania materiałów. Cz. I Obróbka skrawaniem*, Mechanik, nr 8-9, 2002.
- [6] S. LEGUTKO, *Materiały narzędziowe w obróbce skrawaniem*, Mechanik, nr 12, 2004.
- [7] M. WYSIECKI, *Nowoczesne materiały narzędziowe*, WNT, Warszawa, 1997.
- [8] L. PRZYBYLSKI, *Strategia doboru warunków obróbki współczesnymi narzędziami*, Wydawnictwo Politechniki Krakowskiej, Kraków, 2000.
- [9] K. E. OCZOŚ, *Trendy rozwojowe narzędzi skrawających*, Mechanik, nr 1, 2004.
- [10] W. GRZESIK, *Podstawy skrawania materiałów metalowych*, Wydawnictwa NTW, 1998.

Z. ZARAŃSKI, I. ŁOSIK, S. SULEJ, T. DUREJKO

Estimation of Fe-Al materials machinability during longitudinal turning

Abstract. The paper presents machinability results of the materials based on Fe-Al phases. The machinability was estimated on the basis of the chosen indexes. It was possible thanks to force determination and analysis of edges wear and surface roughness for different technological parameters. It was found that Fe-Al materials are very difficult to machining. Machining of these materials can be performed by modern tools and correctly chosen turning parameters.

Keywords: Fe-Al intermetallic phase, machinability, cutting resistance, tool wear, surface geometric structure

Universal Decimal Classification: 621.9