prof.dr hab.inż. Jan DARLEWSKI
Instytut Budowy Maszyn
Politechnika Śląska w Gliwicach

PRÓBA OCENY SKRAWALNOŚCI KRAJOWYCH TWORZYW SZTUCZNYCH WARSTWOWYCH

1. Wstęp

W Instytucie Budowy Maszyn Politechniki Śląskiej prowadzono prace nad określeniem wskaźników skrawalności tworzyw sztucznych warstwowych [1-4]. Badaniami objęto 5 podstawowych gatunków laminatów produkcji Gliwickich Zakładów Tworzyw Sztucznych "ERG", a mianowicie płyty:

- na nośniku papierowym celulozowym z żywicą fenolowo-formaldehydową /PcF/,
- na nośniku tkaninowym celulozowym z żywicą fenolowo-formaldehydową /TcF/,
- na nośniku tkaninowym szklanym z żywicą fenolowo-Formaldehydową /TsF/, epoksydową /TsE/ i melaminową /TsM/, oraz dodatkowo rury zwijane na nośniku tkaninowym szklanym z żywicą epoksydową /TsE/ i silikonową /TsS/.

Zbadano również przykładowo wpływ ilościowy czynników konstytucyjnych i technologicznych tworzywa na wskaźniki skrawalności, biorąc pod uwagę wagową zawartość włókna szklanego w laminacie TsE i czas utwardzania żywicy w laminacie TsF.

Próby przeprowadzono przy trzech sposobach obróbki, najczęściej występujących w produkcji elementów z płyt, jakimi są: przecinanie piłami tarczowymi, wiercenie i toczenie. Określono użytkowe wskaźniki skrawalności: okresową prędkość skrawania, opory skrawania i chropowatość powierzchni obrobionej oraz wskaźnik fizyczny - temperaturę skrawania.

Porównanie kilku materiałów pod względem ich skrawalności polega zwykle na porównaniu konkretnych wskaźników skrawalności, określonych w identycznych warunkach obróbki. Niejednokrotnie przy porównaniu dwóch materiałów okazuje się, że zależnie od przyjętego wskaźnika skrawalności, lub nawet parametrów skrawania przy jego określaniu, raz jeden, raz drugi materiał ma lepszą skrawalność. Trzeba jednak zauważyć, że dla praktyki bardziej celowe może być porównanie wskaźników skrawalności różnych tworzyw ustalonych nie w jednakowych warunkach, lecz dla wartości kryterial-

nych parametrów, odmiennych dla rozmaitych tworzyw. Odnosi się to szczególnie do kryterium stępienia ostrzy h_p pił tarczowych i wierteł, którego wartość przyjmowana jest z uwagi na zapewnienie określonej jakości wyrobu.

Oceniając skrawalność materiałów w aspekcie różnych wskaźników wygodnie jest posługiwać się wartościami względnymi. Przyjmując jedno z tworzyw jako materiał odniesienia "0", wartości względnych wskaźników skrawalności innych tworzyw "i" określić można ze wzorów:

dla wskaźnika okresowej prędkości skrawania:

$$k_{v_{Ti}} = \frac{v_{Ti}}{v_{To}}$$

dla wskaźnika oporów skrawania:

$$k_{Pi} = \frac{P_o}{P_i}, \quad k_{Ni} = \frac{N_o}{N_i}, \quad k_{Mi} = \frac{M_o}{M_i}$$

dla wskaźnika chropowatości powierzchni:

$$k_{Ri} = \frac{R_o}{R_i}$$

dla wskaźnika temperatury skrawania:

$$k_i = \frac{\theta_o - 293}{\theta_i - 293}$$

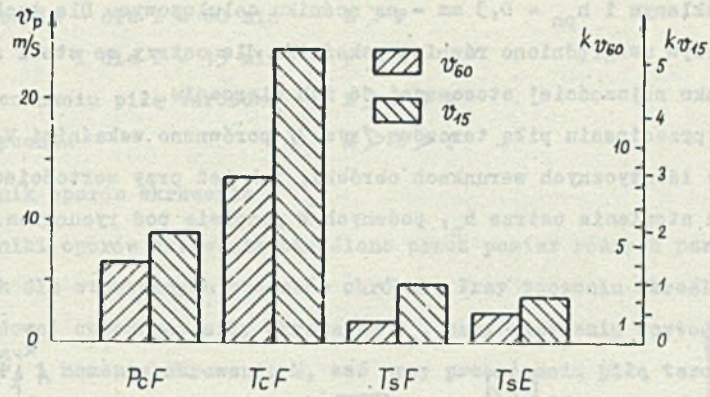
Jeżeli względny wskaźnik skrawalności $k > 1$, to materiał ten ma lepszą skrawalność niż materiał odniesienia, zaś jeśli $k < 1$, to ma gorszą. Jako materiał odniesienia dla badanych płyt laminatowych przyjęto tworzywo szklano-fenolowo - formaldehydowe.

2. Wskaźniki skrawalności

Porównanie różnych wskaźników skrawalności krajowych laminatów przedstawiono w wartościach bezwzględnych i względnych na kolejnych rysunkach 1 - 10.

2.1. Wskaźnik okresowej prędkości skrawania

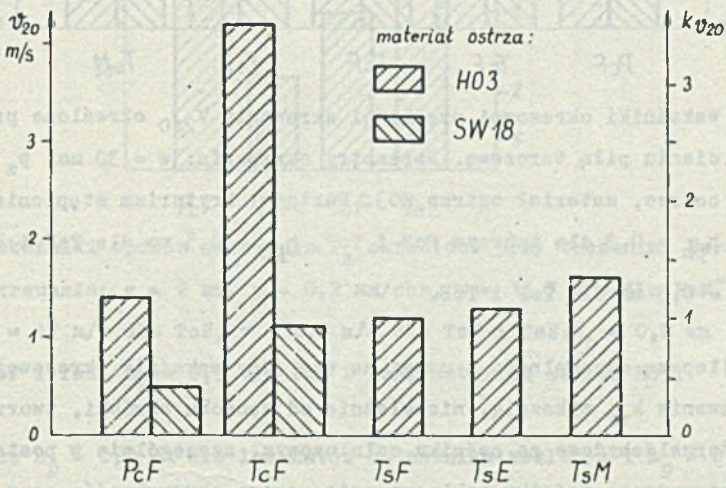
Przy toczeniu /rys.1/ uwzględniono dwa zalecane okresy trwałości os-



Rys.1. Wskaźniki okresowej prędkości skrawania V_{60} i V_{15} określone przy toczeniu. Parametry skrawania: g = 1,5 mm, p = 0,17 mm/obr, h_p = 0,2 mm. Materiał ostrza: węgliki spiekane HO3.

-trzy: T = 60 min - stosowany do płytek z węglików spiekanych lutowanych i T = 15 min - dla płytek wielokrawędziowych mocowanych mechanicznie. Wskaźniki te porównano przy identycznych parametrach obróbki.

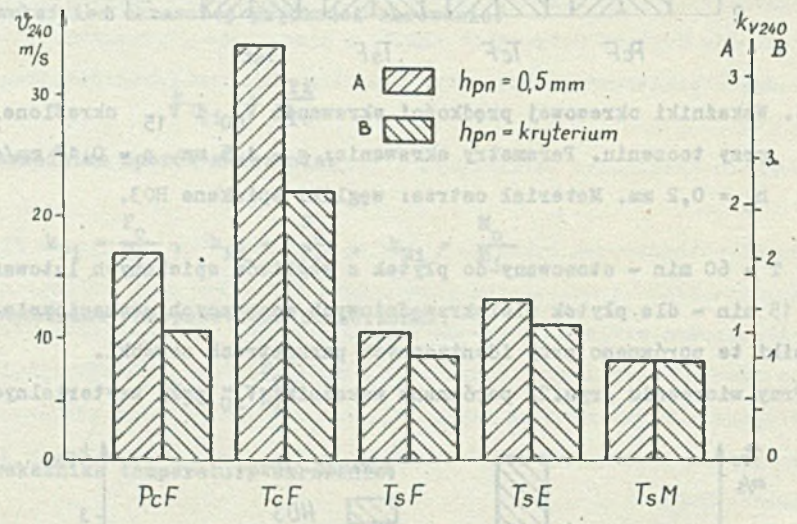
Przy wiorceniu /rys.2/ porównano wskaźniki V_{20} przy kryterialnych



Rys.2. Wskaźniki okresowej prędkości skrawania V_{20} określone przy wierceniu. Parametry skrawania: D = 10 mm, p = 0,1 $\frac{mm}{obr}$, h_{pn} = 0,1mm dla tworzyw TsF, TsE oraz h_{pn} = 0,3 dla PcF i TcF.

wartościach stępienia ostrza na narożu: h_{pn} = 0,1 mm - dla laminatów na nośniku szklanym i h_{pn} = 0,3 mm - na nośniku celulozowym. Dla tych ostatnich tworzyw uwzględniono również wskaźniki dla ostrzy ze stali szybkotnącej, jako najczęściej stosowanej do ich wiercenia.

Przy przecinaniu piłą tarczową /rys.3/ porównano wskaźniki V_{240} zarówno przy identycznych warunkach obróbki, jak też przy wartościach kryterialnych stępienia ostrza h_p, podanych w podpisie pod rysunkiem.



Rys.3. Wskaźniki okresowej prędkości skrawania V_{240} określone przy przecianiu piłą tarczową. Parametry skrawania: w = 30 mm, p_z = 0,1mm/ostrze, materiał ostrza HO3. Wartości kryterium stępienia ostrza: h_{pn} = 0,3 dla tworzyw PcF i TcF, h_{pn} = 0,5 mm dla TsM i $h_{pn}^{\bullet} + h_{ps}$ = 0,5 mm dla TsF i TsE.

Najlepszą skrawalność z uwagi na względny wskaźnik okresowej prędkości skrawania k_{vT} wykazują, niezależnie od sposobu obróbki, tworzywa fenolowo-formaldehydowe na nośniku celulozowym, szczególnie w postaci tkaniny. Tworzywa na nośniku szklanym mają gorszą skrawalność, przy czym wpływ żywicy jest przy każdym sposobie obróbki inny. Porównując 3 gatunki laminatów szklanych z żywicami: fenolowo-formaldehydową /F/, epoksydową /E/ i melaminową /M/ kolejność w miarę malejących wskaźników skrawalności

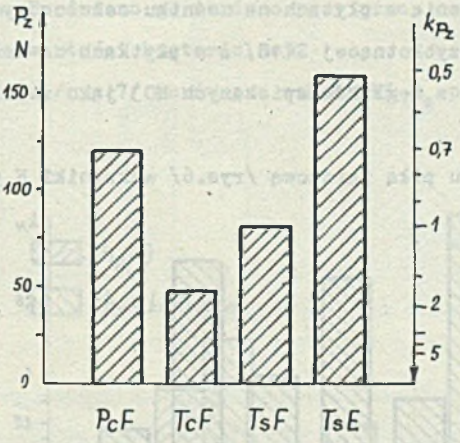
k_{vT} jest następująca:

- przy toczeniu - dla T = 60 min E > F
  i dla T = 15 min F > E
- przy przecinaniu piłą tarczową E > F > M
- przy wierceniu M > E > F

2.2. Wskaźnik oporów skrawania

Wskaźniki oporów skrawania określono przez pomiar różnych parametrów, znamiennych dla stosowanych sposobów obróbki. Przy toczeniu określono wartości składowej obwodowej siły skrawania P_z, przy wierceniu wartości siły poosiowej P_x i momentu skrawania M, zaś przy przecinaniu piłą tarczową wartości mocy skrawania N.

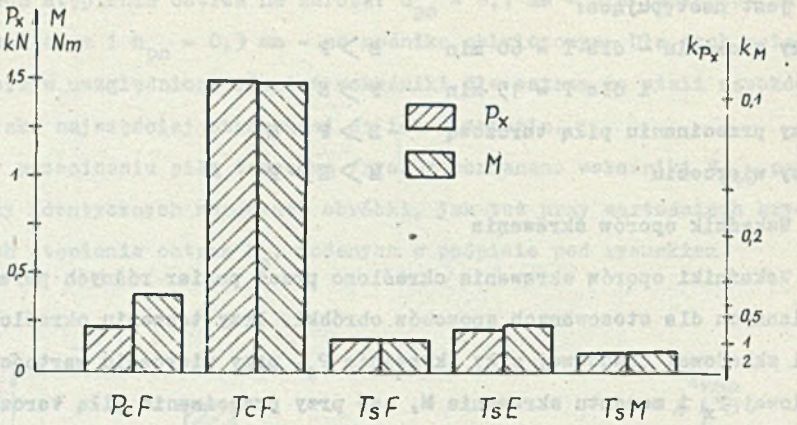
Przy toczeniu /rys.4/ wskaźniki P_z porównano przy wartościach stępie-



Rys.4. Wskaźniki oporów skrawania P_z określone przy toczeniu. Parametry skrawania: g = 2 mm, p = 0,2 mm/obr, v = 11,7 m/s dla PcF, v = 17 m/s dla TcF, v = 2,8 m/s dla TsF i TsE; h_p = 0,2 mm dla TsF i TsE, h_p = 0,5 dla PcF i TcF, materiał ostrza HO3.

nia ostrza h_p = 0,2 mm dla laminatów na nośniku szklanym i h_p = 0,5 na nośniku celulozowym oraz przy różnych prędkościach skrawania dla każdego tworzywa, zbliżonych do prędkości zalecanych.

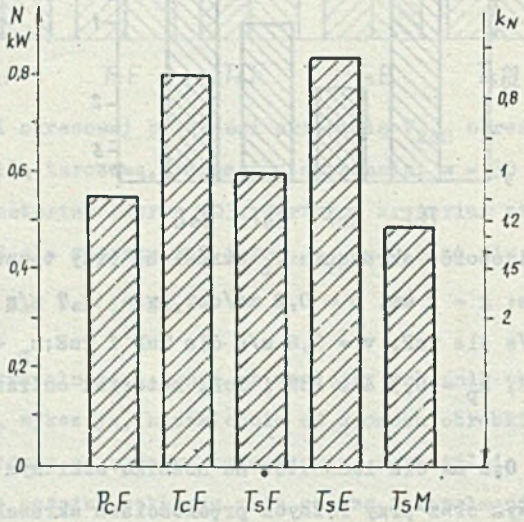
Przy wierceniu /rys.5/ oba wskaźniki P_x i M porównano przy kryterialnych wartościach stępienia ostrza, podobnie jak przy określeniu wskaźnika



Rys.5. Wskaźniki oporów skrawania P_x i M określone przy wierceniu. Parametry skrawania: v = 0,9 m/s, p = 0,1 mm/obr, D = 10 mm, h_{pn} = = 0,1 mm dla TsF, TsE i TsM, h_{pn} = 0,3 mm dla PcF i TcF.

V_{20}, przy czym wiercenie w płytach na nośniku celulozowym przeprowadzono wiertłami ze stali szybkotnącej SW18, a w płytkach na nośniku szklanym wiertłami z ostrzami z węglików spiekanych HO3 jako zwykle stosowanymi do tej obróbki.

Przy przecinaniu piłą tarczową /rys.6/ wskaźniki N porównano przy



Rys.6. Wskaźniki oporów skrawania N określone przy przecinaniu piłą tarczową. Parametry skrawania: v = 10,5 m/s, w = 23 mm, p_z = 0,054mm/ /ostrze, z = 78, h_p = 001 mm, materiał ostrza HO3.

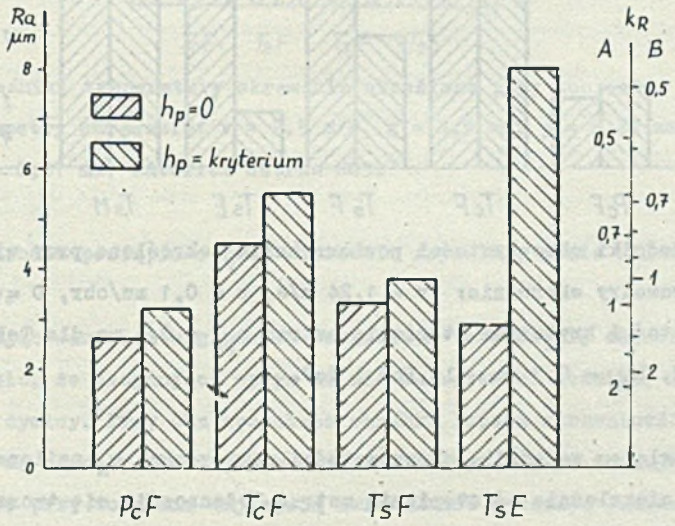
identycznych parametrach obróbki.

Porównując względne wskaźniki oporów skrawania okazuje się, że zależności między nimi kształtują się odmiennie niż zależności przy rozpatrywaniu względnego wskaźnika okresowej prędkości skrawania. Dla tworzyw na nośniku szklanym niezależnie od sposobu obróbki, kolejność jest stała: najlepszą skrawność wykazują laminaty z żywicą melaminową, średnią z fenolowo-formaldehydową, a najgorszą z epoksydową, natomiast dla tworzyw na nośniku celulozowym decydujące znaczenie ma sposób obróbki. Odnosi się to szczególnie do tworzywa celulozowo-fenolowo-formaldehydowego, które przy wierceniu wykazuje zdecydowanie najniższą wartość wskaźnika k_p ze wszystkich porównywanych materiałów, zaś przy toczeniu najwyższą.

2.3. Wskaźnik chropowatości powierzchni

Wskaźnik chropowatości powierzchni obrobionej określono przy toczeniu i wierceniu. Porównano go zarówno przy pracy ostrzem niestępionym jak też stępionym do wartości kryterialnej.

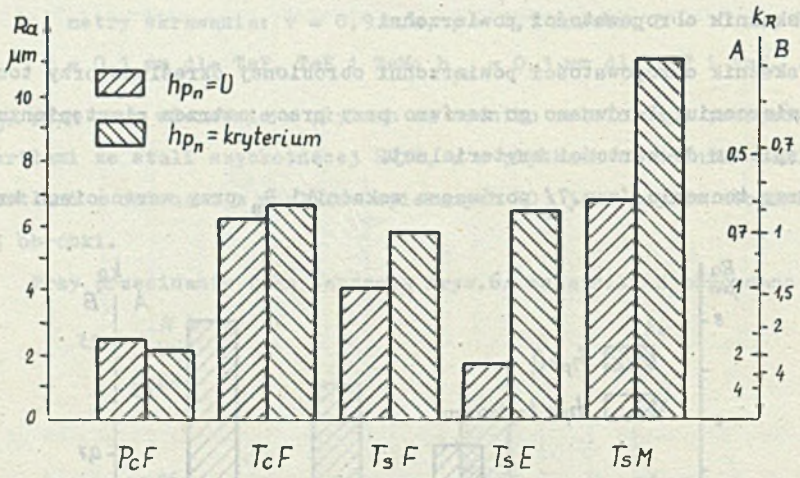
Przy toczeniu /rys.7/ porównano wskaźniki R_a przy wartościach kryter-



Rys.7. Wskaźniki chropowatości powierzchni R_a określone przy toczeniu. Parametry skrawania: g = 1 mm, p = 0,2 mm/obr, v = 12 m/s dla tworzyw PcF i TcF, v = 2,8 m/s dla TsF i TsE; wartości kryterium stępienia ostrza h_p = 0,2 mm dla TcF, TsF i TsE, h_p = 0,3 dla PcF; materiał ostrza HO3.

ialnych stępienia ostrza: h_p = 0,3 mm dla tworzyw na nośniku papierowym i h_p = 0,2 mm na nośniku tkaninowym. Pozostałe parametry obróbki były stałe za wyjątkiem prędkości skrawania, które przyjęto v = 12 m/s dla tworzyw na nośniku celulozowym i v = 2,8 m/s na nośniku szklanym, jako zbliżone do zalecanych.

Przy wierceniu /rys.8/ porównano wskaźniki R_a przy wartościach kryterialnych stępienia ostrza. Podobnie też, jak przy określaniu wskaźników oporów skrawania zastosowano wiertła ze stali szybkotnącej względnie z ostrzami z węglików spiekanych.



Rys.8. Wskaźniki chropowatości powierzchni R_a określone przy wierceniu. Parametry skrawania: v = 1,24 m/s, p = 0,1 mm/obr, D = 10 mm; wartości kryterium stępienia ostrza h_{pn} = 0,1 mm dla TsF, TsE i TsM, h_{pn} = 0,3 mm dla PcF i TcF.

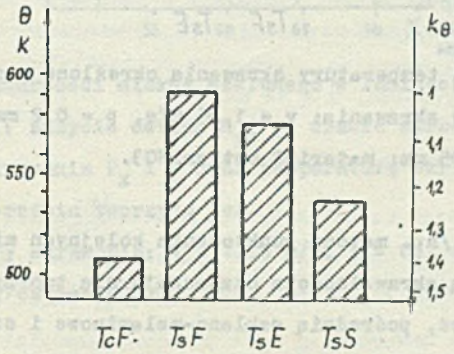
Pod względem wskaźnika chropowatości powierzchni k_R najlepszą skrawalnością, niezależnie od stępienia ostrza, odznaczają się tworzywa papierowe celulozowo-fenolowo-formaldehydowe, następnie gorszą tworzywa fenolowo-formaldehydowe na nośniku szklanym i celulozowym, najgorszą zaś szklano-melaminowe. Tworzywa tkaninowe szklano-epoksydowe wykazują dużą zależność chropowatości od stępienia ostrza i stąd ich wskaźnik względny chropowatości powierzchni przy pracy ostrzem niestępionym

należy do najlepszych, zaś przy ostrzu stępionym do wartości kryterialnej do najgorszych.

2.4. Wskaźnik temperatury skrawania

Wskaźnik temperatury skrawania określono przy toczeniu i wierceniu tworzyw wyłącznie na nośniku tkaninowym. Pomiar temperatury został przeprowadzony za pomocą termopary obcej umieszczonej w ostrzu narzędzia w odległości l = 0,75 mm od krawędzi skrawającej.

Przy toczeniu /rys.9/ wskaźniki porównano dla identycznych warunków



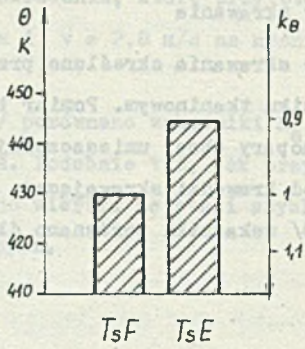
Rys.9. Wskaźniki temperatury skrawania określone przy toczeniu. Parametry skrawania: v = 2,5 m/s, g = 1,5 mm, p = 0,21 mm/obr, h_p = 0,07 mm; materiał ostrza HO3.

obróbki. Podobnie postąpiono przy wierceniu /rys.10/, gdzie badano tylko dwa laminaty.

Porównując wartości względnych wskaźników temperatury skrawania można stwierdzić, że decydujący wpływ na nie ma materiał nośnika, mniejszy zaś gatunek żywicy. Przy obu sposobach obróbki lepszą skrawalność wykazują laminaty na nośniku celulozowym niż na szklanym. Wpływ rodzaju żywicy zróżnicowany: przy toczeniu najlepszą skrawalność wykazują laminaty z żywicą silikonową, średnią z epoksydową, a najgorszą z fenolowo-formaldehydową, przy wierceniu natomiast te ostatnie wykazują lepszą skrawalność od epoksydowych.

2.5. Próba ogólnej oceny skrawalności

Oceniając łącznie zestawione wskaźniki skrawalności przy 3 zbadanych



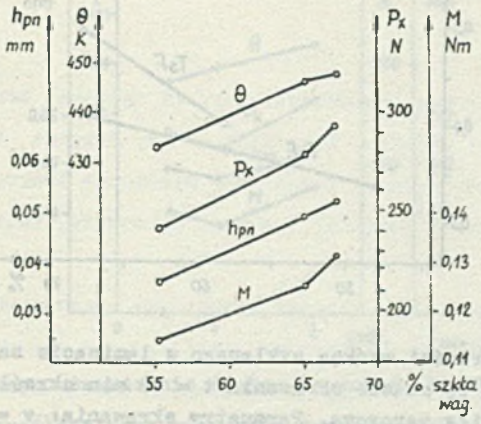
Rys.10. Wskaźniki temperatury skrawania określone przy wierceniu. Parametry skrawania: v = 1,25 m/s, p = 0,2 mm/obr, D = 10 mm, $h_{pn} \leqslant 0,05$ mm; materiał ostrza HO3.

sposobach obróbki /np. metodą punktowania kolejnych miejsc/ można stwierdzić, że najlepszą skrawalnością odznaczają się tworzywa celulozowo-fenolowo-formaldehydowe, pośrednią szklano-melaminowe i szklano-epoksydowe, najgorszą zaś szklano-fenolowe. Rozpatrując korelacje pomiędzy różnymi wskaźnikami skrawalności obserwuje się, że tworzywa mające wysokie względne wskaźniki okresowej prędkości skrawania mają niskie względne wskaźniki oporów skrawania i na odwrót. Jest to wręcz przeciwnie niż w przypadku skrawalności żeliw i stali. Wytłumaczeniem tego faktu może być tylko przebieg procesu tworzenia wióra i ścierne działanie nośnika na ostrze narzędzia; przy większych oporach skrawania ma miejsce oddzielanie wióra raczej związanego, przy niższych zaś oporach zwykle ulega rozkruszeniu żywica dopuszczając do większego kontaktu sprężystego nośnika /głównie szklanego/ z ostrzem.

2.6. Wpływ udziału wagowego szkła w laminacie

Wpływ ilościowy podstawowego składnika konstrukcyjnego jakim jest tkanina szklana na wskaźniki skrawalności badano przy wierceniu i przecinaniu piłą tarczową.

Przy wierceniu płyty szklano-epoksydowej /TsE/ /rys.11/ określono

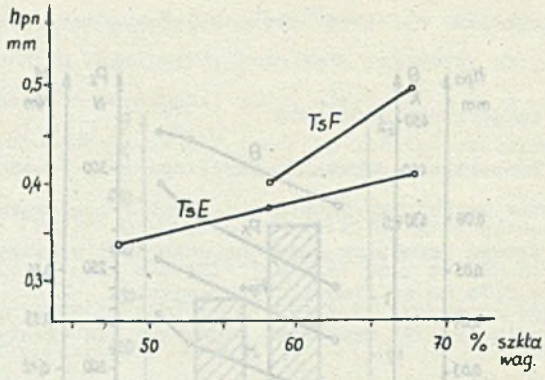


Rys.11. Wpływ zawartości włókna szklanego w laminacie na wskaźniki skrawalności: zużycie ostrza h_{pn} po czasie skrawania t = 12,9 min, opory skrawania P_x i M oraz temperaturę skrawania θ określone przy wierceniu tworzywa TsE.
Parametry skrawania: v = 1,25 m/s, p = 0,2 mm/ostrze, D = 10 mm, materiał ostrza HO3.

wpływ udziału wagowego szkła na zużycie ostrza /reprezentowane przez stępienie naroża h_{pn}/, opory skrawania /siłę posiową P_x i moment skrawania M/ oraz temperaturę skrawania θ /osiągniętą po czasie t = 1,3 s od rozpoczęcia skrawania/.

Przy przecinaniu piłą tarczową /rys.12/ płyt szklano-epoksydowych /TsE/ i szklano-fenolowo-formaldehydowych /TsF/ określono wskaźnik zużycia ostrza w postaci wartości stępienia naroża ostrza na powierzchni przyłożenia h_{pn}, osiągniętego po stałym czasie skrawania t = 19 min.

Analiza przedstawionych wyników wskazuje, że wraz ze wzrostem zawartości włókna szklanego w laminacie skrawalność się pogarsza, gdyż rosną wartości bezwzględnych wskaźników skrawalności: zużycia ostrza, oporów skrawania i temperatury skrawania. Badania te potwierdziły również gorszą skrawalność z uwagi na wskaźnik trwałości ostrza tworzyw szklanych fenolowo-formaldehydowych od epoksydowych.



Rys.12. Wpływ zawartości włókna szklanego w laminacie na wskaźniki zużycia ostrza h_{pn} po czasie skrawania t = 19 min określone przy przecinaniu płyt piłą tarczową. Parametry skrawania: v = 24,3 m/s, p_z = 0,05 mm/ostrze, w = 12 mm, D = 350 mm, materiał ostrza H03.

2.7. Wpływ czasu utwardzania żywicy

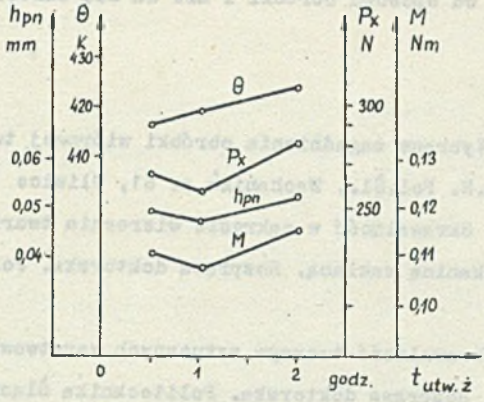
Wpływ podstawowego czynnika technologicznego laminatu jakim jest czas utwardzania żywicy badano na płytach tkaninowych szklanych z żywicą fenolowo-formaldehydową /TsF/. Przygotowano trzy rodzaje płyt z żywicą niedotwardzoną /czas utwardzania t_u = 30 min/, normalnie utwardzoną /t_u = 1 godz./ i przetwardzoną /t_u = 2 godz./.

Przy wierceniu /rys.13/ określono wpływ czasu utwardzania żywicy na zużycie ostrza h_{pn}, opory skrawania P_x i M oraz temperatury skrawania θ, zaś przy przecinaniu piłą tarczową /rys.14/ tylko na zużycie ostrza h_{pn}.

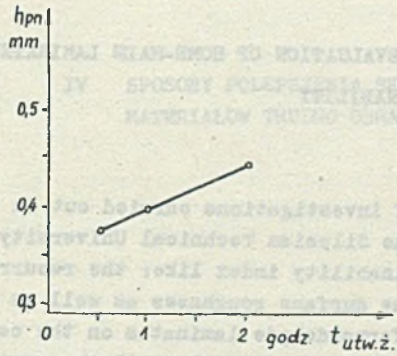
Z analizy przedstawionych wykresów wynika, że tworzywo przetwardzone wykazuje gorszą od normalnego skrawalność z uwagi na wyższe wartości bezwzględnych wskaźników skrawalności: zużycia ostrza, oporów skrawania i temperatury skrawania, natomiast skrawalność tworzywa niedotwardzonego w porównaniu do normalnego może być uznana albo za lepszą albo za gorszą zależnie od rozpatrywanego wskaźnika lub sposobu obróbki.

3. Wnioski

Podsumowując przedstawione wyniki badań skrawalności tworzyw sztucznych warstwowych można stwierdzić, że zależy ona w podstawowej mierze od nośnika. Do łatwo obrabialnych, z uwagi na istotny dla praktyki produk-



Rys.13. Wpływ czasu utwardzania żywicy na wskaźniki skrawalności h_p, P_x, M i θ określone przy wierceniu tworzywa TsF. Warunki skrawania jak dla rys.11.



Rys.14. Wpływ czasu utwardzania żywicy na wskaźniki zużycia ostrza h_p określone przy przecinaniu piłą tarczową płyt z tworzywa TsF. Warunki skrawania jak dla rys.12.

cyjnej wskaźnik zużycia ostrza, można zaliczyć tworzywa na nośniku celulozowym tkaninowym i papierowym, zaś do trudno obrabialnych tworzywa na nośniku szklanym. Dalsze zróżnicowanie skrawalności związane jest z zawartością procentową i rodzajem żywicy. Wśród laminatów szklanych najlepszą skrawalność z uwagi na wskaźnik zużycia ostrza wykazują laminaty o niższych zawartościach nośnika, natomiast wpływ rodzaju żywicy jest zróż-

nicowany zależnie od sposobu obróbki i nie da się określić ogólnych prawidłowości.

4. Literatura

1. J. Darlewski: Wybrane zagadnienia obróbki wiórowej tworzyw sztucznych warstwowych. Z.N. Pol.Śl., Mechanika z. 61, Gliwice 1977.
2. M. Błaszczak.: Skrawalność w zakresie wiercenia tworzyw sztucznych wzmocnionych tkaniną szklaną. Rozprawa doktorska. Politechnika Śląska, Gliwice 1971.
3. P. Molerus.: Skrawalność tworzyw sztucznych warstwowych przy cięciu piłą tarczową. Rozprawa doktorska. Politechnika Śląska, Gliwice 1971.
4. H. Słupik.: Skrawalność tworzyw sztucznych warstwowych w zakresie toczenia. Rozprawa doktorska. Politechnika Śląska, Gliwice 1976.

Jan DARLEWSKI

AN ATTEMPT OF EVALUATION OF HOME-MADE LAMINATED PLASTICS MACHINABILITY

Summary

The results of investigations carried out in the Institute of Machine Building of the Silesian Technical University in Gliwice are given in the form of machinability index like: the recurrent cutting speed, cutting resistance, the surface roughness as well as the cutting temperature for the phenolformaldehyde laminates on the cellulose, paper, and fabric carriers as well as on the glass cloth carrier and the epoxide and melamine ones on the glass cloth carrier. The investigations were carrid out at various methods of machining: turning, drilling and slitting with the circular saws.