FOLIA FORESTALIA POLONICA
Seria B, zeszyt 28, 1997

# BADANIA SZLIFOWANIA WĄSKICH PŁASZCZYZN PŁYT MDF SPECJALNĄ ŚCIERNICĄ

*Alfred Jakubowski, Stanisław Miklaszewski, Tomasz Grobelny, Irena Swaczyna*

Katedra Konstrukcji i Technologii Wyrobów z Drewna
Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie

Udoskonalenie procesów szlifowania materiałów drewnopochodnych można osiągnąć dzięki nowym narzędziom ściernym skutecznie zastępującym utrudniające automatyzację szlifowania szeroko stosowane płótna i papiery ścierne. Do przeprowadzenia badań procesu szlifowania wąskich płaszczyzn płyt MDF zastosowano opracowane przez autorów pracy ściernice odróżniające się od tradycyjnych wyrobów ściernych metodą wytwarzania i charakterystyką. Otrzymane wyniki potwierdzają przydatność opracowanych narzędzi do szlifowania płyt MDF z dużą wydajnością skrawania, która praktycznie nie zmienia się w ciągu okresu trwałości ściernicy.

**Słowa kluczowe:** szlifowanie, MDF, ściernica, struktura, trwałość, samoostrzenie, obciąganie, prędkość krytyczna

## WSTĘP

Płyty MDF są dostarczane do odbiorcy jako materiał oszlifowany drobnym papierem ściernym o ziarnistości powyżej P120 i dalsze ich szlifowanie nie jest wymagane. Jednak po wykonaniu cięć manipulacyjnych wąskie powierzchnie wykazują znaczną chropowatość. Nierówności bocznych powierzchni usuwane są często metodą ręcznego szlifowania przy użyciu papierów i płócien ściernych. Jakość takiej obróbki nie zawsze odpowiada współczesnym wymaganiom dokładności końcowej obróbki płyt. Ponadto istotną wadą papierów i płócien ściernych jest ich krótki okres trwałości, co powoduje częstą wymianę narzędzi i w znacznym stopniu utrudnia automatyzację szlifowania na liniach mechanicznej obróbki płyt.

W ostatnich latach podjęto próby wytwarzania nowych narzędzi ściernych mogących skutecznie zastąpić papiery i płótna ścierne (Jakubowski 1974, Jacjuk 1975, Jacjuk i in. 1978). W Katedrze Konstrukcji i Technologii Wyrobów z Drewna SGGW opracowano technologię wytwarzania specjalnych narzędzi ściernych w postaci ściernic tarczowych płaskich przeznaczonych do szlifowania wąskich powierzchni płyt MDF. Do wyrobu ściernic użyto ziarn węglika krzemu jako materiału ściernego oraz żywicy nowolakowej jako spoiwa. Opracowane receptury mas ściernych i procesy technologiczne ich wytwarzania pozwalają na produkowanie ściernic, które w odróżnieniu od tradycyjnych ściernic do obróbki metali nie zacierają się podczas szlifowania tworzyw drzewnych. Zdolności

skrawne ściernicy podczas szlifowania płyt ciągle się odnawiają, a wysokość skrawanej warstwy i wydajność procesu praktycznie nie zmieniają się, natomiast wskutek nierównomiernego zużywania się ściernicy chropowatość obrabianej powierzchni stopniowo wzrasta. Aby sprostać wymogom co do jakości i dokładności szlifowanej powierzchni należy ściernicę periodycznie obciągać. W rezultacie tego zabiegu z roboczej powierzchni narzędzia zdejmuje się cienką warstwę ścierniwa w celu przywrócenia mu właściwości skrawnych lub nadania żądanego kształtu.

Celem badań było ustalenie optymalnych prędkości szlifowania i posuwu oraz twardości narzędzia dla różnych wysokości skrawanej warstwy w procesie szlifowania płyt MDF opracowaną ściernicą.

## METODYKA BADAŃ

Do badań przygotowano ściernice o wymiarach 140x25x38 mm, różnej twardości, stałej strukturze N8 i numerze ziarna 36. Do obciągania ściernicy stosowano krążki z hartowanej stali szybkotnącej zamocowane w specjalnych przyrządach. Obciąganie przeprowadzono 2 - 3 krotnym przejściem krążka po powierzchni roboczej narzędzia przy prędkości obwodowej ściernicy równej 10 m/s i ręcznym pionowym przesuwie wrzeciona obrabiarki w przybliżeniu wynoszącym 0,05-0,15 mm/min. Przyjęto, że dopuszczalna końcowa średnica zewnętrzna ściernicy doświadczalnej nie będzie mniejsza niż 120 mm. Jako miernik trwałości narzędzia przyjęto sumaryczną długość szlifowanych elementów między dwoma kolejnymi zabiegami obciągania ściernicy. Koniec okresu trwałości, to jest moment kolejnego obciągania ściernicy, ustalano na podstawie pomiarów chropowatości szlifowanej powierzchni. Przyjęto, że przekroczenie średniej wysokości nierówności $R_z$=50 μm powoduje konieczność obciągania narzędzia. W przypadku stępienia ziarn ściernych i zalepiania się porów ściernicy wiórami jako koniec okresu trwałości przyjmowano pojawienie się śladów przypaleń na szlifowanej powierzchni.

Przeznaczone do badań próbki o wymiarach 1200x20x19 mm wypiłowano z płyt MDF o grubości 19 mm, gęstości r=638 kg/m$^3$; średniej wytrzymałości na zginanie statyczne $R_g$ = 27,5 MPa i średnim module sprężystości przy zginaniu $E_g$ = 3600 MPa.

Z każdej, liczącej 50 szt. partii, wybierano próbki kontrolne przeznaczone do sprawdzania wysokości skrawanej warstwy oraz kontroli chropowatości szlifowanej powierzchni.

Pomiary chropowatości powierzchni przeprowadzono przy użyciu przyrządu SURFTEST 501 firmy MITUTOYO, wyposażonego w głowicę do odwzorowywania materiałów miękkich. Badanie szlifowania wąskich powierzchni płyt MDF ściernicami wykonano na dolnowrzecionowej frezarce stolarskiej. Konstrukcja obrabiarki i sztywność układu "obrabiarka, narzędzie, obrabiany przedmiot" pozwoliły na skuteczne zastosowanie ściernicy, która podobnie jak frezy nasadzane, mocowana jest na wstawnym trzpieniu. Do elektrycznego silnika napędowego frezarki przyłączono tyrystorowy regulator prędkości INVADA, dzięki czemu obroty wrzeciona można było zmieniać bezstopniowo w zakresie ustalonym planem doświadczeń. Do posuwu próbek prowadzonych wzdłuż prowadnicy zastosowano dostawny mechanizm posuwowy ETZ zapewniający 8 prędkości posuwu w zakresie 2 do 30 m/min. Wysokość skrawanej warstwy regulowano odpowiednim ustawieniem prowadnicy, a dokładność ustawienia kontrolowano czujnikiem zegarowym z dokładnością do 0,01 mm. Pewność przesuwania próbek uzyskiwano dzięki dociskom rolkowym działającym ze stałą siłą w kierunku stołu i prowadnicy.

**Tabela 1**

**Table 1**

Wartości wejściowe

Input values

| Badane czynniki<br>Examined factor | Oznaczenia<br>Symbols<br>unormowane standarized | rzeczywiste<br>real | Zakres zmienności<br>Range of changes<br>$X_{kmin}$-$X_{kmax}$ | Przedział zmienności<br>Step of changes | $-\alpha$ | -1 | 0 | 1 | $+\alpha$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Prędkość skrawania<br>Grinding speed<br>[m/s] | $X_1$ | v | 15-35 | 5 | 15 | 20 | 25 | 30 | 35 |
| Prędkość posuwu<br>Feed rate<br>[m/min] | $X_2$ | u | 6-18 | 3 | 6 | 9 | 12 | 15 | 18 |
| Wysokość skrawanej warstwy<br>Thickness of the removed layer<br>[mm] | $X_3$ | h | 0,05-0,25 | 0,05 | 0,05 | 0,10 | 0,15 | 0,20 | 0,25 |
| Twardość ściernicy<br>Grinding wheel hardness<br>[MPa] | $X_4$ | H | 100-220 | 30 | 100 | 130 | 160 | 190 | 220 |

## PLAN BADAŃ I JEGO REALIZACJA

Zgodnie z celem badań jako wielkości wejściowe przyjęto następujące cztery czynniki: prędkość skrawania, prędkość posuwu, wysokość skrawanej warstwy i twardość ściernicy.

Do wyznaczenia modelu matematycznego obiektu doświadczeń wybrano plan statyczny zdeterminowany poliselekcyjny rotalno-uniformalny PS/DS-P:λ (λ), który w znacznym stopniu ułatwia techniczno-organizacyjne przygotowanie badań odznaczających się znaczną liczbą czynników zmiennych i nieliniowymi zależnościami wyjściowej funkcji (Polański 1984).

Plan PS/DS-P:λ (λ) dla i=4 charakteryzują następujące wielkości: $\alpha=2$, $n_k=2^i=16$, $n_\alpha=2xi=8$, $n_o=7$;

gdzie: i - liczba wielkości wejściowych, $\alpha$ – ramię gwiezdne, $n_k$; $n_\alpha$; $n_o$ – liczby układów odpowiednie dla jądra planu, punktów gwiezdnych i centrum planu. Łączna liczba układów planu wynosi: $n=n_k+n_\alpha+n_o=31$.

Na podstawie określonych w tabeli 1 wielkości wejściowych została sporządzona wyżej wyznaczona liczba układów planu doświadczeń w sposób zapewniający otrzymanie adekwatnej funkcji aproksymującej.

W toku realizacji planu doświadczeń dla każdego z układów przeprowadzono pomiary długości szlifowania L odpowiadające okresom trwałości ściernicy.

Uwzględniając tradycje i zalecenia wynikające z analizy podstaw teoretycznych zjawisk występujących w procesie szlifowania materiałów i łatwość optymalizacji otrzymanych wyników przyjęto model matematyczny w postaci wielomianu drugiego stopnia z współdziałaniami pierwszego rzędu. Po obliczeniu współczynników wielomianu aproksymującego i przeprowadzeniu za pomocą testu t weryfikacji ich istotności otrzymano równanie w postaci:

$$L = 1521{,}3+27{,}1X_1 - 133X_2 - 409{,}9X_3 + 21{,}3X_4 + 113{,}1X_1X_2 - 54{,}4X_2X_3 + 39{,}4X_2X_4 - \\ - 206{,}9X_12 + 119{,}3X_22 - 34{,}2X_32 - 234{,}5X_42 \quad (1)$$

Po uwzględnieniu relacji normowania równanie aproksymujące 1 przyjmie postać:

$$L = -8553 + 328{,}82v + 69{,}14u + 250{,}2h + 78{,}63H + 7{,}54v{\cdot}u - 362{,}46u{\cdot}h + 0{,}44u{\cdot}H - \\ -8{,}28v^2 - 13{,}25u^2 - 13664h^2 - 0{,}26H^2 \quad (2)$$

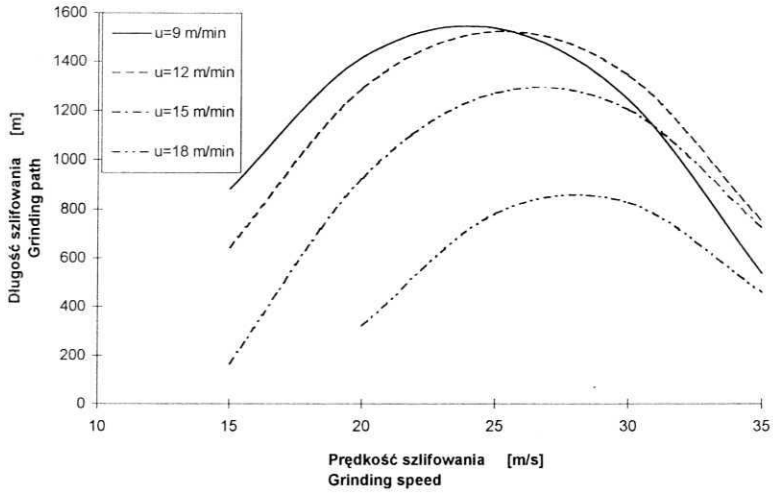
Weryfikacja przeprowadzona za pomocą testu F stwierdza adekwatność otrzymanego równania.

## ANALIZA WYNIKÓW BADAŃ

Na podstawie równania aproksymującego 2 wyznaczono zależności długości szlifowania w ciągu okresu trwałości ściernicy od badanych czynników (rysunki 1 do 5).

W trakcie szlifowania z różnymi prędkościami posuwu długość szlifowania w miarę zwiększania prędkości skrawania początkowo zwiększa się, osiąga maksimum, a następnie zmniejsza się (rys. 1).

Każdą z przedstawionych na rysunku 1 krzywych można rozdzielić na dwie części, w których przebieg szlifowania ma różny charakter. Pierwsza część krzywej charakteryzuje warunki pracy ściernicy, które sprzyjają jej samoostrzeniu. Wzrost długości szlifowania wytłumaczyć można zmniejszaniem się grubości skrawanych wiórów i siły szlifowania




**Rys. 1.** Zależność długości szlifowania od prędkości skrawania przy różnych prędkościach posuwu dla H = 160 MPa, h = 0,15 mm

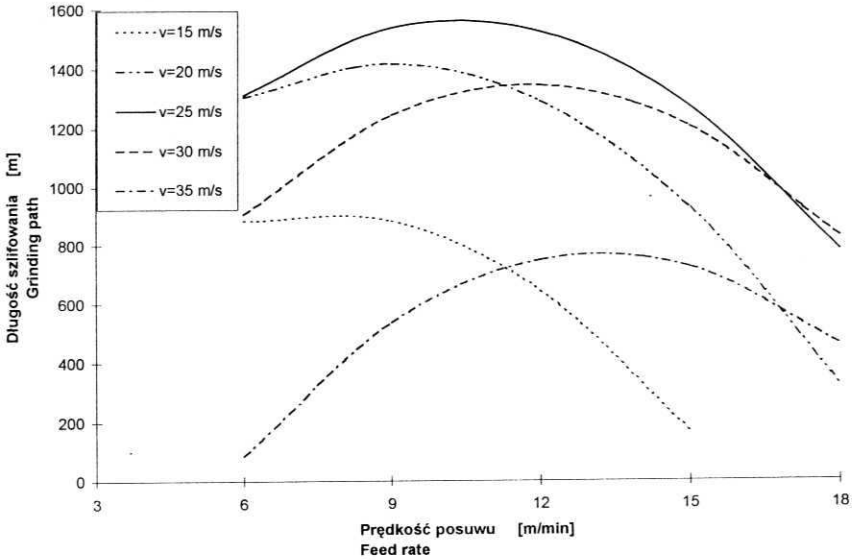
**Fig. 1.** Relation between grinding path and grinding speed at different feed rates for H = 160 MPa, h = 0.15 mm

wskutek wzrostu prędkości skrawania. Zmniejszenie sił działających na skrawające ziarna ścierne zmniejsza intensywność niszczenia utrzymującego je spoiwa, powodując wzrost trwałości ściernicy. Po osiągnięciu pewnego maksimum, druga część krzywej opisuje proces w którym długość szlifowania maleje. Zjawisko to można tłumaczyć tym, że dalsze zwiększanie prędkości skrawania powoduje zmniejszenie sił działających na ziarna ścierne na tyle, że nie mogą one zniszczyć spoiwa. Stępione ziarna pozostają na roboczej powierzchni ściernicy. Przy większych prędkościach szlifowania następuje intensywne tępienie ziarn ściernych skracające w znacznym stopniu czas użytkowania narzędzia.

Prędkość szlifowania odpowiadająca największemu okresowi trwałości ściernicy przyjmujemy jako prędkość krytyczną; prędkości mniejsze i większe nazwiemy odpowiednio podkrytyczną i nadkrytyczną. Krytyczna prędkość szlifowania zapewnia optymalne zużycie narzędzia, gdyż przypada na przejściowy okres pracy ściernicy tj. okres między fazą samoostrzenia a tępienia.

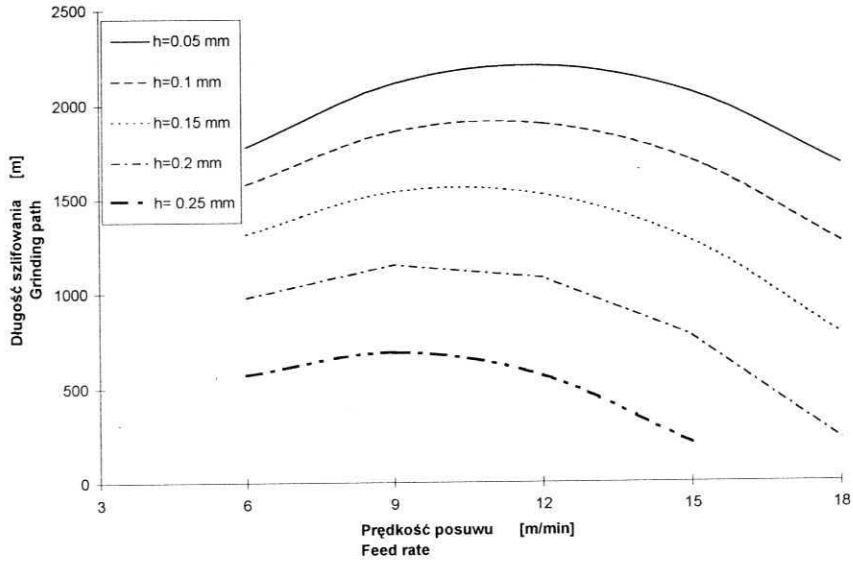
Z analizy wykresów przedstawionych na rysunku 1 wynika, że dla każdej prędkości posuwu otrzymano różne wartości największego okresu trwałości i odpowiadające mu różne prędkości krytyczne. Na przykład, przy prędkości posuwu u = 9 m/min największy okres trwałości ściernicy wyrażony długością szlifowania równą 1580 m uzyskano dla krytycznej prędkości skrawania v = 23,6 m/s. Natomiast dla prędkości posuwu u = 18 m/min okres trwałości zmniejszył się do 870 m długości szlifowania, a prędkość krytyczna wyniosła 28 m/s. Zmniejszenie okresu trwałości i zwiększenie krytycznej prędkości skrawania jest wynikiem zwiększenia grubości skrawanych wiórów powodowanym wzrostem prędkości posuwu.

Na rysunkach 2 i 3 przedstawiono zależność długości szlifowania od prędkości posuwu dla różnych prędkości szlifowania i różnych wysokości skrawanej warstwy.




**Rys. 2.** Zależność długości szlifowania od prędkości posuwu przy różnych prędkościach skrawania dla H = 160 MPa, h = 0,15 mm

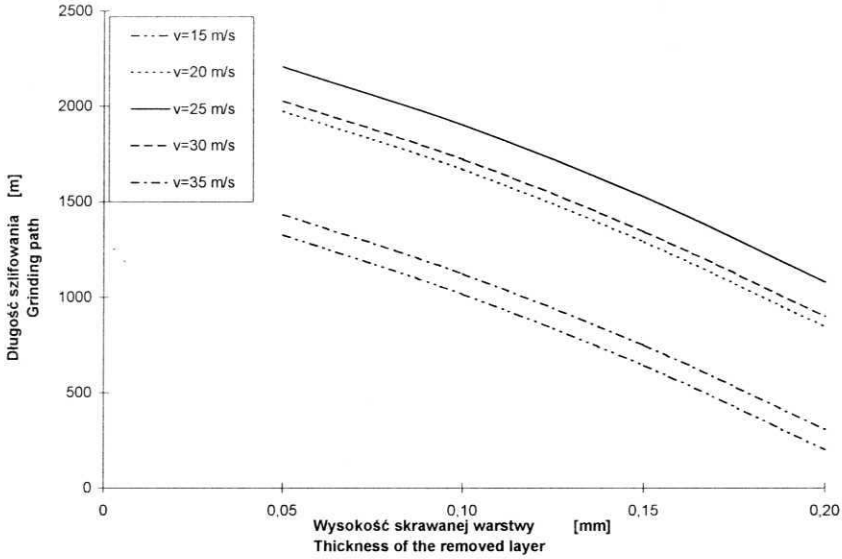
**Fig. 2.** Relation between grinding path and feed rate at different grinding speeds for H = 160 MPa, h = 0.15 mm




**Rys. 3.** Zależność długości szlifowania od prędkości posuwu przy różnych wysokościach skrawanej warstwy dla H = 160 MPa, v = 25 m/s

**Fig. 3.** Relation between grinding path and feed rate at different thickness of the removed layer for H = 160 MPa, v = 25 m/s

Z rysunku 2 wynika, że prędkość posuwu osiąga optymalne wartości zależne od warunków obróbki. Zjawisko to, którego treść fizyczna została wyjaśniona wyżej można tłumaczyć tym, że przy małych prędkościach posuwu, wskutek nieznacznej grubości skrawanych wiórów, stępione ziarna ścierne pozostają na roboczej powierzchni ściernicy, która w takich warunkach pracuje w nadkrytycznej strefie tępienia. Zwiększanie prędkości posuwu wywołuje intensywne zużycie ściernicy i trwałość jej spada. W miarę zwiększania prędkości skrawania zwiększa się również optymalna prędkość posuwu (rysunek 2).



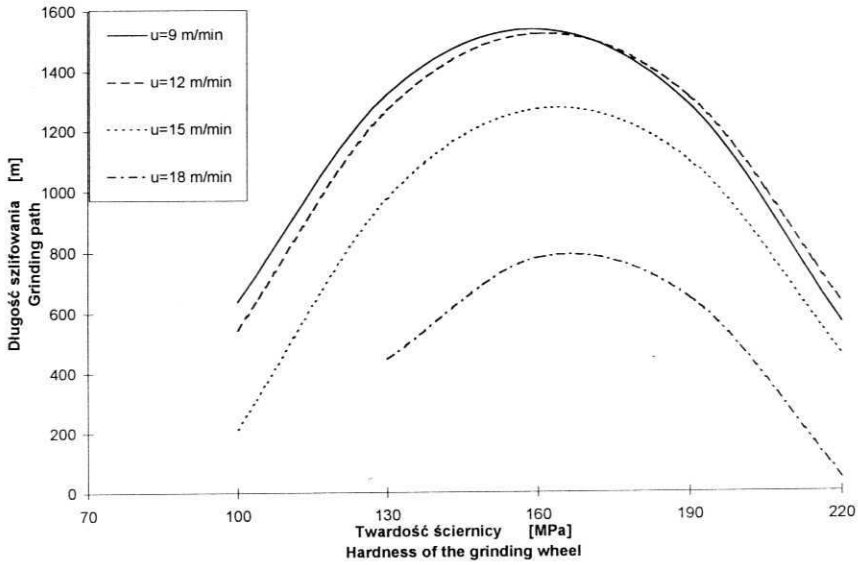

**Rys. 4.** Zależność długości szlifowania od wysokości skrawanej warstwy przy różnych prędkościach skrawania dla H = 160 MPa, u = 12 m/min

**Fig. 4.** Relation between grinding path and thickness of the removed layer at different grinding speeds for H = 160 MPa, u = 12 m/min

Zależność długości szlifowania od prędkości posuwu przy różnych wysokościach skrawanej warstwy ma podobny charakter, co ilustruje rysunek 3. Wartości optymalnych prędkości posuwu zależą od wysokości warstwy skrawanej i zawierają się w granicach od u=9 m/min dla h=0,25 mm do u=12 m/min dla h=0,05 mm.

Z rysunku 4 wynika, że wysokość skrawanej warstwy ma znaczny wpływ na trwałość ściernicy. Na przykład zwiększenie wysokości skrawanej warstwy od 0,05 mm do 0,2 mm przy prędkości skrawania v=25 m/s wywołuje zmniejszanie okresu trwałości wyrażonego długością szlifowania od 2240m do 1100m. Zmniejszenie trwałości ściernicy w związku ze zwiększeniem wysokości skrawanej warstwy wynika ze wzrostu obciążenia ziarn i pogorszenia warunków rozmieszczenia wiórów w porach ściernicy.

Z analizy krzywych przedstawionych na rys. 5 wynika, że charakter zmiany trwałości w zależności od twardości ściernicy jest w przybliżeniu jednakowy dla różnych prędkości posuwu. Ze zwiększeniem twardości narzędzia jego trwałość początkowo wzrasta osiągając wartość maksymalną, co można tłumaczyć zjawiskiem samoostrzenia. A następnie




**Rys. 5.** Zależność długości szlifowania od twardości ściernicy przy różnych prędkościach posuwu dla v = 25 m/s, h = 0,15 mm

**Fig. 5.** Relation between grinding path and hardness of the grinding wheel at different feed rates for v = 25 m/s, h = 0.15 mm

wskutek tępienia trwałość maleje. Tak na przykład, zwiększenie twardości od 100 do 160 MPa przy prędkości posuwu u=12 m/min powoduje wzrost długości szlifowania od 550 do 1520 m. Dalszy wzrost twardości ściernicy wywołuje zmniejszenie trwałości, która spada do 650 m przy H=220 MPa. Optymalna wartość twardości ściernic, w miarę zwiększania prędkości posuwu, nieznacznie wzrasta i przyjmuje wartości od 150 MPa przy u=9 m/min do 170 MPa dla u=18 m/min. Trwałość ściernicy zmniejsza się jednak odpowiednio od 1520 m do 780 m.

## OPTYMALIZACJA PARAMETRÓW SKRAWANIA

Optymalizację równania aproksymującego 1 przeprowadzono na podstawie metody badań optymalizacyjnych podanej w pracach Pizhurina i Rozenblita (1984) oraz Polańskiego (1984). Według tej metody na podstawie równania drugiego stopnia ze współdziałaniami pierwszego rzędu, zawierającego K czynników stosuje się K wielomianów, stanowiących modyfikację ogólnej postaci równania, z których każdy zawiera wyrazy pierwszego i drugiego stopnia tylko jednego czynnika równania wyjściowego. W ten sposób z wielomianu 1 można ułożyć cztery równania. Na podstawie różniczkowania tych równań obliczono optymalne wielkości unormowane czynników $X_{1opt}$, $X_{2opt}$ i $X_{4opt}$ dla różnych wartości czynnika $X_3$. Zamieniając obliczone optymalne wielkości wyjściowe przez wykorzystanie relacji normowania na wartości rzeczywiste i wprowadzając je do

**Tabela 2**

**Table 2**

Optymalne wartości prędkości szlifowania, prędkości posuwu i twardości ściernicy o numerze ziarna 36 przy różnych wysokościach skrawanej warstwy

The optimal grinding speeds, feed rates and hardness of the grinding wheel with the grit size Nº 36 in relation to the thickness of the removed layer

| Wysokość skraw. warstwy Thickness of the removed layer | | Prędkość szlifowania Grinding speed | | Prędkość posuwu Feed rate | | Twardość ściernicy Hardness of the grinding wheel | | Długość szlifów Grinding path |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| $X_3$ | h [mm] | $X_1$ | V [m/s] | $X_2$ | U [m/min] | $X_4$ | H [MPa] | L [m] |
| -2 | 0,05 | 0.050 | 25.2 | -0.056 | 11.8 | 0.040 | 160 | 2208 |
| -1 | 0,10 | -0.022 | 24.9 | -0.322 | 11.0 | 0.018 | 160 | 1911 |
| 0 | 0,15 | -0.095 | 24.5 | -0.588 | 10.2 | -0.004 | 160 | 1562 |
| +1 | 0,20 | -0.168 | 24.1 | -0.854 | 9.4 | -0.026 | 160 | 1158 |
| +2 | 0,25 | -0.240 | 23.8 | -1.120 | 8.6 | -0.049 | 160 | 700 |

równania 1 określa się maksymalną trwałość ściernicy w zależności od wysokości skrawanej warstwy. Wyniki obliczeń zamieszczono w tabeli 2.

## WNIOSKI

1. Stwierdzono przydatność opracowanych ściernic do szlifowania wąskich płaszczyzn płyt MDF z dużą wydajnością skrawania, która praktycznie nie zmienia się w ciągu okresu trwałości narzędzia. Proponowany nowy sposób szlifowania może znacznie ułatwić automatyzację w liniach mechanicznej obróbki płyt.

2. Najlepsze wyniki w warunkach laboratoryjnych osiągnięto przy szlifowaniu ściernicą o twardości 160 MPa.

3. Zostały określone optymalne wartości prędkości skrawania i posuwu w zależności od wysokości skrawanej warstwy dla ściernic o wielkości ziarna nr 36. Najwyższa trwałość ściernicy wyniosła 2200 m długości szlifowanych elementów i osiągnięto ją przy następujących parametrach obróbki:

– wysokość skrawanej warstwy 0,05 mm,

– prędkość szlifowania 25,2 m/s,

– prędkość posuwu 11,8 m/min.

4. Dalsze badania mogą być prowadzone w zakresie szlifowania różnych profili krawędzi płyt przy odpowiednim profilowym kształtowaniu ściernicy. Ze względu na możliwość otrzymania przy szlifowaniu ściernicą powierzchni o wysokim stopniu dokładności wymiarowej ciekawe mogłyby być również wyniki zastosowania opracowanych narzędzi do kalibrowania płyt drewnopochodnych.

Praca wpłynęła do Redakcji w listopadzie 1996

## LITERATURA

Jaciuk A. I. (1975): Novy sposob mekhanichieskojj obrabotki drevesiny. Izd. Vyshha shkola Lvov.

Jaciuk A. I., Jakubowski A., Zajac I. M., Gusti E. J. (1978): Sposob izgotovlenija abrazivnykh krugov. Avtorskoje svidietielstwo SSSR Nr 781043. Moskva.

Jakubowski A. (1974):Razrabotka abrazivnykh krugov z normirovannojj strukturojj dla szlifovanija drevesiny i issledovanije ikh svojjstv. Avtoreferat kandidatskojj dissertacji. Lvov.

Pizhurin A. A., Rozenblit M. S. (1984):Issledovanije processov derevoobrabotki. Izd. Lesnaja Promyshlennost Moskva.

Polański Z.(1984):Planowanie doświadczeń w technice. PWN Warszawa.

## INVESTIGATIONS OF THE GRINDING OF SIDES OF MDF PANELS WITH THE SPECIAL GRINDING WHEEL

Summary

The authors developed a special grinding wheel for grinding sides of MDF panels and examined its application. As the result of rotatable design of experiment, the mathematical model of the research subject was achieved giving the approximation of durability of grinding wheels with different hardness in various machining conditions. The usefulness of the grinding wheels for grinding of MDF panels sides was proved on the ground of the investigations. It was kept for the entire life of the tool. The best results were gained using grinding wheel with the hardness of 160 MPa. The optimal grinding speeds and feed rates for grinding wheel with the grit size N$^{0}$ 36 in relation to the thickness of removed layer were established.

Adres autorów:
Dr inż. Alfred Jakubowski
Dr inż. Stanisław Miklaszewski
Mgr inż. Tomasz Grobelny
Prof. dr hab. Irena Swaczyna
Katedra Konstrukcji i Technologii Wyrobów z Drewna
Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie
02-528 Warszawa, ul. Rakowiecka 26/30 POLAND