

## **BADANIA PROCESU NAGNIATANIA TOCZNEGO DREWNA ŚWIERKOWEGO**

Kazimierz A. ORŁOWSKI<sup>1</sup>, Lubomír JAVOREK<sup>2</sup>,  
Jaroslav ĽALIK<sup>2</sup>, Włodzimierz PRZYBYLSKI<sup>1</sup>,

<sup>1</sup>Politechnika Gdańska, Wydział Mechaniczny, Katedra Technol. Maszyn i Automatyzacji Produkcji

<sup>2</sup>Technical University in Zvolen, Faculty of Environmental and Manufacturing Technology,  
Department of Woodworking Machines and Equipment (SK)

### **STRESZCZENIE**

*Przedstawiono wyniki badań eksperymentalnych nagniatania tocznego drewna świerkowego uprzednio toczonych powierzchni. Wałki z drewna świerkowego w pierwszym etapie były toczone za pomocą noża, specjalnej konstrukcji, z obrotową krawędzią skrawającą, a następnie były nagniatane na tokarce z zastosowaniem nagniatarka rolkowego. Eksperymenty wykonano na różnych poziomach wartości posuwu, prędkości obrotowej i siły docisku. Przeprowadzone badania wykazały zmniejszenie wartości chropowatości powierzchni oraz zmniejszenie średnic przedmiotów, jako efekt wygładzenia powierzchni i jej zagęszczenia.*

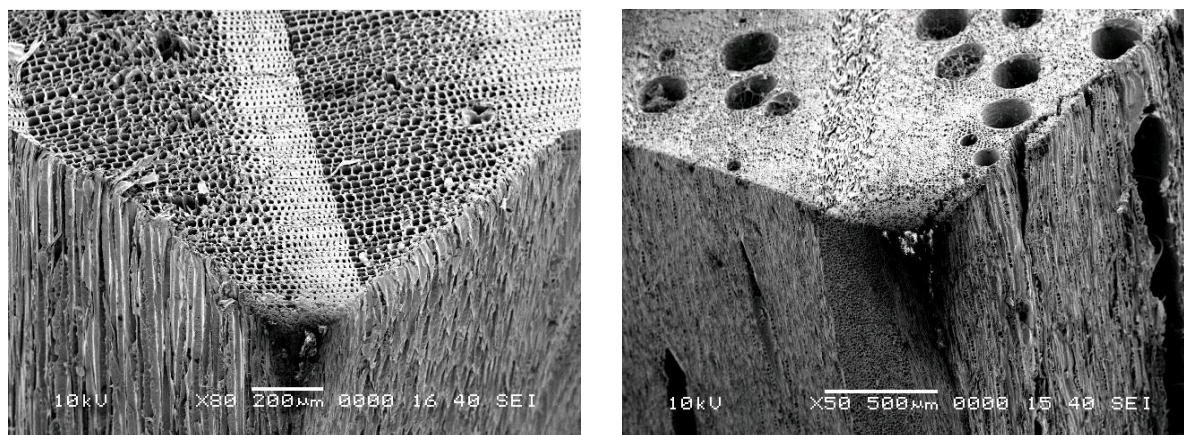
**Słowa kluczowe: nagniatanie, wygładzanie powierzchni, drewno**

### **1. WPROWADZENIE**

Powierzchnie elementów drewnianych i drewnopochodnych po obróbce toczeniem bądź struganiu mogą cechować się znaczną chropowatością powierzchni, która wymaga stosowania dodatkowych operacji np. szlifowania. Powstająca chropowatość powierzchni jest efektem nie tylko warunków skrawania, a głównie anatomicznej budowy drewna, przede wszystkim niejednorodności struktury, różnej dla drewna miękkiego i twardego. Do gatunków miękkich iglastych w warunkach polskich zaliczane są między innymi sosna, modrzew, świerk i jodła, w których strukturze granice przyrostów rocznych (słoje) są wyraźne. W ich strukturze nie występują naczynia, a jedynie wzdłużne włókna drzewne (bądź cewki) oraz poprzeczne komórki promieniowe. Drewno twarde, do którego zaliczany jest dąb, jesion i wiąz, a ich słoje są również wyraźne, charakteryzuje się widocznymi naczyniami o dużych średnicach, zgrupowanych pierścieniowo w strefach drewna wczesnego. Na zdjęciach z mikroskopu skaningowego SEM pokazanych na rys. 1 wyraźnie widać naczynia (pory) w drewnie dębowym (rys. 1b), a w drewnie sosny ich się nie obserwuje (rys. 1a). Stąd też, zagadnienia związane z prawidłową oceną chropowatości obrobionej powierzchni i dokładności elementów drewnianych stanowią niekiedy niebagatelny problem [14, 17, 18]. Jakość obrobionej powierzchni po przecinaniu piłami zależy nie tylko od gatunku drewna, ale również od jakości przecinanego surowca (jego klasy) [9], a także jego temperatury wyjściowej [8].

W stosunku do tradycyjnego toczenia poprawa chropowatości powierzchni obrobionej jest zauważalna również po toczeniu za pomocą okrągłych płytek skrawających nazywanych samoobrotowymi [3, 21]. Powszechnie stosowaną obróbką poprawiającą strukturę geometryczną powierzchni, zarówno drewna jak i kompozytów drewnopochodnych, jest

szlifowanie, które cechuje szybkie zużywanie się narzędzi (taśm ściernych) prowadzące do przypaleń powierzchni szlifowanych, a także towarzyszące procesowi szlifowania zapylenie środowiska pracy [5, 6, 7, 13, 19]. Powstające pyły podczas szlifowania stanowią poważne zagrożenie zdrowotne dla obsługi, mogą prowadzić między innymi do bronchitu, chorób alergicznych i nieżytów górnych dróg oddechowych, chorób płuc, astmy [13], a niekiedy nawet wpływ ten może mieć charakter kancerogenny [19]. Z polskich gatunków duże zagrożenie zdrowotne stanowią pyły drewna dębowego, bukowego, a także popularnego aktualnie drewna modyfikowanego termicznie [11].



Rys. 1. Sloje roczne drewna sosnowego (miękkiego) (a, powiększenie 80×) i drewna dębowego (twardego) (b, powiększenie 50×) z wyraźnymi pionowymi naczyniami o dużych średnicach [23]

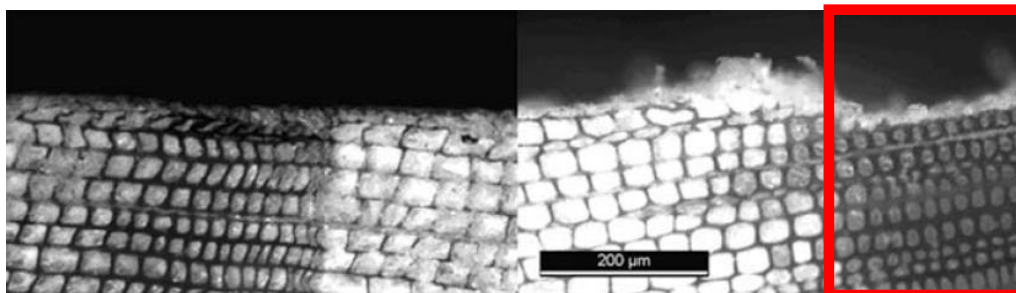
Poszukiwania alternatywnych technologii w zakresie wygładzania powierzchni drewnianych notowane są od dawna. Przykładowo, Wood w 1892 r. w swoim patencie [22] przedstawił urządzenie do zagęszczania drewna i do wytłaczania na nim różnorodnych wzorów, które było wyposażone w dwie pary walców. Pierwsza z nich, wyposażona w górny podgrzewany walec, uplastyczniała i zagęszczała drewno, a druga para kształtowała wzory na materiale obrabianym.

Z kolei, w swojej walcarni Alexander [1] zastosował podgrzewany walec dociskowy, który dzięki większej prędkości obwodowej niż prędkość posuwu przedmiotu obrabianego dodatkowo nagrzewał strefę styku do wysokiej temperatury. Najlepsze rezultaty, jeśli chodzi o jakość powierzchni osiągnęto dla temperatury w strefie styku 260°C (500°F), przy ciśnieniu docisku 2 MPa (300 p.s.i.). Powodowało to trwałe odkształcenie powierzchni w postaci zagęszczenia powierzchniowego o grubości warstwy około 0,1 mm. Dzięki temu uzyskiwano gładze powierzchnie wstępnie szlifowanych elementów drewnianych (lica drzwi lub panele ścienne), a także mniejsze zużycie farb i lakierów, gdyż proces zagęszczania redukował porowatość drewna, zwiększał gęstość warstw zewnętrznych, bez ingerowania w warstwy wewnętrzne. Wspomnianych korzyści nie posiadały źle wstępnie przygotowane powierzchnie.

Autor patentu Judd [4] stwierdził, że na nagniatanie bardziej podatne jest drewno wczesne, aniżeli późne, a płaskie powierzchnie nagniatane są bardziej jednorodne od powierzchni, które nie były poddane tej operacji. Dobre wyniki osiągnęto dla drewna choiny (*Tsuga canadensis* L., Carriere, ang. hemlock), orzecha (*Juglans regia* L.), eukaliptusa (*Eucalyptus* L'Hér.) oraz sosny (*Pinus sylvestris* L.)

Wiele współczesnych alternatywnych metod obróbki, których głównym celem jest wygładzenie powierzchni, głównie płaskich, nawiązuje często w mniejszym bądź większym stopniu do wspomnianych wcześniej rozwiązań [2, 12, 16, 20, 24].

Wyglądanie w wyniku zagęszczania termicznego drewna (fińskiego drewno sosnowego (*Pinus sylvestris* L.)) [16], którego efekt końcowy w odniesieniu do powierzchni pierwotnej po przecinaniu piłą tarczową pokazano na rys. 2. W literaturze wymienia się również połączenie jednoczesnego tarcowego wygładzania z zagęszczaniem termicznym, z maksymalną temperaturą na początku cyklu 100°C i 60°C na jego końcu, przy naciskach powierzchniowych do 1,55 MPa (świerk norweski, *Picea abies* Karst.) [15].



Rys. 2. Zagęszczona powierzchnia drewna sosnowego po prawej stronie (obszar zagęszczenia zaznaczony prostokątem), zaś po stronie lewej powierzchnia wyjściowa po przecinaniu piłą tarczową [26]

W przypadku drewnianych powierzchni obrotowych, w Katedrze Technologii Maszyn i Automatyzacji Produkcji Politechniki Gdańskiej prowadzono badania nagniatania ślizgowego wałków sosnowych (*Pinus sylvestris* L.). Pomimo zadowalających efektów w postaci poprawy gładkości powierzchni, przy pomiarze wzdłuż osi wałka, jaką obserwowano po wygładzaniu ślizgowym drewna sosnowego [12], wadą tej metody była mała wartość prędkości posuwu, a także duże różnice w odkształceniach powierzchni wałka pomiędzy drewnem wczesnym i późnym. W ramach badań pilotażowych [9, 10] przeprowadzono próby nagniatania ślizgowego drewna twardego bukowego (*Fagus sylvatica* L.), które cechuje się większą jednorodnością w porównaniu z drewnem miękkim, jakim jest drewno sosnowe. Nagniatanie ślizgowe wałka bukowego, uprzednio toczzonego nożem z płytką skrawającą okrągłą obracaną siłami tarcia, prowadzono za pomocą nagniatąka diamentowego. Podczas procesu nagniatania ślizgowego obserwowane było zjawisko mikroskrawania, a na powierzchni wałka bukowego po nagniataniu widoczne były niedopuszczalne wyrwania włókien drewna. Oznacza to, że nastąpiło, więc nieoczekiwane znaczne pogorszenie chropowatości powierzchni [9, 10].

W związku z powyższym, zdecydowano się przeprowadzić badania procesu nagniatania tocznego drewna świerkowego w postaci wałków uprzednio toczonych nożem z płytką skrawającą okrągłą obracaną siłami tarcia.

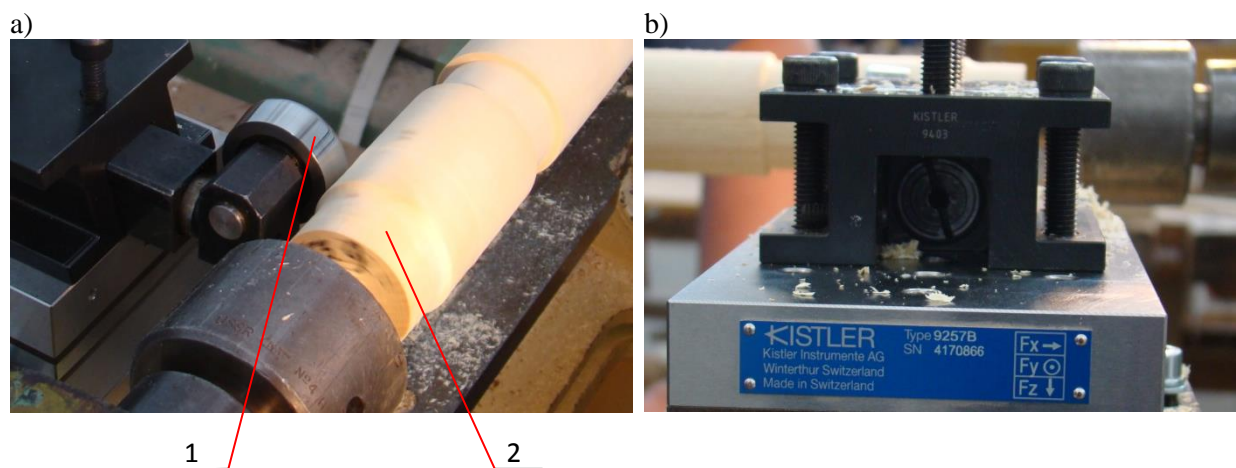
## 2. NAGNIATANIE TOCZNE

Badaniom poddano wałki z drewna świerkowego (*Picea abies* Karst.), o średnicy  $\varnothing 50$  mm i wilgotności około  $MC$  12% wykonane uprzednio za pomocą specjalnego noża z obracającą się płytką skrawającą [3]. Wałki przed nagniataniem były toczony na tokarce do drewna TC63, prototypowym nożem o średnicy płytki  $\varnothing 20$  mm, o następującej geometrii ostrza: kąt natarcia  $\gamma_f = 10^\circ$ , kąt przyłożenia  $\alpha_f = 12^\circ$  i kąt pochylenia krawędzi skrawającej  $\lambda_s = 20^\circ$ . Materiałem ostrza specjalnej płytki obrotowej była stal szybko tnąca gatunku HSS 19822 według ČSN (Československá státní norma), którą na podstawie jej składu chemicznego można by oznaczyć HS 10-0-4 (według PN-EN ISO 4957: 2004). Warunki



skrawania podczas toczenia: prędkość skrawania  $v_c \cong 200$  m/min, posuw na obrót  $f = 0,2$  mm i głębokość skrawania  $a_p = 2$  mm.

Próby nagniatania przeprowadzono na tokarce uniwersalnej, tej samej, na której realizowano operację toczenia, w laboratorium obróbki skrawaniem Uniwersytetu Technicznego w Zvoleniu (SK). Jednakże, po ponownym zamocowaniu przedmiotów stwierdzono wizualnie znaczne bicie promieniowe, które zostało zminimalizowane przez ponowne przetoczenie przedmiotu, przed jego nagniataniem. Średnice badanych próbek przed nagniataniem były, więc około  $\varnothing 48$  mm. Wykorzystano nagniatą rolkę (rys. 3a), który miał promień zaokrąglenia  $r_\varepsilon = 2,5$  mm i pomocniczy kąt „przystawienia” narzędzia na wyjściu rolki wynoszący  $2^\circ 30'$ . W pierwszym etapie, nagniatanie prowadzono ze stałą nastawianą wartością siły nagniatania  $F_y = 150$  N dla posuwów na obrót zmienianych w zakresie  $f = 0,5$ – $1,0$ – $1,8$  mm, przy prędkości obrotowej nagniatanego wałka  $n = 100$  min<sup>-1</sup>. Następna próba była wykonana z następującymi parametrami: dla stałych wartości  $n = 100$  1/min i  $f = 0,5$  mm, a czynnikiem zmiennym była siła nagniatania  $F_y = 100$ – $150$ – $200$  N. W ostatniej z prób czynnikami stałymi były posuw  $f = 0,5$  mm oraz siła nagniatania  $F_y = 150$  N, a czynnikiem zmiennym była prędkość obrotowa wałka  $n = 100$ ;  $160$ ;  $240$  min<sup>-1</sup>. Podczas zadawania obciążenia oraz w czasie prób dokonywano pomiarów sił skrawania, dla 3. kierunków zgodnych z osiami współrzędnych tokarki za pomocą trójskładowego piezoelektrycznego siłomierza f. Kistler typu 9257B (rys. 3b). W skład układu pomiarowego wchodziły ponadto: wzmacniacz ładunku Kistler typ 5070A, przetwornik analogowo/cyfrowy DAQ Kistler typ 5697A1 oraz komputer wraz z zainstalowanym na nim oprogramowaniem typu DynoWare 2825A. Częstotliwość próbkowania sygnału siły wynosiła 2 kHz. Pomiary średnic wałków dokonywano natychmiast po przeprowadzeniu prób nagniatania, a na każdym ze stopni wykonywano trzy powtórzenia. Z uwagi na to, że parametrów chropowatości nie udało się zmierzyć, postanowiono dla udokumentowania efektów nagniatania, wykonać szereg zdjęć makro powierzchni przed i po nagniataniu. Do tego celu wykorzystano mikroskop cyfrowy typu AM4113ZT Dino-Lite Premier, pozwalający obserwować obrazy z powiększeniem 20–50 $\times$ , a następnie zapisywano je w komputerze za pomocą programu Dino-Capture 2.0.



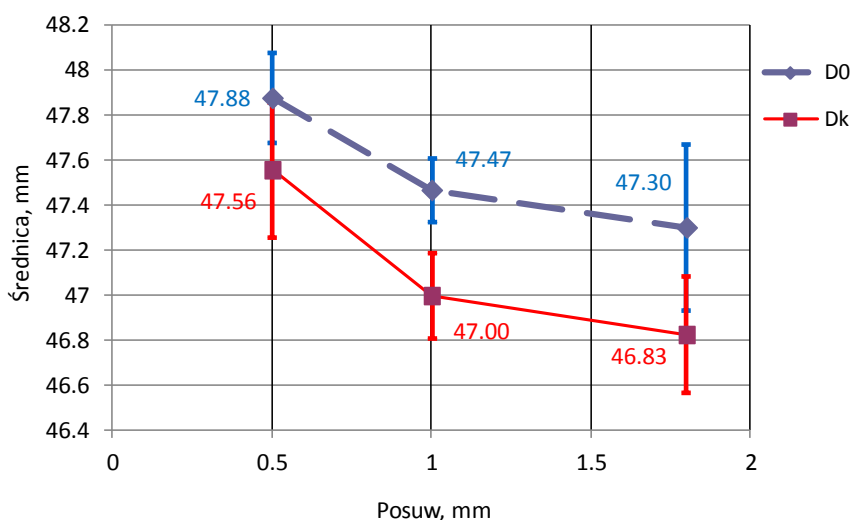
Rys. 3. Nagniatanie toczne drewna świerkowego (a) i widok siłomierza trójskładowego 9257B (f. Kistler) od strony operatora (b), gdzie: 1 – rolka nagniatąca, 2 – nagniatany wałek

### 3. WYNIKI BADAŃ I ICH ANALIZA

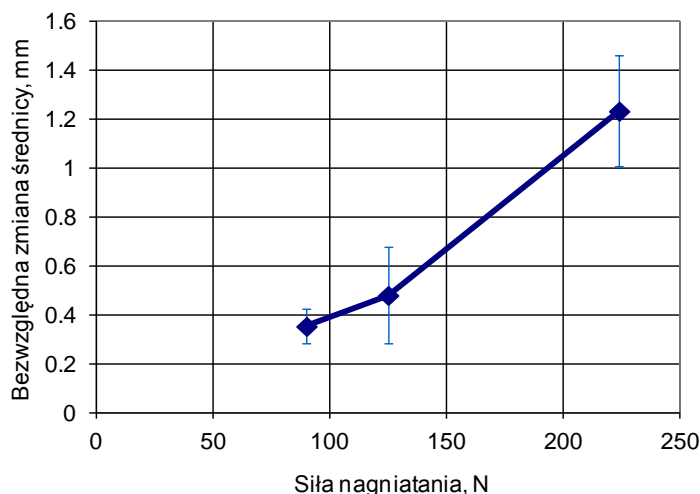
Na rysunku 4 przedstawiono wpływ posuwu na zmianę średnicy wałka po nagniataniu tocznym drewna świerkowego prowadzonym z siłą nagniatania  $F_y \cong 130$  N i prędkością obrotową  $n = 100$  min<sup>-1</sup>. Praktycznie nie zaobserwowano znaczących różnic pomiędzy bezwzględnymi zmianami wartości średnic.

Zwiększanie wartości siły nagniatania  $F_y$  powoduje znaczny wzrost wartości bezwzględnej zmiany średnicy, który jest definiowany jako różnica średnic początkowej  $D_0$  i końcowej po nagniataniu  $D_k$  (rys. 5). Niestety zjawisku temu, szczególnie dla wysokich wartości (średnia siła nagniatania  $F_y = 225$  N), nie towarzyszy poprawa jakości powierzchni po nagniataniu a wręcz przeciwnie, w niektórych fragmentach nagniatanej powierzchni wystąpiło rozszczępienie włókien drewna świerkowego (rys. 6a). Na pozostałej części próbki obserwowano wygładzenie powierzchni w odniesieniu do powierzchni toczzonej (rys. 6b).

Zmiana prędkości obrotowej wałka dla badanych poziomów wartości  $n = 100$ ; 160; 240 min<sup>-1</sup> nie wywoływała znaczących różnic w wartościach bezwzględnych zmian średnic przedmiotu (rys. 7).



Rys. 4. Wpływ posuwu na zmiany wartości średnic wałka przy nagniataniu tocznym drewna świerkowego ( $F_y \cong 130$  N,  $n = 100$  min<sup>-1</sup>), gdzie:  $D_0$  – średnica po toczeniu,  $D_k$  – średnica po nagniataniu



Rys. 5. Wpływ siły nagniatania na średnie bezwzględne zmiany średnicy wałków przy nagniataniu tocznym drewna świerkowego ( $f = 0,5$  mm,  $n = 100$  min<sup>-1</sup>)

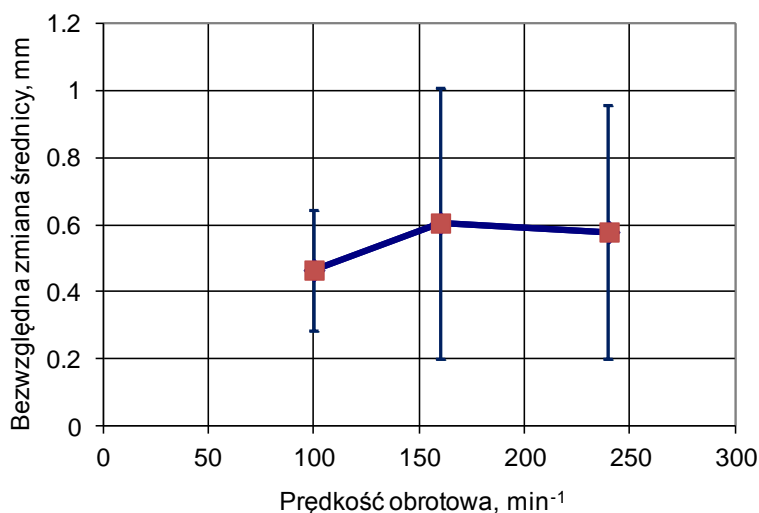
a)



b)

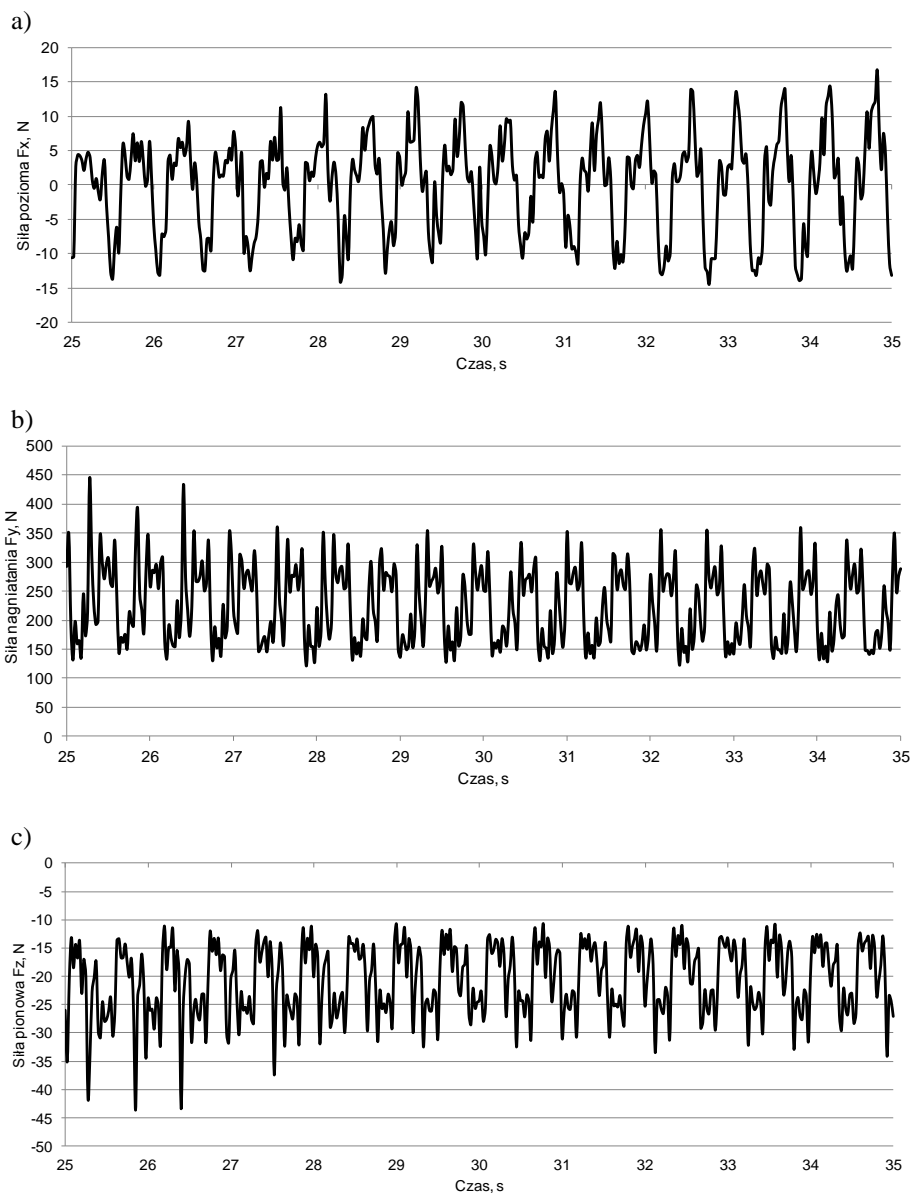


Rys. 6. Widok powierzchni drewna świerkowego po nagniataniu tocznym ( $F_y = 225$  N,  $f = 0,5$  mm,  $n = 100$  min<sup>-1</sup>), gdzie: a) odwarstwienia włókien drewna, b) po lewej stronie powierzchnia po toczeniu, a po prawej powierzchnia po nagniataniu (widok tej samej próbki, powiększenie 40×)



Rys. 7. Wpływ prędkości obrotowej przedmiotu na średnie bezwzględne zmiany średnic wałków podczas nagniatania tocznego drewna świerkowego ( $F_y \cong 120$  N,  $f = 0,5$  mm)

Na rysunku 8 przedstawiono zarejestrowane zmiany sił podczas nagniatania tocznego drewna świerkowego z posuwem  $f = 0,5$  mm i prędkością obrotową wałka  $n = 100$  min<sup>-1</sup>, gdy zadawana wartość siły była równa  $F_y = 200$  N. Na podstawie przeprowadzonego pomiaru można stwierdzić, że siła  $F_x$  o kierunku zgodnym z osią wrzeciona tokarki ma wartość średnią w pobliżu 0 N, a składowa pionowa ma wartość średnią  $F_z = -20,7$  N. Te dwa przypadki mogą być efektem geometrii nagniataka oraz przypuszczalnie nieprawidłowego ustawienia rolki nagniatającej względem osi tokarki. Pomimo, że wartość średnia siły nagniatania wynosi  $F_y = 225$  N, to charakteryzuje się ona dodatkowo dużym rozstępem zmian sygnału siły wynoszącym 322 N. Może to być efekt bicia promieniowego próbki, które nie zostało do końca wyeliminowane przez operację toczenia wstępnego. Ponadto, w każdym przypadku okres zmian składowych sił nagniatania jest równy czasowi trwania jednego obrotu przedmiotu obrabianego.



Rys. 8. Przebiegi zmian składowych sił podczas nagniatania tocznego drewna świerkowego ( $f = 0,5$  mm,  $n = 100$  min<sup>-1</sup>), gdzie: a) siła pozioma  $F_x$  o kierunku zgodnym z osią wrzeciona tokarki, wartość średnia  $F_x = 0,06$  N, rozstęp 31,13 N; b) siła nagniatania  $F_y$ , wartość średnia  $F_y = 225$  N, rozstęp 322 N; c) siła pionowa  $F_z$ , wartość średnia  $F_z = -20,7$  N, rozstęp 32,96 N

W związku z tym, że wahania sił podczas procesu nagniatania obserwowano również w pozostałych testach, przeprowadzono dodatkowe próby, których celem było określenie wskaźników sztywności statycznej tokarki w pobliżu konika, a także wrzeciona. Stwierdzono, że w obu tych przypadkach sztywności statyczne są niewielkie i wynoszą zaledwie około  $3$  N· $\mu\text{m}^{-1}$ . Można więc przypuszczać, że mała sztywność statyczna obrabiarki może być przyczyną tego, iż półfabrykat po toczeniu jest już przed nagniataniem zapewne obarczony szeregiem błędów takich jak błędy kształtu i położenia.

#### 4. WNIOSKI

Otrzymane wyniki badań procesu nagniatania tocznego powierzchni drewna świerkowego (*Picea abies* Karst.) po toczeniu z obracającymi płytkami skrawającymi pozwalają na sformułowanie następujących wniosków:

- nagniatanie toczne może zastąpić w pewnych przypadkach szlifowanie drewna, dzięki czemu nastąpi redukcja szkodliwego zapylenia środowiska pracy;
- w każdym przypadku obserwowano występowanie wygładzenia powierzchni w odniesieniu do powierzchni toczonej;
- stosowanie wysokich wartości sił nagniatania (średnia siła nagniatania  $F_y \cong 225$  N), doprowadziło w niektórych fragmentach nagniatanej powierzchni do wystąpienia niedopuszczalnego rozszczepienia włókien drewna;
- dalsze próby nagniatania tocznego należałoby prowadzić na obrabiarce, która cechowałaby się wyższymi wskaźnikami sztywności statycznej;
- istnieją przesłanki do stworzenia konstrukcji głowicy umożliwiającej nagniatanie toczne powierzchni drewnianych z poprzedzającym je toczeniem za pomocą noża z obracającą się płytką skrawającą. Tego typu rozwiązanie pozwalałoby zakwalifikować ten sposób obróbki jako obróbkę sekwencyjną drewna toczeniem i nagniataniem;
- można przyjąć, że podobnie jak w przypadku odkształceń warstw zewnętrznych drewna litego po termo-wygładzaniu również tutaj deformacje powierzchni drewna spowodowane nagniataniem tocznym oprócz jej wygładzenia mogą dać dodatkowo efekt w postaci mniejszego zużycia lakierów. Obróbka tego typu mogłaby znaleźć zastosowanie na przykład w produkcji balasek (elementy pionowe balustrad), zarówno do zastosowań zewnętrznych jak i wewnętrznych, gdzie użytkownikowi nie zależy na dokładności wymiarowej, ale głównie na efekcie wizualnym.

#### PODZIĘKOWANIA

*Badania eksperymentalne nagniatania drewna prowadzono w Uniwersytecie Technicznym w Zvoleniu (Słowacja) w ramach uczestnictwa autorów w programie CEEPUS III: sieć CIII-SK-0310-06-1314 "Non traditional processes in production technologies and integration of the study and research in the Eastern and Central Europe Universities".*

#### LITERATURA

- [1] Alexander G.E.: Method for treating wood surfaces. Patent US 2827935, (zgłoszenie patentowe October 10, 1956) Mar. 25, 1958, 7 s.
- [2] Fuchs I., Pflüger T.: Thermo-smoothing of wood and wood materials – recent results. W: Proceedings of the 20<sup>th</sup> International Wood Machining Seminar. Eds. Grönlund A. and Cristóvão L., June 5-10, 2011, Skellefteå, Sweden, s. 11–21.
- [3] Javorek Ľ., Hric J.: Obróbka drewna narzędziami z obracającą się krawędzią skrawającą. W: Obróbka skrawaniem Innowacje 2, Szkoła Obróbki Skrawaniem, J. Stós (red.), Instytut Zaawansowanych Technologii Wytwarzania, Kraków, 2008, s. 402–407.
- [4] Judd O.S.: Method of finishing wood surfaces. Patent US 2765598, (zgłoszenie patentowe March 27, 1956) Oct. 9, 1956, 3 s.
- [5] Kos A, Beljo-Lucic R., Sega K., Rapp A.O.: Influence of woodworking machine cutting parameters on the surrounding air dustiness. Holz als Roh- und Werkstoff, Vol. 62, 2004, Issue 3, s. 169–176.



- [6] Mikkelsen A.B., Schlünssen V., Sigsgaard T., Schaumburg I.: Determinants of wood dust exposure in the Danish furniture industry. *Ann. occup. Hyg.*, Vol. 46, 2002, No. 8, s. 673–685.
- [7] Očkajova A., Beljakova A., Siklienka M.: Morphology of dust particles from the sanding process of the chosen tree species. *Wood Research*, Vol. 55, 2010, Issue 2, s. 89–98.
- [8] Orłowski K., Sandak J., Negri M., Dzurenda L.: Sawing frozen wood with narrow kerf saws: Energy and quality effects. *Forest Products Journal*, Vol. 59, nr 3, 2009, s. 79–83.
- [9] Orłowski K., Przybylski W., Javorek L.: Obróbka hybrydowa drewna toczeniem i nagniataniem. W: *Obróbka skrawaniem: nauka a przemysł* / ed. W. Grzesik. (Szkoła Obróbki Skrawaniem, nr 5). Wrocław / Opole: Politechnika Opolska, Wydział Mechaniczny, 2011, s. 541–546.
- [10] Orłowski K., Przybylski W., Javorek L.: Obróbka sekwencyjna drewna toczeniem i nagniataniem. W: *Współczesne problemy w technologii obróbki przez nagniatanie*. T. 3 / pod red. W. Przybylskiego. - Katedra Technologii Maszyn i Automatyzacji Produkcji, Wydział Mechaniczny Politechniki Gdańskiej. Gdańsk: 2011, s. 139–150.
- [11] Peters J., Fischer K., Fischer S.: Characterization of emissions from thermally modified wood and their reduction by chemical treatment. *BioResources*, 2008, Issue 3(2), s. 491–502.
- [12] Przybylski W.: Smoothing of wood surface by burnishing. W: *Proceedings. 16 IWMS. The 16<sup>th</sup> International Wood Machining Seminar*. Matsue, Japan, 24-30 August 2003. Matsue: Fac. Sci. a. Eng., Shimane Univ., 2003 pt. 2 Poster presentations s. 562–567.
- [13] Puntarić D., Kos A., ŠmitZ., Zečić Ž., Šega K., Ružica Beljo-Lučić, Horvat D., Bošnjir J.: Wood dust exposure in wood industry. *Coll. Antropol.*, 2005, Vol.29, No. 1, s 207–211.
- [14] Raja J., Muralikrishan B., Shengyu F.: Recent advances in separation of roughness, waviness and form. *Precis. Eng.* Vol. 26, 2002, s. 222–235.
- [15] Rautkari L., Properzi M, Pichelin F., Hughes M.: Surface modification of wood using friction. *Wood Science and Technology*, Volume 43, Issue 3-4 , s. 291-299.
- [16] Rautkari L., Kristiina Laine K., Laflin N., Hughes M.: Surface modification of Scots pine: the effect of process parameters on the through thickness density profile. *J Mater Sci* (2011) 46:4780–4786.
- [17] Sandak J., Negri M.: Wood surface roughness—what is it? *Proceedings of the 17<sup>th</sup> International Wood Machining Seminar*, Rosenheim, vol. 1, 2005, s. 242–250.
- [18] Sandak J., Orłowski K., Tanaka CH., Negri M.: Thickness monitoring of thin lamellae by optical measurement method. *Forest Prod. J.* Vol. 56, 2006, No 1, s. 36–40.
- [19] Technology Planning and Management Corporation: Final report on carcinogens background document for Wood Dust. Meeting of the NTP Board of Scientific Counselors, Report on Carcinogens Subcommittee. December 13–14, 2000. U.S. Department of Health and Human Services, Public Health Service, National Toxicology Program, 413 s.
- [20] Wieloch G.: Studia nad stanem struktury geometrycznej powierzchni drewna i tworzyw drzewnych po walcowaniu wygładzającym. *Roczniki Akademii Rolniczej w Poznaniu, Rozprawy Naukowe, Zeszyt 353*, Wydawnictwo Akademii Rolniczej im. A. Cieszkowskiego, Poznań, 2004, 199 s.
- [21] Wieloch G., Osajda M., Mostowski R.: Narzędzia do toczenia z samoobracającymi się płytkami i ich zastosowanie przy skrawaniu drewna. W: *Obróbka skrawaniem Innowacje 2*, Szkoła Obróbki Skrawaniem, J. Stós (red.), Instytut Zaawansowanych Technologii Wytwarzania, Kraków, 2008, s. 408–416.

- [22] Wood A. L.: Machine for burnishing and embossing wood. Patent US470612 (zgłoszenie patentowe 1891), Mar 8, 1892: 3 s.
- [23] [http://en.wikipedia.org/wiki/File:Hard\\_Soft\\_Wood.jpg](http://en.wikipedia.org/wiki/File:Hard_Soft_Wood.jpg), Attribution: Mckdandy at the English language Wikipedia (dostęp maj 2014).
- [24] Der Thermoglättadapter, Automatische Feinbearbeitung von Mitteldichten Faserplatten (MDF). [http://www.thermoglaettadapter.com/uploads/media/Faltblatt-06\\_2010-S1-4\\_01.pdf](http://www.thermoglaettadapter.com/uploads/media/Faltblatt-06_2010-S1-4_01.pdf) , 4 s. (dostęp czerwiec 2014).

## **EXPERIMENTAL STUDIES OF THE ROLLER BURNISHING PROCESS OF SPRUCE WOOD**

### **SUMMARY**

*Experimental results of spruce wood processing by roller burnishing are presented. The spruce shafts had been turned with the self-propelled turning tool of the special design, and afterwards have been burnished with a roller burnishing tool on a turning lathe. Experiments were carried out with variable a feed per revolution, number of revolutions and a burnishing force. In each case forces during the burnishing process were measured. Obtained results revealed that burnished surfaces of spruce round timbers are smoother than turned ones. in the case of the roller burnishing.*