Rafał SUWART*

WPŁYW TARCIA NA SPRAWNOŚĆ MASZYN SZYJĄCYCH W PRZEMYŚLE OBUWNICZYM

THE EFFECT OF FRICTION ON THE EFFICIENCY OF SEWING MACHINES IN THE SHOE INDUSTRY

Słowa kluczowe:

siła tarcia, praca, optymalizacja, sprawność

Key words:

friction force, work, optimization, efficiency

Streszczenie

W artykule zamieszczono wyniki badań tribologicznych maszyny szyjącej z tradycyjnym układem napędowym w odniesieniu do układu napędowego z dodatkowo zastosowanym falownikiem. Innowacyjność opracowania polega na propozycji sterowania maszynami szyjącymi w przemyśle obuwniczym za pomocą falownika, dzięki czemu uzyskuje się znaczne oszczędności energii elektrycznej. Stwierdzono, że sprawność procesu szycia materiałów obuwniczych jest bardzo mała – wynosi od poniżej 1% przy sterowaniu sprzęgłem tarciowym do ok. 3% przy sterowaniu falownikiem Opracowanie wykazało, że zastąpienie tradycyjnego układu napędowego maszyny szyjącej płaskiej (sprzę-

* Wydział Materiałoznawstwa Technologii i Wzornictwa Uniwersytetu Technologiczno-Humanistycznego w Radomiu, ul. Chrobrego 27, 26-600 Radom, tel. 505074933.

gło – silnik trójfazowy) rozwiązaniem z zastosowaniem falownika lub wymiana na silnik z możliwością płynnej regulacji obrotów daje wymierne korzyści ekonomiczne – mniejsze zużycie energii podczas szycia od 2 do 4 razy w zależności od prędkości szycia. Opisane w publikacji badania zrealizowane zostały na Wydziale Materiałoznawstwa, Technologii i Wzornictwa Uniwersytetu Technologiczno-Humanistycznego w Radomiu.

WPROWADZENIE

Tribologia odgrywa ważną rolę w procesach produkcyjnych **[L. 1]**. Badania tribologiczne w budowie maszyn stanowią podstawę wnioskowania o związkach pomiędzy energią pobraną przez maszynę a energią potrzebną do wykonania zadanej operacji technologicznej **[L. 2, 3]**. W procesie szycia elementów obuwia będzie to zależność pomiędzy energią elektryczną pobraną przez maszynę szyjącą a pracą potrzebną do wykonania ściegu przez elementy robocze tejże maszyny. Istotnym elementem energochłonnym w maszynach szyjących jest sprzęgło tarciowe. Sprzęgło służy m.in. do regulacji prędkości obrotowej wału napędzającego igielnicę.

Tribologia wyróżnia dwa obszary: pierwszy – naukowy, obejmujący badania procesów fizycznych i chemicznych zachodzących w obszarze tarcia, tj. tribologię sensu stricte, drugi – techniczny, tribotechnikę, obejmującą wszelkie techniczne i ekonomiczne problemy eksploatacji maszyn **[L. 4–6]**.

Poniższy artykuł poświęcony jest drugiemu obszarowi tribologii. Do oceny efektywności ekonomicznej przy produkcji obuwia niezbędne jest porównanie kosztów wytworzenia końcowego wyrobu (W) z syntetyczną oceną produkcji (S_T):

$$W = f(S_T).$$

Syntetyczną ocenę produkcji można ująć w formie równania:

$$S_T = \{(x, s, y, z)\,\Delta\},$$

gdzie: x – parametry wejściowe,
s – sterowanie procesem,
y – parametry technologiczne,
z – parametry wyjściowe,
Δ – funkcja opisująca współzależność zbiorów x,s,y,z.

W oparciu o tak ujęte zagadnienie zdefiniowano tezę pracy: **zmniejszenie sił tarcia podczas eksploatacji maszyn szyjących w przemyśle obuwniczym**

zależy głównie od sposobu sterowania mechanizmami roboczymi maszyny, przy czym w dużo mniejszym stopniu zależy od pracy rzeczywistej szycia.

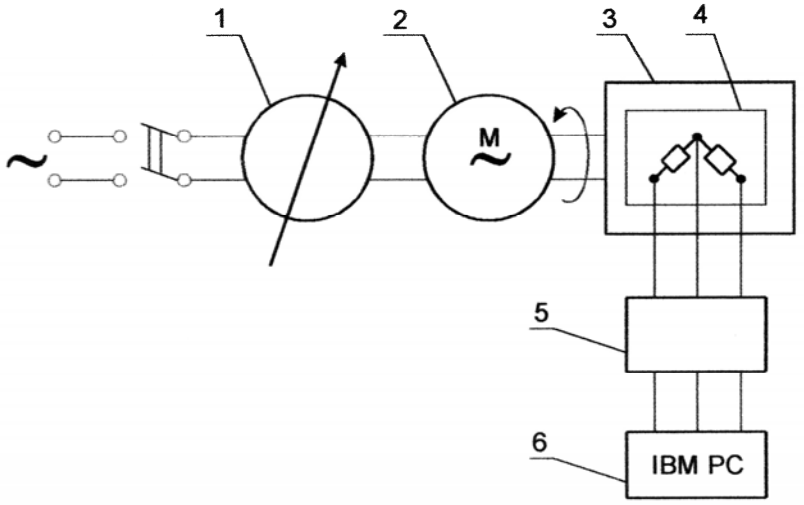
Zgodnie z tezą dokonano **[L. 7–10]**:

- pomiaru siły szycia (siła przebicia i siła tarcia),
- obliczeń pracy rzeczywistej szycia,
- pomiaru energii elektrycznej pobieranej przez silnik przy dwóch wariantach sterowania szybkością szycia: za pomocą sprzęgła tarciowego i za pomocą falownika**.**

Pomiary wykonano podczas zszywania różnych materiałów z zastosowaniem różnych igieł i przy różnych prędkościach szycia.

OPIS METODYKI BADAWCZEJ

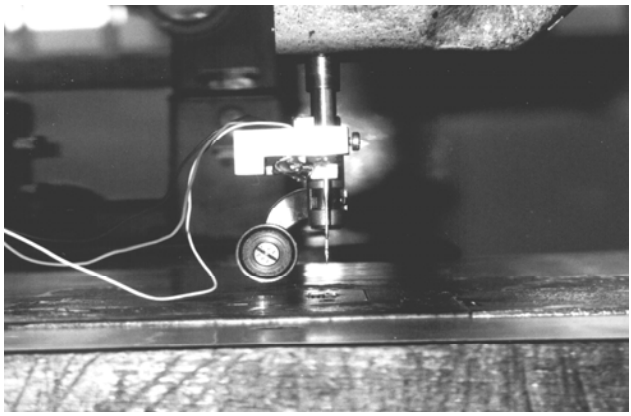
Badania, których celem był pomiar siły i na tej podstawie obliczanie pracy rzeczywistej szycia przeprowadzono na stanowisku badawczym składającym się z maszyny szyjącej płaskiej jednoigłowej Minerva typ 325. Maszyna była napędzana silnikiem trójfazowym klatkowym o mocy 0,5 kW i obrotach 2720 obr./min. Na **Rys. 1** przedstawiono schemat stanowiska badawczego do pomiaru siły szycia za pomocą przetwornika tensometrycznego zamocowanego na igielnicy.



Rys. 1. Schemat stanowiska pomiarowego: 1 – autotransformator, 2 – silnik elektryczny, 3 – maszyna szyjąca, 4 – przetwornik tensometryczny, 5 – karta pomiarowa programu „GENIE", 6 – komputer

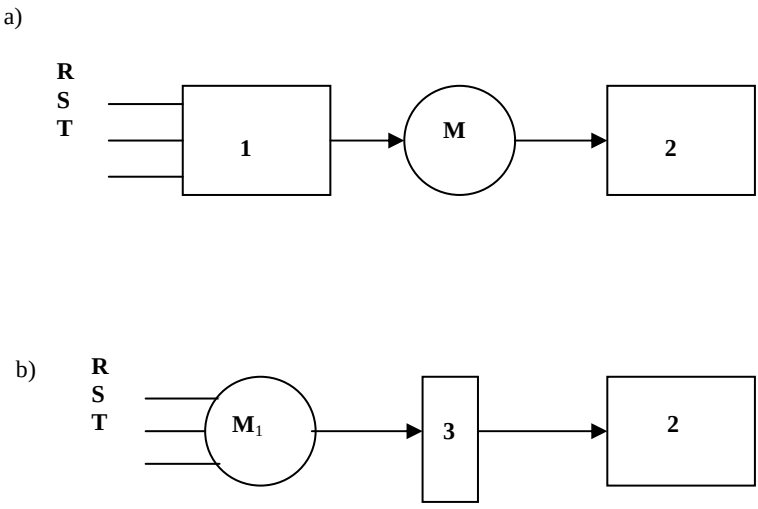
Fig. 1. Measuring position schema: 1 – autotransformator, 2 – electric engine, 3 – sewing machine, 4 – tensometrical transducer, 5 – programme's measurement card „GENIE", 6 – computer

Widok stanowiska badawczego oraz sposób mocowania przetwornika tensometrycznego przedstawiono na **Rys. 2**.



Rys. 2. Stanowisko badawcze – przetwornik tensometryczny i igielnica
Fig. 2. Research point – tensammetrical transducer and needle bar

Do pomiaru energii elektrycznej pobieranej przez silnik zastosowano falownik Danfoss VLT AutomationDrive FC 302. Wyniki pomiarów rejestrowano w formie wykresów w oparciu o program komputerowy firmy Danfoss. Dokonano pomiarów energii elektrycznej pobieranej przez silnik przy sterowaniu maszyną za pomocą falownika **(Rys. 3a)** i sprzęgła tarciowego **(Rys. 3b)**.



Rys. 3. Schemat obrazujący sterowanie prędkością szycia: a) za pomocą falownika, b) za pomocą sprzęgła: 1 – falownik, 2 – maszyna szyjąca, 3 – sprzęgło tarciowe, M – silnik
Fig. 3. Diagram showing sewing speed control: a) by means of an inwerter b) by means of a clutch: 1 – inwerter, 2 – sewing machine, 3 – friction clutch, M – engine

MATERIAŁY UŻYTE DO BADAŃ

Pomiaru siły potrzebnej do przebicia zszywanych materiałów, a także energii elektrycznej dokonan, szyjąc igłami dwóch producentów: A i B. Igły miały średnicę trzonu od 0,8 do 1,1 [mm]. Szyto nićmi poliamidowymi próbki skóry o wymiarach 300 x 150 [mm] po 3 sztuki z każdego badanego materiału **(Tabela 1)**. Próbki były przygotowane z trzech rodzajów skór (bydlęca typu crust, typu soft i boks bydlęcy).

Tabela 1. Grubości skór wykorzystanych do badań [mm]
Table 1. Thickness of leather used in tests [mm]

Nr materiału	Rodzaj skóry	Średnia grubość [mm]
1	Crust	2,19
2	Soft	1,05
3	boks	1,67

WYNIKI BADAŃ

Pomiar siły obciążającej igielnicę i energii pobieranej przez silnik maszyny szyjącej płaskiej podczas procesu szycia został przeprowadzony z wykorzystaniem opracowanego stanowiska badawczego. W celu wyeliminowania przypadkowości eksperymentu i zmniejszenia błędu każdy wariant zaplanowanego eksperymentu powtarzano trzykrotnie, przy czym wyniki badań nie zawierały wielkości, którą należy odrzucić za pomocą statystycznego testu Dixona. Na podstawie otrzymanych wykresów sił obciążenia igielnicy można stwierdzić, że krzywe obrazujące siły przy zagłębianiu się igły w materiał zszywany i jej wychodzeniu z materiału mają podobny kształt. Niewielkie różnice w kształcie krzywych wynikają z różnych własności zszywanych materiałów. Wykres współrzędnej pionowej charakteryzuje obciążenie igielnicy podczas szycia. Istotny wpływ na przebieg sił występujących podczas przebicia ma grubość i równość rozkładu masy przeszywanych materiałów. Z grubością wiąże się moment wejścia ostrza w materiał, im materiał grubszy, tym wcześniej ostrze wchodzi w jego strukturę. Z rozkładem gęstości szytych materiałów związane są duże wahania wartości siły obciążenia igielnicy. Na przykładowym **Rys. 4** przedstawiono zapis graficzny siły zszywania (przebicia i wyciągania igły).

Tabele 2 i 3 przedstawiają siły wbijania i wyciągania igły podczas szycia. Zależą one od rodzaju materiału, jego grubości, od średnicy i typu igieł (producenta). Najmniejsze siły przebijania i wyciągania zmierzono przy szyciu skór typu soft bydlęcy.

Rys. 4. Siły szycia igłą o średnicy trzonu 1,1 mm firmy „B" skóry typu boks bydlęcy, prędkość szycia 400–1200 ściegów na minutę

Fig. 4. Sewing forces by sewing bovine leather type box and using needle made by company „B" (1.1 mm diameter, sewing speed 400–1200 spm)

Dla igieł typu B zauważono mniejsze siły wbijania w porównaniu z igłą typu A. Średnia siła wyciągania dla igieł A i B była największa w przypadku średnicy trzonu 90 i 100, a średnia siła wbijania dla tych igieł była najmniejsza.

Tabela 2. Wpływ średnicy igły na siłę wbijania igieł dla skór: 1 – crust bydlęcy, 2 – soft bydlęcy, 3 – boks bydlęcy, prędkość szycia 400–1200 ściegów na minutę

Table 2. Influence of the needle diameter on the needle driving force for the following leather types: 1 – bovine crust, 2 – bovine soft, 3 – bovine box, sewing speed 400–1200 spm

Średnica trzonu igły [mm x10^{-2}]	**Średnie obciążenie igielnicy podczas przebijania dla materiałów 1, 2, 3 i dla igieł A [N]**	**Średnie obciążenie igielnicy podczas przebijania dla materiałów 1, 2, 3 i dla igieł B [N]**	**Średnie obciążenie igielnicy podczas przebijania dla materiałów 1, 2, 3 i dla igieł A i B [N]**
80	2,97	2,93	2,95
90	3,03	2,17	2,60
100	3,33	2,10	2,72
110	2,97	3,30	3,14
Średnie obciążenie [N]	3,08	2,63	2,85

Tabela 3. Wpływ średnicy igły na siłę wyciągania igieł dla skór: 1 – crust bydlęcy, 2 – soft bydlęcy, 3 – boks bydlęcy, prędkość szycia 400–1200 ściegów na minutę
Table 3. Influence of the needle diameter on the pull-off force of needles for leather types: 1 – bovine crust, 2 – bovine soft, 3 – bovine box, sewing speed 400–1200 spm

Średnica trzonu igły [mmx10^2]	**Średnie obciążenie igielnicy podczas wyciągania dla materiałów 1, 2, 3 i dla igieł A [N]**	**Średnie obciążenie igielnicy podczas wyciągania dla materiałów 1, 2, 3 i dla igieł B [N]**	**Średnie obciążenie igielnicy podczas wyciągania dla materiałów 1, 2, 3 i dla igieł A i B [N]**
80	1,70	2,83	2,27
90	2,50	4,57	3,54
100	2,47	4,14	3,31
110	2,33	3,90	3,12
Średnie obciążenie [N]	2,25	3,86	3,06

Pracę rzeczywistą szycia wyznaczono, całkując funkcję opisującą siłę szycia względem drogi s przebytej przez igłę w przedziale wejścia i wyjścia igły z materiału. Tak obliczona praca opisuje pole pod krzywą obciążenia igielnicy w trakcie jednego cyklu szycia. W celu dokonania obliczeń pracy właściwej szycia w trakcie jednego cyklu (utworzenia jednego ściegu) wprowadzono współczynnik wypełnienia wykresu. Współczynnik wypełnienia wykresu wyraża stosunek pola pomiędzy krzywą obciążenia igielnicy a osią odciętych do pola prostokąta o bokach: średnia siła obliczona z siły przebicia i wartości bezwzględnej siły wyciągania razy droga przebyta przez igłę w trakcie jednego cyklu (utworzenia jednego ściegu). Przyjęto 36% jako wartość współczynnika wypełnienia wykresu **[L. 8]**. Tak obliczoną pracę właściwą szycia przedstawiono w **Tabeli 3**.

Pomiaru wielkości elektrycznych takich jak moc, napięcie i prąd dokonano na wejściu do silnika przy prędkości szycia 400, 800 i 1200 ściegów/min dla dwóch wariantów:

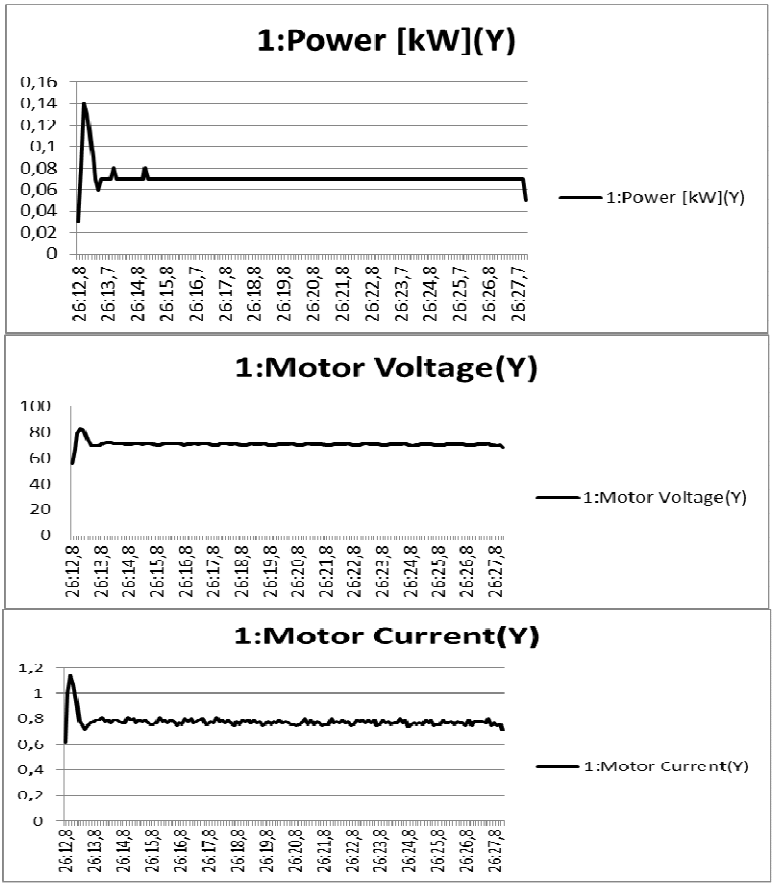
- poszczególne prędkości obrotowe ustalono za pomocą falownika, sprzęgło pracuje bez tarcia – nie ma straty energii na sprzęgle wskutek braku sił tarcia,
- poszczególne prędkości obrotowe ustalono za pomocą sprzęgła, straty energii na sprzęgle spowodowane są poślizgiem.

Tabela 4 przedstawia pracę właściwą szycia dla przebadanych materiałów i igieł. Przykładowy **Rys. 5** opisuje wartości mocy, napięcia i prądu przy zszywaniu materiałów crust bydlęcy za pomocą igły o średnicy trzona 90 mm x 10^{-2}, typ A, sterownie falownikiem.

Tabela 4. Wpływ średnicy igły na pracę właściwą szycia (wykonanie jednego ściegu) dla skór: 1 – crust bydlęcy, 2 – soft bydlęcy, 3 – boks bydlęcy

Table 4. Influence of the needle diameter on sewing work (single stitch) for leather types: 1 – bovine crust, 2 – bovine soft, 3 – bovine box

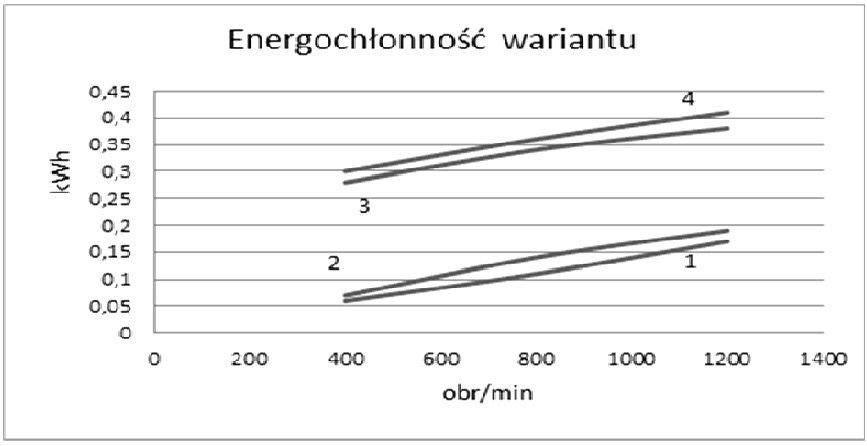
Średnica trzonu igły [mm x10^{-2}]	Średnia praca szycia dla materiałów 1, 2, 3 dla igieł A [J]	Średnia praca szycia dla materiałów 1, 2, 3 dla igieł B [J]	Średnia praca szycia dla materiałów 1, 2, 3 dla igieł A i B [J]
80	0,14	0,18	0,16
90	0,20	0,21	0,21
100	0,18	0,18	0,18
110	0,16	0,23	0,20
Średnia praca [J]	0,17	0,20	0,19



Rys. 5. Moc, napięcie i prąd zasilania przy szyciu 400 ściegów/min, silnik sterowany falownikiem w funkcji czasu szycia, crust bydlęcy, igła typ A o średnicy trzona 0,9 mm

Fig. 5. Power, voltage and power supply while sewing 400 spm, engine controlled by an inverter with sewing time function, bovine leather type box, using needle made by company „A" and 0.9 mm diameter

Analizując wykresy przedstawiające moc prądu pobieranego przez silnik maszyny, stwierdzono, że energochłonność procesu szycia (energia elektryczna pobrana z sieci) jest kilka razy mniejsza w wariancie, gdy prędkość szycia regulujemy za pomocą falownika w porównaniu z regulacją za pomocą sprzęgła. Zestawienie tych zależności przedstawiono na **Rys. 5**, są to średnie wartości dla analizowanych materiałów i igieł. Regulacja prędkości szycia za pomocą sprzęgła jest rozwiązaniem powszechnie stosowanym.



Rys. 6. Pobór energii elektrycznej z sieci przez maszynę szyjąca Minerwa typ 72415-101 w zależności od liczby obrotów wału górnego przy sterowaniu falownikiem i sprzęgłem. Czas szycia 1 godz.: 1 – Sterowanie falownikiem – igła przebija materiał bez nici, 2 – Sterowanie falownikiem – szycie, powstaje ścieg, 3 – Sterowanie sprzęgłem – igła przebija materiał bez nici, 4 – Sterowanie sprzęgłem – szycie, powstaje ścieg

Fig. 6. Consumption of electric energy by the sewing machine Minerva 72415-101 depending on rotations number of the upper shaft while controlling with inverter and clutch. Sewing time is 1 hour: 1 – Inverter control – the needle pierces the material without threads, 2 – Inverter control – sewing, a stich is formed, 3 – Clutch control – the needle pierces the material without threads, 4 – Clutch control – sewing, a stich is formed

PODSUMOWANIE

Porównując pracę potrzebną na tworzenie ściegu w ciągu 1 s (pomiar siły – 2,6 N) przy szyciu z prędkością 800 ściegów na min z pracą wykonaną przez maszynę przy sterowaniu sprzęgłem (pomiar energii elektrycznej pobieranej przez silnik – 350 J), otrzymujemy sprawność poniżej 1%. Natomiast porównując pracę potrzebną na tworzenie ściegu w ciągu 1 s (pomiar siły – 2,6 N) przy szyciu z prędkością 800 ściegów na min z pracą wykonaną przez maszynę przy sterowaniu falownikiem (pomiar energii elektrycznej pobieranej przez silnik – 100 J), otrzymujemy sprawność ok. 3%.

Analiza otrzymanych wyników pozwala stwierdzić, że zastosowanie do sterowania maszyną szyjącą Minerwa typ 72415-101 falownika przyczynia się

do zmniejszenia zapotrzebowania na energię elektryczną o około 0,2 kWh dla jednej maszyny w czasie 1 godz pracy. Zauważono mniejsze zużycie energii podczas szycia od 2 do 4 razy w zależności od prędkości szycia.

W oparciu o ankiety przeprowadzone w latach ubiegłych wśród producentów obuwia można stwierdzić, że wielkość produkcji obuwia w Polsce wynosi ok. 62,5 miliona par rocznie.

Zakładając, że 80% produkowanego obuwia wymaga szycia cholewki, przy czym średnio czas uszycia jednej cholewki to ok. 0,4 godz. oraz 90% maszyn szyjących ma sterowanie obrotów za pomocą sprzęgła, można stwierdzić, że oszczędności z tytułu zastosowania falowników do sterowania silników wynoszą w skali roku ok. 3600000 kWh. W obliczeniach nie uwzględniono przerw w szyciu, gdy silnik pracuje nieobciążony. Dokonując obliczeń, opierając się na statystycznym zapotrzebowaniu na energię elektryczną 100 dowolnie wybranych rodzin mieszkających w miastach od 10 tys. do 250 tys., można stwierdzić, że oszczędności wynikające tylko z zastosowania falowników do szycia cholewek są równoważne zapotrzebowaniu na energię elektryczną dla miasta, w którym mieszka 15 tys. ludzi w skali jednego roku. Należy także zauważyć, posiłkując się opinią sprzedawców maszyn, że producenci obuwia, podejmując decyzjĘ zakupu maszyny szyjącej, kierują się głównie ceną maszyny, a nie jej energooszczędnością. Maszyny z regulacją obrotów za pomocą sprzęgła są tańsze.

Wyniki badań zamieszczone w pracy potwierdziły tezę pracy i wskazują, że zmniejszenie sił tarcia podczas eksploatacji maszyn szyjących w przemyśle obuwniczym zależy głównie od sposobu sterowania mechanizmami roboczymi maszyny, a nie zależą znacząco od parametrów technologicznych, czyli pracy rzeczywistej szycia.

LITERATURA

1. Hebda M.: Procesy tarcia, smarowania i zużycia maszyn. Instytut Technologii Eksploatacji – PIB, Warszawa 2007.
2. Marczak R.: Moje wspomnienia o Profesorze I.W. Kragielskim. Tribologia nr 1, 2008. s. 155–159.
3. Burakowski T., Wierzchoń T.: Inżynieria powierzchni metali. WNT Warszawa 1995.
4. Ziemiański K.: Zastosowanie tworzyw sztucznych w budowie maszyn. Politechnika Wrocławska, Wrocław 1995.
5. Rymuza Z.: Trybologia polimerów ślizgowych. Wydawnictwo Naukowo-Techniczne. Warszawa 1986.
6. Bowden F.P., Tabor D.: Wprowadzenie do trybologii. WNT Warszawa 1980.

7. Wybrane problemy rozwoju innowacyjności w obszarze właściwości użytkowych materiałów obuwniczych, elementów obuwia oraz elementów maszyn obuwniczych, cz. 1, 2, 3. Politechnika Radomska. Radom 2005–2007. Nr pracy 2275/35/P.
8. Ocena systemu tribologicznego maszyny szyjącej płaskiej z tradycyjnym układem napędowym na tle układu napędowego z dodatkowo zastosowanym falownikiem. Politechnika Radomska, Radom 2008. Nr pracy 2623/35/B.
9. Suwart R.: Wpływ tarcia na pracę i sprawność procesu szycia elementów obuwia. Tribologia nr 1, 2011. s. 159–172.
10. Suwart R.: Współczynnik sprawności energetycznej jako ocena systemu tribologicznego w obróbce plastycznej. Tribologia nr 6, 2003, s. 59–72.

Summary

This paper contains a description of tests and results obtained from the tribological system of a sewing machine with a traditional power transmission system compared with a power transmission system with an additionaly applied inverter. The recommedation for sewing machine's controling by implying the inverter, which results in substantial energy savings, constitutes the innovative part of this study. It was determined that the efficiency of the process of sewing footwear materials is very low – it ranges from less than 1% by using a friction clutch to approx. 3% when inverter was applied. This study deomonstrates that replacing the traditional power transmission system of the sewing machine (clutch – three phase motor) by a solution when either an inverter is applied or the engine is replaced by an engine capable of continous rotation's change gives considerable economic benefits, i.e. reduced energy consuption during the sewing – less 2-4 times depending on the sewing speed. The study shows that the replacement of the traditional powertrain flat sewing machine (clutch – three-phase motor) for a solution using the inverter or replace the engine with the ability of continuously change the rotation gives tangible economic benefits, reduced energy consumption during the sewing of two to four times, depending on the speed sewing. The tests described in this paper were conducted at the Department of Materials Science, Technology and Design of Kazimierz Pulaski University of Technology and Humanities in Radom.