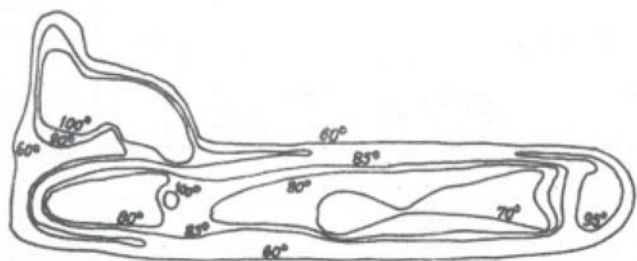


BADANIE ZJAWISKA WZROSTU TEMPERATURY SPRZĘGŁA PILARKI SPALINOWEJ

Streszczenie

Podczas pracy sprzęgło pilarki spalinowej może rozgrzewać się do temperatury ok. 90°C. Wzrost temperatury jest wynikiem chwilowych dwukierunkowych poślizgów między bębnem i szczękami. Poślizg ten jest spowodowany niejednostajnością pracy silnika pilarki i bezwładnością pily łańcuchowej.

Zużycie szczęk sprzęgła w czasie pracy pilarki jest wynikiem tarcia występującego między nimi a bębnem. Przy każdym włączeniu i rozłączeniu napędu na pilę łańcuchową następuje poślizg tych elementów. Na ogół sądzi się, że w czasie pracy pilarki, gdy wartość momentu sprzęgła jest większa od momentu silnika, to poślizg nie powinien zaistnieć [4]. A jednak okazuje się, że sprzęgło w czasie pracy się grzeje. Badania temperatury elementów pilarki PS-90 przeprowadzili już w 1980 r. Ciesielczuk, Kucemba i Łukomski [1]. Na rys. 1 przedstawiono jeden z kilku wykonanych przez nich termogramów.



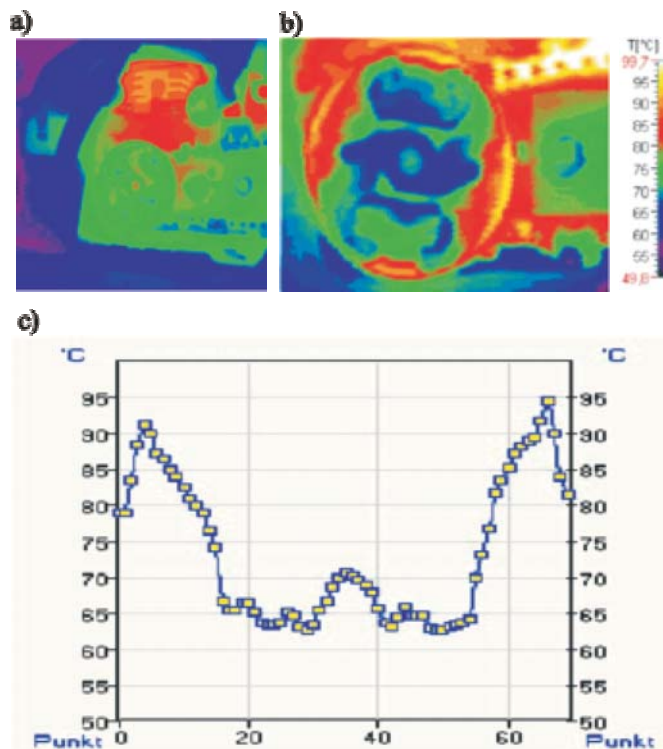
Rys. 1. Termogram pilarki PS-90
Fig. 1. Thermogram of PS-90 chain saw

Autorzy ci w konkluzji stwierdzili, że sprzęgło pilarki nagrzewa się dość równomiernie na całej powierzchni do temperatury ok. 30°C, ale tylko podczas włączania, natomiast podczas piłowania stygnie do temperatury otoczenia. Jednak z zaprezentowanego termogramu wynika, że w okolicach sprzęgła w pilarce występują temperatury ok. 80°C, co nasuwa wątpliwości czy ich konkluzja jest zasadna, bowiem przeczą temu badania Maciaka [2].

Do ustalenia temperatury zespołu roboczego pilarki spalinowej zastosował on kamerę termowizyjną Vigo System V-20 o zakresie od -10 do +1500°C z rozdzielczością termiczną od 0,05 do 5°C. Z wykonanych przez niego termogramów (rys. 2) wynika, że szczęki sprzęgła utrzymują wysoką temperaturę także w czasie pracy (rys. 2b).

Rozkład temperatur w przekroju przechodzącym przez oś wału korbowego od miejsca kontaktu jednej szczęki z bębnem do miejsca kontaktu drugiej szczęki, przedstawiono na rys. 2c. Temperatura szczęk w miejscu styku z bębnem dochodzi do 95°C i maleje w kierunku wału korbowego do temperatury ok. 64°C. Choć nieco cieplejszy jest czop wału korbowego (ok. 70°C) nagrzewający się od silnika, to jednak nie on jest źródłem ciepła dla szczęk, to szczęki są emitentem ciepła. Tak znaczne podwyższenie temperatury szczęk i bębna może być wynikiem tylko tarcia między tymi elementami podczas przenoszenia napędu. Przy czym okresy oczywistego poślizgu podczas włączania i rozłączania są zbyt krótkie, by tak wysoka temperatura mogła utrzymać się przez dłuższy czas (np. obejmujący wykonywanie całego rzazu). Dotychczas jednak

problem grzania się sprzęgła pilarki w czasie skrawania nie znalazł odzwierciedlenia w literaturze.



Rys. 2. Termogram sprzęgła pilarki: a - stan wolnych obrotów, b - stan w chwili po zakończeniu skrawania, c - temperatura elementów sprzęgła na przekroju poprzecznym wykonanym przez szczękę

Fig. 2. Thermogram of chain saw clutch: a - idle running state, b - state just after the end of cutting, c - temperature of clutch components on cross-section

Podobnym problemem tarcia zajmowali się m.in. Tkachuk i Bogdanovich [3]. Badali oni podwyższanie się temperatury na granicy styku dwóch elementów, w przypadku gdy występowały między nimi niewielkie krótkotrwałe ruchy o dużych częstotliwościach. Stwierdzili, że w obszarze styku pulsacyjnie narastająca temperatura może w długotrwałych procesach osiągnąć wartości nawet zbliżone do temperatury topnienia jednego z elementów pary ciernej.

Aby wyjaśnić zjawisko grzania się sprzęgła w pilarce spalinowej i związanych z tym poślizgów, zastosowane zostało wykonane w tym celu specjalne stanowisko pomiarowe (rys. 3).

Zarówno na wale korbowym silnika jak i na bębnie sprzęgła zamocowano koło z wykonanymi precyzyjnie 30 zębami. W czasie pracy czujniki zbierają impulsy i przekazują je do układu przetwarzającego i dalej do komputera. Podział koła na 30 zębów pozwala na bardzo dokładną rejestrację chwilowych

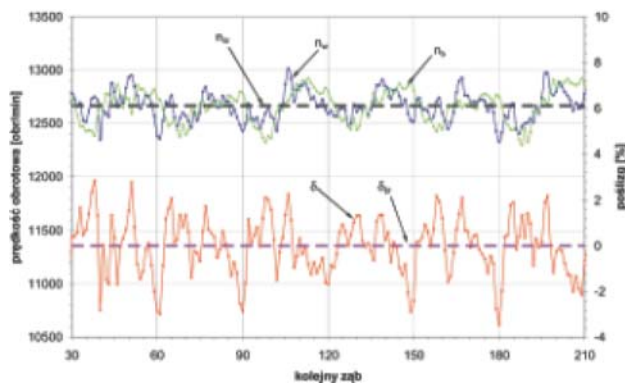
prędkości kątowych wału i bębna sprzęgłowego. Różnice między tymi prędkościami pozwalają na określenie występujących między nimi poślizgów [7].



Rys. 3. Pilarka z układem do pomiaru chwilowych prędkości obrotowych: 1 - koło zębate na wale korbowym, 2 - koło zębate na bębnie sprzęgła, 3 - czujniki

Fig. 3. Chain saw with momentary rotational speed measurement system: 1 - gear wheel on crankshaft, 2 - gear wheel on clutch drum, 3 - sensors

Przeprowadzając badania wstępne pomiary wykonano przy maksymalnej prędkości obrotowej, jaką uzyskuje pilarka bez obciążenia (rys. 4) i w czasie skrawania drewna przy maksymalnym obciążeniu, gdy pilarka pracuje z prędkością blisko granicy obciążenia sprzęgła (rys. 5).

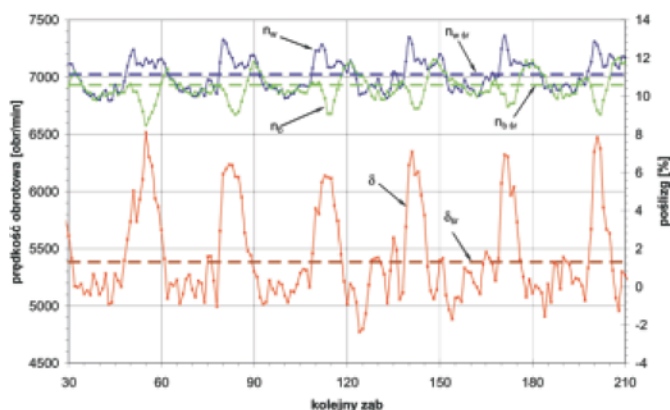


Rys. 4. Fragment przebiegu chwilowej prędkości obrotowej wału korbowego i bębna oraz poślizg w sprzęgle pilarki spalinowej pracującej bez obciążenia

Fig. 4. Course of the crankshaft and drum momentary rotational speed matched with chain saw clutch slip at idle running state

Na rys. 4 przedstawiono przykładowych 6 kolejnych obrotów i zarejestrowane chwilowe prędkości wału korbowego (n_w) i bębna sprzęgłowego (n_b) w czasie, gdy pilarka pracowała z maksymalną prędkością obrotową bez obciążenia siłą skrawania. Zaznacza się tu wyraźny przebieg sinusoidalny dla obu tych prędkości. Wykorzystywana aparatura pomiarowa nie pozwalała jednak na jednoznaczne wskazanie punktu zapłonu mieszanki paliwowo-powietrznej.

Przyczyną zmian jest niejednostajność prędkości kątowej silnika oraz siły bezwładności układu napędowego. Przesunięcie linii prędkości bębna sprzęgłowego jest zarówno w kierunku dodatnim jak i ujemnym w stosunku do linii prędkości wału korbowego silnika. W momencie zapłonu mieszanki paliwowej następuje nagły wzrost prędkości obrotowej wału korbowego silnika. Następuje chwilowy poślizg na sprzęgle pilarki. Bęben sprzęgła i połączona z nim piła łańcuchowa o stosunkowo dużej masie własnej, reagują na to przyspieszenie z pewnym opóźnieniem i poruszają się wolniej. Po przejściu tłoka przez dolne skrajne położenie, gdy rozpoczyna się sprężanie mieszanki w komorze spalania, następuje chwilowy spadek prędkości obrotowej wału korbowego. Na tę zmianę bęben sprzęgła z piłą łańcuchową ponownie reaguje z opóźnieniem. W sprzęgle występuje chwilowy poślizg w kierunku przeciwnym, chwilowa prędkość bębna jest większa niż prędkość wału korbowego silnika. Amplituda zmian chwilowych prędkości obrotowych wynosi ok. ± 300 obr/min, jednak średnie prędkości obrotowe dla wału i bębna sprzęgła nie różnią się od siebie. W badanym przedziale wartości te wyniosły $n_{w, sr} = 12666$ obr/min, $n_{b, sr} = 12665$ obr/min.



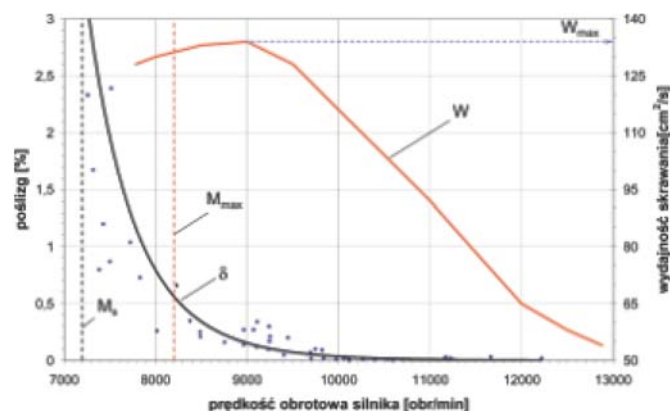
Rys. 5. Przebieg chwilowej prędkości obrotowej wału korbowego i bębna oraz poślizg w sprzęgle pilarki spalinowej w czasie skrawania drewna

Fig. 5. Course of the crankshaft and drum momentary rotational speed matched with chain saw clutch slip during cutting of wood

Chwilowe poślizgi między szczękami a bębniem mają dwustronny kierunek, bowiem w zakresie rozpatrywanych prędkości obrotowych nie stwierdzono różnic w liczbie obrotów wału korbowego silnika i bębna sprzęgłowego. Wartości chwilowe poślizgu sprzęgła dochodzą do $\pm 3\%$, jednak wartość średnia dla badanego przedziału wyniosła $\delta_{sr} = 0,003\%$.

Nieco inaczej wygląda przebieg prędkości obrotowych w trakcie skrawania drewna, gdy układ obciążony jest maksymalnymi siłami i pracuje w niestabilnym zakresie prędkości obrotowej, czyli przy prędkości gdzie chwilowy przyrost obciążenia sprzęgła może doprowadzić do pełnego poślizgu. Występują tu wyraźne, dłuższe przedziały czasowe o jednokierunkowym poślizgu (rys. 5). W czasie, gdy wał korbowy silnika przyspiesza, następuje spadek prędkości bębna sprzęgła i będącej pod obciążeniem siłą skrawania piły łańcuchowej.

Chwilowe poślizgi dochodzą do 8%. W kolejnej fazie pracy, gdy spada prędkość wału korbowego, prędkości wału i bębna zrównują się. Pod wpływem bezwładności układu tnącego bęben uzyskuje chwilową prędkość obrotową nieco większą niż prędkość obrotową w chwili, gdy wał osiąga swoją prędkość minimalną. Poślizgi w kierunku przeciwnym osiągają wartości ok. 1%. Rozpatrując dłuższy okres czasu, badania wykazały, że w warunkach dużego obciążenia występuje różnica między średnimi prędkościami wału i bębna sprzęgłowego ($n_{w\ sr} = 7024$ obr/min, $n_{b\ sr} = 6931$ obr/min). Występująca różnica w liczbie obrotów wału i bębna pozwoliła stwierdzić, że w czasie skrawania drewna występują poślizgi jednokierunkowe dochodzące średnio do $\delta_{sr} = 1,3\%$.



Rys. 6. Przebieg wydajności skrawania drewna (W) i poślizgów sprzęgła (δ) w zależności od prędkości obrotowej silnika (n) [8]
Fig. 6. Course of cutting productivity (W) and clutch slip (δ) depending on the engine rotational speed (n) [8]

Na rys. 6 przedstawiony został wykres obrazujący zmianę wydajności skrawania drewna w funkcji prędkości obrotowej silnika oraz towarzyszące jej średnie poślizgi między szczękami a bębnem sprzęgła badanej pilarki spalinowej. Na wykresie tym można wyróżnić dwa zakresy pracy sprzęgła. Zakres stabilnej pracy sprzęgła przy prędkościach obrotowych większych niż prędkość maksymalnego momentu obrotowego silnika (M_{max}) oraz zakres niestabilnej pracy sprzęgła w przedziale między prędkością M_{max} a prędkością rozłączenia sprzęgła M_s . W zakresie stabilnej pracy sprzęgła (powyżej 8200 obr/min), średnia wartość poślizgu w czasie skrawania drewna nie przekracza 0,4 %. Przy prędkościach obrotowych niestabilnej pracy sprzęgła (M_s) poślizgi uzyskują wartość rzędu kilku procent. W tym zakresie chwilowe zwiększenie obciążenia sprzęgła powoduje szybki spadek prędkości poniżej punktu M_s i zatrzymanie się piły łańcuchowej w razie (poślizg 100%). Tylko szybka reakcja operatora zmniejszająca siłę posuwu pozwoli na przejście sprzęgła w stan stabilnej pracy.

Do opisanego przebiegu poślizgu w zakresie prędkości obrotowych silnika powyżej 7000 obr/min, może posłużyć następująca zależność [8]:

$$\delta = 2E + 54n^{-13,972} \quad R^2 = 0,9003.$$

Należy zwrócić uwagę na to, że wzrost wydajności jest powiązany ze wzrostem momentu obrotowego. Maksymalna wydajność skrawania pilarki H357XP przypada na zakres granicznej prędkości obrotowej pomiędzy stabilnym a niestabilnym zakresem pracy układu napędowego pilarki. Zmniejszenie prędkości poniżej 9000 obr/min powoduje nie tylko zmniejszenie wydajności skrawania drewna, ale także przejście w stan niestabilnej pracy układu napędowego pilarki. W związku z tym najkorzystniej byłoby prowadzić skrawanie w zakresie prędkości 9200-9700 obr/min. Na podstawie przeprowadzonej analizy statystycznej można stwierdzić, że występujące w tym zakresie poślizgi (nie przekraczające 0,4%) nie wpływają istotnie na zmianę powierzchniowej wydajności skrawania drewna [5, 6].

Na podstawie powyższych analiz można stwierdzić dużą niejednoznaczność prędkości obrotowej silnika i to, że siły bezwładności są przyczyną dużych chwilowych zmian momentu obciążającego sprzęgło oraz chwilowych dwustronnych poślizgów między szczękami i bębnem. To uzasadnia występowanie zjawiska grzania się sprzęgła podczas skrawania drewna, nawet w stabilnym zakresie prędkości obrotowych.

Literatura

- [1] Ciesielczuk P., Kucemba P., Łukomski Ł.: Badanie rozkładów temperatury na powierzchni pilarki spalinowej. Zeszyty naukowe SGGW-AR, Leśnictwo, 1980, nr 28.
- [2] Maciak A.: Próba wykorzystania metody termograficznej w badaniach pilarek spalinowych. Technika Rolnicza Ogrodnicza Leśna, 2004, nr 2.
- [3] Tkachuk D., Bogdanovich P.: Temperature fields in a high-speed friction contact. Tribologia, 2004, XXXV, nr 1 (193).
- [4] Gendek A.: Wpływ parametrów sprzęgła na wydajność skrawania drewna pilarką spalinową. Praca doktorska. SGGW Wydział Inżynierii Produkcji. Warszawa, 2005.
- [5] Gendek A.: Wpływ stanu sprzęgła na jego współpracę z silnikiem pilarki spalinowej. Technika Rolnicza Ogrodnicza Leśna, 2006, nr 3.
- [6] Gendek A.: Wpływ parametrów silnika pilarki spalinowej na wydajność skrawania drewna. Technika Rolnicza Ogrodnicza Leśna, 2006, nr 6.
- [7] Gendek A., Kociołek M.: Stanowisko do pomiaru prędkości obrotowych i poślizgów w sprzęgle pilarki spalinowej. Technika Rolnicza Ogrodnicza Leśna, 2006, nr 8.
- [8] Gendek A.: Wpływ parametrów układu napędowego pilarki spalinowej na wydajność skrawania drewna. Polska Akademia Umiejętności. Prace Komisji Nauk Rolniczych Leśnych i Weterynaryjnych. Nr 9. Użytkowanie Maszyn Rolniczych i Leśnych. Monografia tom I. Kraków 2007.

RESEARCH OF CLUTCH TEMPERATURE INCREASE OF CHAIN SAW

Summary

During operation the temperature of clutch of chain saw may increase up to 90 degrees Celsius. This increase of temperature is caused by bidirectional slips of jaws on drum. Slip occurs as the result of variability of engine rotational speed and saw chain inertia.