

**Stanisław LABER\***

**WPYW STANU WARSTWY WIERZCHNIEJ  
NA WŁAŚCIWOŚCI TRIBOLOGICZNE ŹELIWA  
SFEROIDALNEGO FERRYTYCZNEGO  
PO NAGNIATANIU**

**THE INFLUENCE OF THE CONDITION OF THE SURFACE  
LAYER ON TRIBOLOGICAL PROPERTIES SPHEROIDAL  
FERRITIC CAST IRON AFTER PRESSING**

**Słowa kluczowe:**

warstwa wierzchnia, żeliwo, obróbka nagniataniem, właściwości tribologiczne

**Key words:**

surface layer, cast iron, processing pressing, tribological properties

**Streszczenie**

W pracy przedstawiono wyniki badań właściwości tribologicznych żeliwa sferoidalnego ferrytycznego po szlifowaniu oraz nagniataniu siłą  $P = 1000 \text{ N}$  i  $4000 \text{ N}$ . Eksperyment tribologiczny przeprowadzono przy pomocy maszyny tarciovo-zużyciowej Amsler 135.

---

\* Uniwersytet Zielonogórski, Wydział Mechaniczny, Instytut Budowy i Eksploatacji Maszyn, ul. prof. Z. Szafrana 4, 65-246 Zielona Góra.

Jako środka smarnego użyto oleju maszynowego M 10. Badania wykazały, że w wyniku obróbki nagniataniem w porównaniu ze szlifowaniem polepszają się własności warstwy wierzchniej żeliwa, co miało wpływ na polepszenie właściwości tribologicznych, tj. zmniejszenie zużycia, obniżenie współczynnika tarcia, temperatury obszaru tarcia oraz skróceniu okresu docierania.

## WPROWADZENIE

O trwałości i niezawodności maszyn i urządzeń decyduje odporność na zużycie węzłów tarcia, które między innymi zależą od stanu warstwy wierzchniej (WW) elementów trących. Stąd o stanie WW wyrobu będzie decydował wybór metody oraz parametry obróbki wykańczającej.

Jedną z szeroko obecnie stosowanych metod polepszania właściwości eksploatacyjnych, elementów maszyn jest obróbka powierzchniowa za pomocą zgniotu na zimno, zwana nagniataniem

Istnieje sporo naukowych opracowań [L. 1, 2] na temat procesu nagniatania stali konstrukcyjnej, brak jest natomiast wyczerpujących opracowań w przypadku obróbki nagniataniem żeliwa.

Żeliwo jest materiałem szeroko stosowanym w przemyśle obrabiarkowym (łoża i korpusy obrabiarek, koła zębate itd.), w przemyśle samochodowym i ciągnikowym (tuleje cylindryczne, tłoki, wały korbowe, czopy, panewki) w przemyśle budowlanym (przekładnie i inne).

## CEL I ZAKRES BADAŃ

Przedmiotem niniejszej pracy było określenie wpływu stanu WW na właściwości tribologiczne żeliwa sferoidalnego ferrytycznego po szlifowaniu oraz nagniataniu. Ten rodzaj żeliwa został wybrany spośród innych żeliw ze względu na korzystne wskaźniki charakteryzujące stan WW po obróbce nagniataniem [L. 4, 5].

Skład chemiczny żeliwa, na którym przeprowadzono badania, przedstawiono w **Tab. 1**, natomiast mikrostrukturę na **Rys. 1**.

**Tabela 1. Skład chemiczny i własności mechaniczne żeliwa GJSF**

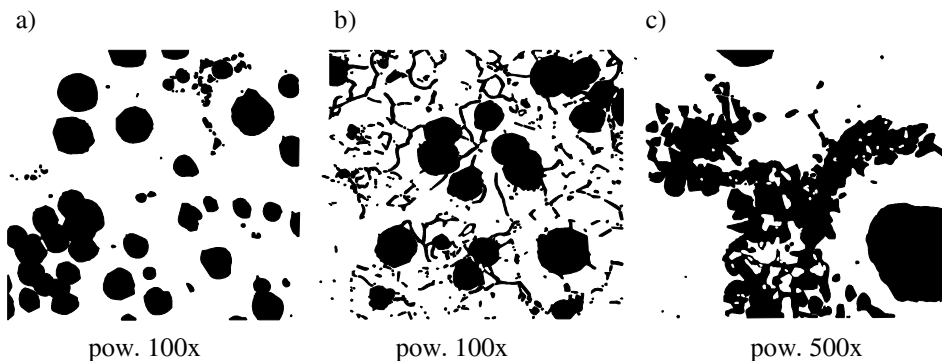
Table 1. Chemical composition and mechanical properties of cast iron GJSF

Rodzaj żeliwa	Skład chemiczny [%]					HB [MPa]	Rm [MPa]
	C	Mn	Si	P	S		
GJSF	3,51	0,51	3,47	0,11	0,0231	205	595

Jako obróbkę powierzchniową zastosowano szlifowanie oraz nagniatanie siłą  $P = 1000$  i  $4000$  N, przy stałych pozostałych parametrach technologicznych nagniatania:

- posuw nagniatania  $f_n = 0,21$  mm/obr,
- prędkość nagniatania  $v = 56$  m/min,
- liczba przejść  $i = 2$ .

Powierzchnie nagniatano rolką o średnicy  $d = 60$  mm i promieniu  $r = 20$  mm, w obecności oleju maszynowego M 10.



**Rys. 1. Mikrofotografie mikrostruktury żeliwa sferoidalnego GJSF: a) pow. nie-trawiona, b), c) – powierzchnia trawiona nitalem**

Fig. 1. Microphotographs microstructure spheroidal cast iron GJSF: a) surface is not etched, b), c) – nitral etched surface

Obróbkę szlifowaniem zastosowano w celu porównawczym do obróbki nagniataniem. Obróbkę szlifowaniem przeprowadzono przy następujących parametrach technologicznych:

- naddatek  $a_p = 0,10$  mm;
- dosuw wgłębny  $f_g = 0,005$  mm/podw. skok;
- szybkość obwodowa przedmiotu  $v_p = 20$  m/min;
- prędkość obrotowa  $n_p = 159$  obr./min;
- szybkość stołu  $v_s = 1,59$  m/min;
- ilość przejść  $i = 16$ ;
- ilość przejść wyiskrzających  $i_w = 7$ .

Eksperyment tribologiczny przeprowadzono na maszynie tarciovo-zużyciowej AMSLER typ 135 zgodnie z PN-75/M-04305. Na podstawie badań wstępnych, w oparciu o kryterium temperatury występującej w obszarze tarcia, ustalono następujące warunki badań tribologicznych:

- prędkość próbki  $v = 0,419$  m/s;
- droga tarcia  $s = 25\ 133$  m;
- nacisk jednostkowy  $p = 5,17$  MPa;
- smarowanie kropelkowe: olej maszynowy M 10.

Węzeł tarcia stanowiła przeciwpróbka wykonana ze stali C45 ulepszona cieplnie do twardości 40 HRC, a próbkę żeliwo GJSF nagniatane siłami  $P = 1000$  i  $P = 4000$ N.

Przygotowanie do badań obejmowało dotarcie próbek, które prowadzone było do momentu uzyskania 70% nominalnej powierzchni styku próbki z przeciwpróbką. Na podstawie badań rozpoznawczych [L. 3] ustalono:

- okres badań wstępnych ~ 10 000 obrotów,
- okres badań właściwych ~ 200 000 obrotów.

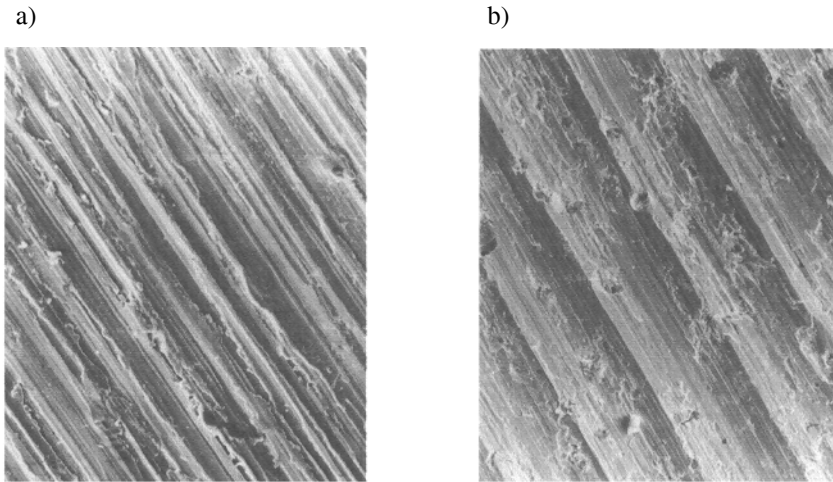
W czasie badań rejestrowano: moment tarcia – M, pracę tarcia – A oraz temperaturę obszaru tarcia – T. Obliczono również średni współczynnik tarcia  $\mu$ .

## WYNIKI BADAŃ I ICH ANALIZA

Na **Rys. 2** przedstawiono porównawcze wyniki badań stanu WW żeliwa po nagniataniu siłami  $P = 1000$  N i  $P = 4000$  N oraz po szlifowaniu. Badania wykazały, że dla żeliwa stan WW po nagniataniu jest zdecydowanie korzystniejszy niż po szlifowaniu – mniejsza chropowatość powierzchni wg parametru  $R_a$ , wyższe gradienty udziału nośnego  $G_{20}$  i  $G_{50}$ , większe umocnienie  $U$  oraz większa wartość naprężeń własnych –  $(\delta_1 + \delta_2)$  ściskających.

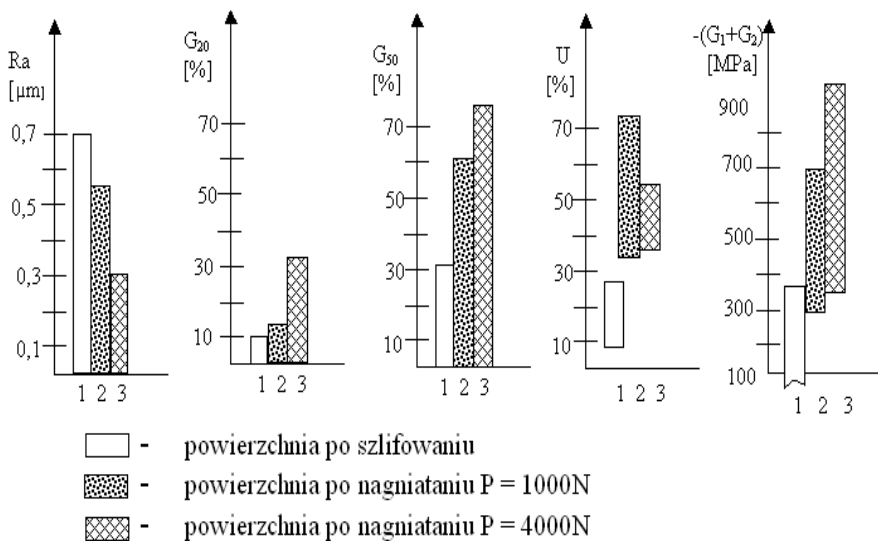
Mikrofotografie struktury geometrycznej powierzchni technologicznej po szlifowaniu oraz po nagniataniu siłą  $P = 4000$  N przedstawiono na **Rys. 2**.

W zakresie własności fizycznych WW powierzchnie po nagniataniu charakteryzują się korzystniej od stanu WW po szlifowaniu (**Rys. 3 i 5**), występują większe wartości umocnienia WW a ponadto w całym zakresie badawczym występujące naprężenia są ściskające. W przypadku szlifowania w warstwie przypowierzchniowej występują naprężenia rozciągające a dopiero w głębszych strefach WW naprężenia ściskające – **Rys. 3 i 4**.



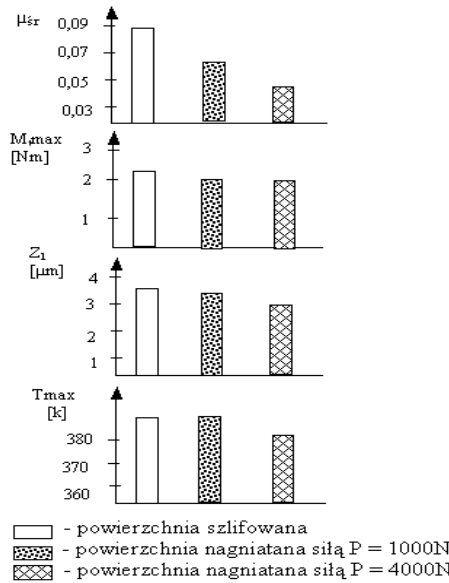
**Rys. 2. Mikrofotografie struktury geometrycznej powierzchni technologicznych: żeliwa GJSF: a) po szlifowaniu, b) po nagniataniu siłą  $P = 4000$  N. Powiększenie 1000x**

Fig. 2. The microphotographies of the structure of the geometrical surface of technological cast iron: a) after grinding b) after pressing force  $P = 400$  N. Increase 1000x

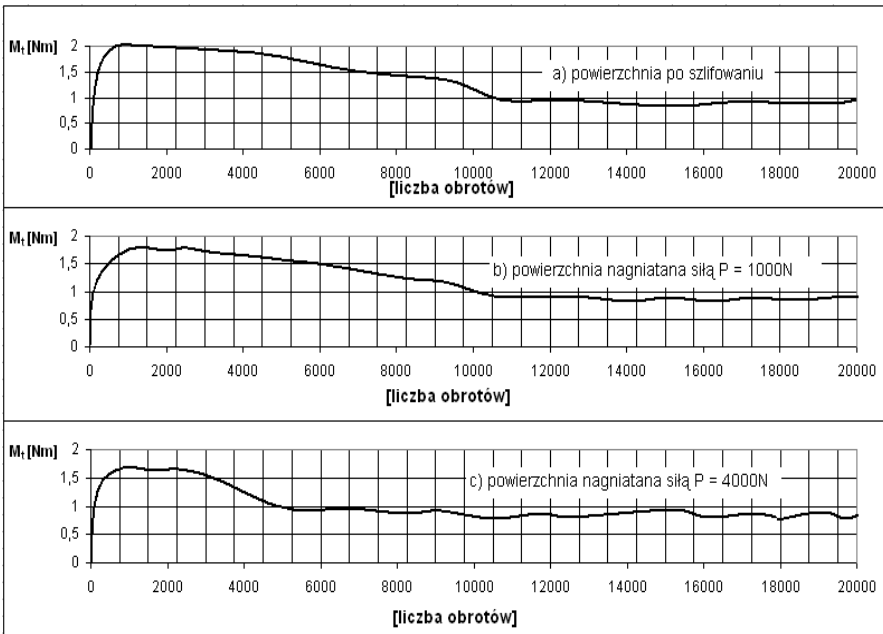


**Rys. 3. Właściwości warstwy wierzchniej żeliwa GJSF po szlifowaniu (1) oraz nagniataniu siłą  $P = 1000$  N (2) i  $4000$  N (3)**

Fig. 3. The properties of surface layer of cast iron after grinding (1) and after pressing force  $P = 1000$  N (2) and  $4000$  N (3)



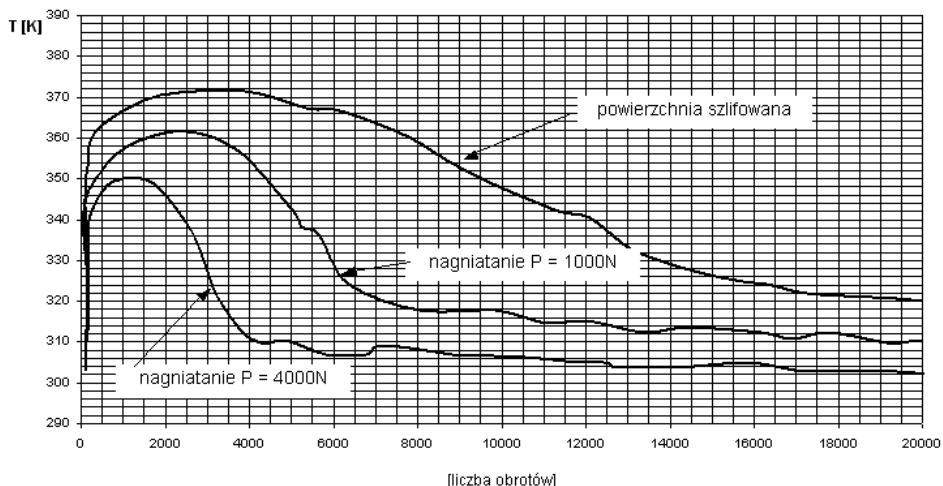
**Rys. 4. Właściwości tribologiczne żeliwa GJSF po szlifowaniu oraz nagniataniu**  
 Fig. 4. Tribological properties of cast iron GJSF after grinding and pressing



**Rys. 5. Przebieg zmienności momentu tarcia żeliwa GJSF po szlifowaniu oraz nagniataniu**  
 Fig. 5. The course of the changeability of the moment of the friction cast iron GJSF after grinding and pressing

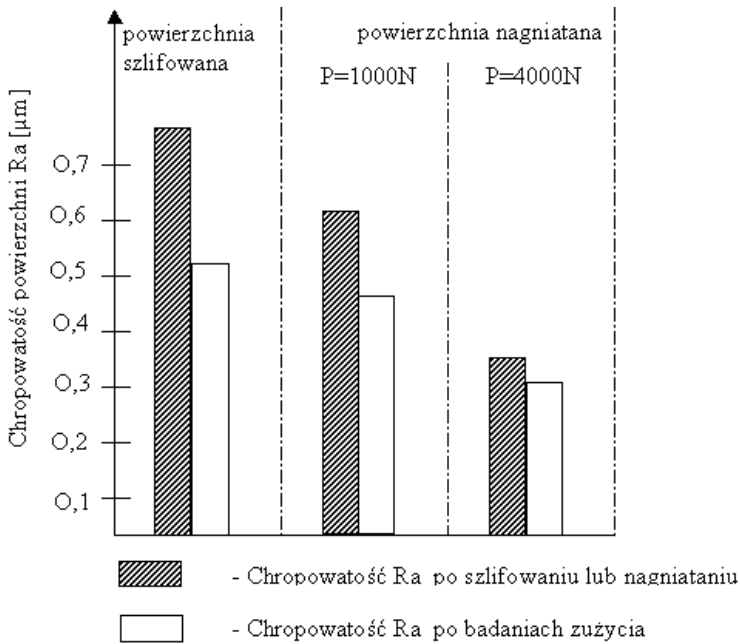
Na **Rys. 4** przedstawiono właściwości tribologiczne żeliwa: maksymalny moment tarcia  $M_{\max}$ , średni współczynnik tarcia  $\mu_t$ , zużycie  $z_1$  oraz maksymalną temperaturę węzła tarcia  $T_{\max}$ . Z przeprowadzonych badań wynika, że obróbka nagniataniem w porównaniu z obróbką szlifowaniem charakteryzuje się korzystnymi właściwościami tribologicznymi. Mniejszy jest moment i współczynnik tarcia, mniejsze zużycie oraz niższa temperatura obszaru tarcia. Przebieg zmienności momentu tarcia przedstawiono na **Rys. 5**, natomiast na **Rys. 6** przebieg zmienności temperatury w obszarze tarcia. Z przeprowadzonych badań wynika, że najwyższa temperatura występuje dla powierzchni szlifowanej, znacznie niższa dla powierzchni nagniatanej siłą  $P = 1000$  N, a najniższa dla powierzchni nagniatanej siłą  $P = 4000$  N.

Jak wykazały badania (**Rys. 5 i 6**), w miarę upływu czasu w procesie tarcia następuje stabilizacja momentu i temperatury obszaru tarcia. Najszybsza stabilizacja występuje dla powierzchni nagniatanej siłą  $P = 4000$  N. Jest to oczywisty skutek wygładzenia powierzchni w procesie nagniatania, co świadczy o najkrótszym okresie docierania współpracujących powierzchni. Zmiany chropowatości powierzchni badanych skojarzeń trących przed i po procesie tarcia przedstawiono na **Rys. 7**.



**Rys. 6. Przebieg zmienności temperatury obszaru tarcia żeliwa GJSF po szlifowaniu oraz nagniataniu**

Fig. 6. The course of the changeability of the temperature of the area of the friction cast iron GJSF after grinding and pressing



Rys. 7. Zmiana parametru chropowości powierzchni według parametru Ra w wyniku procesu tarcia żeliwa GJSF po szlifowaniu i nagniataniu

Fig. 7. The change of the parameter of the roughness Ra in the result of the process of the friction cast iron after grinding and pressing

## PODSUMOWANIE

Przeprowadzone badania wykazały, że:

1. W wyniku nagniatania żeliwa sferoidalnego ferrytycznego *GJSF* w porównaniu z obróbką szlifowaniem uzyskuje się korzystniejszy stan warstwy wierzchniej zarówno w zakresie struktury geometrycznej powierzchni oraz własności fizycznych; (mniejsza chropowość powierzchni według parametru Ra, wyższe gradienty udziału nośnego  $G_{20}$  i  $G_{50}$ , większe umocnienie oraz większa wartość naprężeń własnych –  $(\delta_1 + \delta_2)$  ściskających), który decyduje o właściwościach tribologicznych węzła tarcia.
2. Właściwości tribologiczne żeliwa sferoidalnego ferrytycznego w procesie tarcia zależą od warunków przeprowadzonej obróbki nagniataniem a głównie od siły nagniatana, która ma decydujący wpływ na ilość energii przekazanej na jednostkę powierzchni nagniatanej, a tym samym na ukształtowanie stanu warstwy wierzchniej o określonej



strukturze geometrycznej powierzchni wpływa na własności fizyczne WW.

3. Najkorzystniejsze właściwości tribologiczne żeliwa sferoidalnego ferrytycznego w porównaniu ze szlifowaniem uzyskano po obróbce nagniataniem siłą  $P = 4000$  N (która, jak wykazały badania [L. 5], jest siłą optymalną) – mniejsze zużycie, mniejszy współczynnik tarcia oraz niższą temperaturę w procesie tarcia.
4. Powierzchnie po nagniataniu skracają czas docierania, co spowodowane jest charakterystyczną strukturą geometryczną powierzchni (**Rys. 2**) oraz występującymi naprężeniami własnymi ściskającymi.
5. Wskazano jest wprowadzenie technologii nagniatania żeliwa do praktyki przemysłowej.

## LITERATURA

1. Kaczmarek J., Polowski W.: Stan warstwy wierzchniej stali konstrukcyjnych w procesie tocznego dogniatania głowicą wielorolkową. Prace IOS. Referaty 270/1974.
2. Przybylski W.: Badania porównawcze wpływu nagniatania i szlifowania na niektóre właściwości użytkowe warstwy wierzchniej stali konstrukcyjnej. Praca doktorska, Gdańsk 1975.
3. Laber S. i inni: Badania w zakresie technologii obróbki gładkościowo-wzmacniającej żeliw w aspekcie zwiększenia odporności elementów maszyn na zużycie ściernie oraz wytrzymałość kontaktowo-zmęczeniową – PW 05.1.1. 1978/81.
4. Laber A., Frąckowiak Ł.: Badania wpływu stanu warstwy wierzchniej po obróbce nagniataniem na właściwości tribologiczne wybranych gatunków żeliwa. Praca doktorska, WITPiS 1983.
5. Laber S.: Analiza współzależności pomiędzy stanem warstwy wierzchniej a właściwościami użytkowymi żeliwnych elementów maszyn obrabianych nagniataniem. Monografia 32, WSiInż. Zielona Góra 1985.
6. PN-7S/M-0430S – Oznaczanie odporności na zużycie na maszynie Amslera.

**Recenzent:**  
**Janusz JANECKI**

## Summary

**In this paper the results of the investigations of tribological properties of cast iron after grinding and pressing have been presented. The experiment was conducted by the help of the machine Amsler 135. As a lubricant the machine oil M10 was used. Studies have shown that by treating pressing the property of surface layer improves. This has implicated for improving the tribological properties: the reducing wear, the lowering of the coefficient of the friction, the temperature area of friction and the shortening the running.**