

WPŁYW NAWĘGLANIA I HARTOWANIA NA DOKŁADNOŚĆ WYKONANIA KÓŁ ZĘBATYCH

Andrzej LORENC¹, Anna SŁAWIŃSKA²

1. WPROWADZENIE

Wzrost wymagań dokładności wykonania kół zębatach przy zwiększeniu wydajności produkcji powoduje rozwój nowych technologii obróbczych. Wprowadzenie nowych narzędzi do obróbki kół zębatach powoduje zwiększenie szybkości skrawania przy frezowaniu oraz pozwala obrabiać materiały o twardości do 62 HRC. Są jednak koła, które muszą być nawęglane i hartowane [3]. Koła o wysokiej odpowiedzialności pod względem wytrzymałości i dokładności wymagają odpowiedniej technologii wykonania. Po frezowaniu poddawane są obróbce nawęglania, hartowania, odpuszczania, a następnie szlifowania uzębienia. Zwiększone wymagania technologiczne i koszty produkcji wymuszają powstawanie nowych technologii obróbki cieplnej. Metoda nawęglania, hartowania jak i odpuszczania w osobnych procesach stosowana jest coraz rzadziej. Stosowane są metody nawęglania, hartowania i odpuszczania w jednym procesie, w atmosferze ochronnej. Obecnie coraz częściej stosowana jest metoda nawęglania, hartowania i odpuszczania w próżni [1, 2]. Tę metodę wykorzystuje się często jako obróbkę ostateczną.

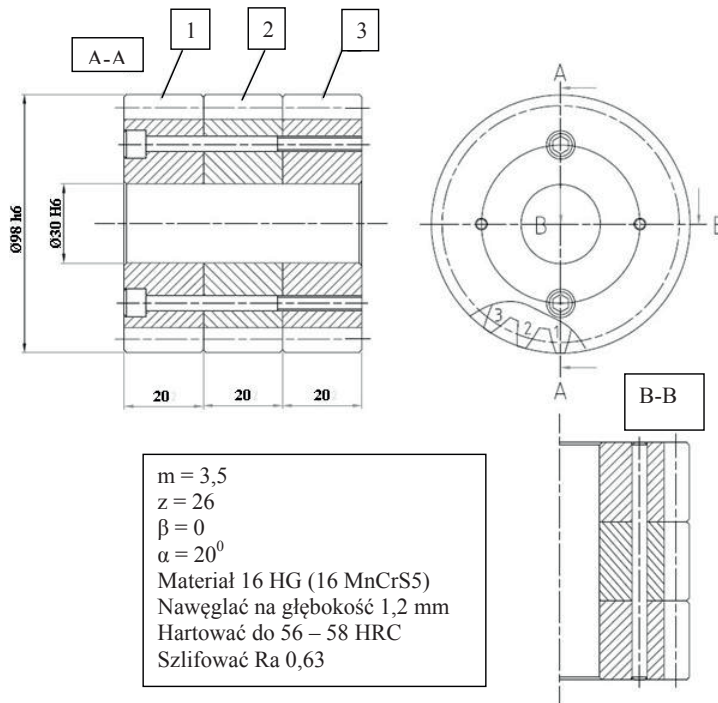
W referacie przedstawiono wpływ poszczególnych rodzajów obróbki nawęglania, hartowania i odpuszczania na dokładność wykonanych kół.

2. PRZYGOTOWANIE PRÓBEK I WARUNKI OBRÓBKIE CIEPLNEJ

Do badań zaprojektowano specjalne obtoczki, wykonane ze stali 16MnCr5 (poprzednie oznaczenie 16HG). W celu wyeliminowania różnic wykonawczych zmontowano trzy obtoczki razem ustalając je dwoma kołkami i zabezpieczając dwiema śrubami (Rys. 1). W tak zmontowanych trzech kołach szlifowano otwór oraz średnicę zewnętrzną.

¹ Instytut Obrabiarek i Technologii Budowy Maszyn Politechniki Łódzkiej, ul. Stefanowskiego 1/15, 90-924 Łódź.

² Katedra Pojazdów i Podstaw Budowy Maszyn Politechniki Łódzkiej, ul. Żeromskiego 116, 94-024 Łódź.



Rys. 1. Sposób wykonania kół do badań. Koło nr 1 – nawęglanie i hartowanie próżniowe, koło nr 2 – nawęglanie i hartowanie w atmosferze ochronnej, koło nr 3 – nawęglanie i hartowanie metodą tradycyjną

Następnie frezowano uzębienie na frezarce obwodniowej i szlifowano na szlifierce typu NILES metodą obwodniowo-podziałową. Tak wykonane koła zębate po szlifowaniu pomierzono.

Po wykręceniu śrub i wyjęciu kołków powstały trzy koła odpowiednio oznakowane (Rys. 1). Każde z kół wysłano do innego zakładu i poddano różnym sposobom obróbki cieplnej:

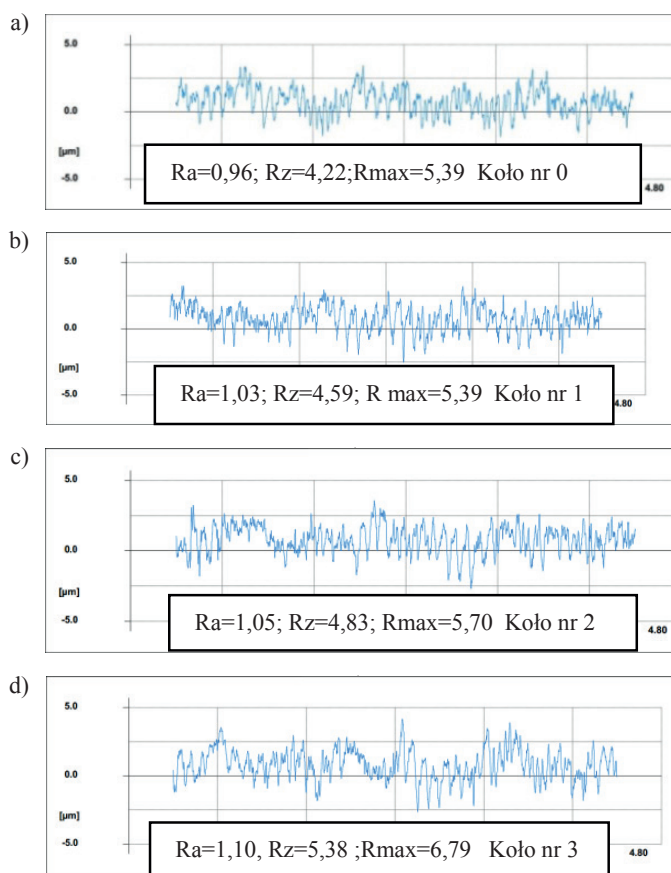
- koło nr 1 zostało nawęglone, hartowane i odpuszczone w próżni metodą FINE-CARB, temperatura nawęglania 950° , temperatura hartowania 860° , temperatura odpuszczania 180°
- koło nr 2 poddano nawęglaniu, hartowaniu i odpuszczeniu w atmosferze ochronnej, endotermicznej; temperatura nawęglania 910° , temperatura hartowania 820° , temperatura odpuszczania 200° .
- koło nr 3 nawęglano i hartowano metodą tradycyjną, temperatura nawęglania 950° , temperatura hartowania 860° , temperatura odpuszczania 190° .

Pomiary kół wykonano przed i po obróbce cieplnej. Mierzono bicie każdego koła na średnicy podziałowej, nierównomierność podziałki, grubość zęba i chropowatość zarysu zęba. Ewolwentowy zarys zębów sprawdzano przed i po obróbce

cieplnej [4]. Ze względu na obszerność materiału badawczego autorzy ograniczyli się w referacie do omówienia wpływu obróbki cieplnej na chropowatość powierzchni zarysu zęba, bicie uzębienia i na zarys ewolwenty.

2.1. WPŁYW OBRÓBKİ CIEPLNEJ NA CHROPOWATOŚĆ POWIERZCHNI ZARYSU ZĘBA

Pomiar chropowatości powierzchni przeprowadzono za pomocą profilografometru T800 CAN firmy HOMMEL WERKE (Niemcy). Chropowatość zarysu zęba przedstawiono na rys. 2.



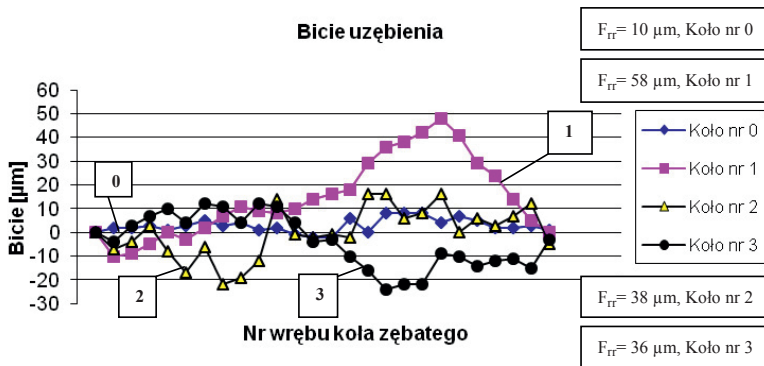
Rys. 2. Chropowatość powierzchni zęba. Przykładowe wartości (w µm) parametrów Ra, Rz, Rmax dla lewej flanki zęba nr 1: a) koło nr 0, bez obróbki cieplnej, b) koło nr 1, c) koło nr 2, d) koło nr 3

Warunki pomiaru: typ końcówki pomiarowej TKU300, zakres pomiarowy 400 μm , jednostka napędowa waveline 60, długość odcinka pomiarowego $L_t = 4,80$ mm, prędkość $V_t = 0,50$ mm/s, Filtr ISO 1156(M1), $\lambda_c = 0,800$ mm (cut off), λ_c/λ_s wyłączone.

Omawiane trzy metody nawęglania, hartowana i odpuszczania nie powodują pogorszenia chropowatości powierzchni zęba.

2.2. WPŁYW OBRÓBKI CIEPLNEJ NA BICIE UZĘBIENIA

Pomiaru bicia dokonano za pomocą uniwersalnego urządzenia do pomiaru kół zębatych Prüfgerät, wyprodukowanego przez Carl Zeiss Jena z zamocowanymi czujnikami elektronicznymi firmy MITUTOYO, podłączonymi do komputera. Wyniki opracowano przy pomocy programu Excell. Wyniki pomiaru bicia uzębienia koła przed obróbką cieplną przedstawia krzywa oznaczona cyfrą „0”. Rzeczywista odchyłka bicia uzębienia koła 0 wynosi $F_{rr} = 10$ μm . Bicie uzębienia koła nr 1 przedstawia krzywa oznaczona na wykresie cyfrą „1”. Rzeczywista odchyłka bicia uzębienia koła nr 1 wynosi $F_{rr} = 57$ μm . Bicie uzębienia koła nr 2 przedstawia krzywa oznaczona na wykresie cyfrą „2”. Rzeczywista odchyłka bicia uzębienia koła nr 2 wynosi $F_{rr} = 38$ μm . Bicie uzębienia koła nr 3 przedstawia krzywa oznaczona na wykresie cyfrą „3”. Rzeczywista odchyłka bicia uzębienia koła nr 3 wynosi $F_{rr} = 36$ μm . Bicie kół zębatych przed i po obróbce cieplnej zamieszczono na Rys. 3, (F_{rr} – rzeczywiste bicie promieniowe koła).



Rys. 3. Bicie uzębienia kół 0, 1, 2 i 3. Koło nr 0 – bez obróbki cieplnej, koło nr 1 – nawęglanie i hartowanie próżniowe, koło nr 2 – nawęglanie i hartowanie w atmosferze ochronnej, koło nr 3 – nawęglanie i hartowanie metodą tradycyjną [5]

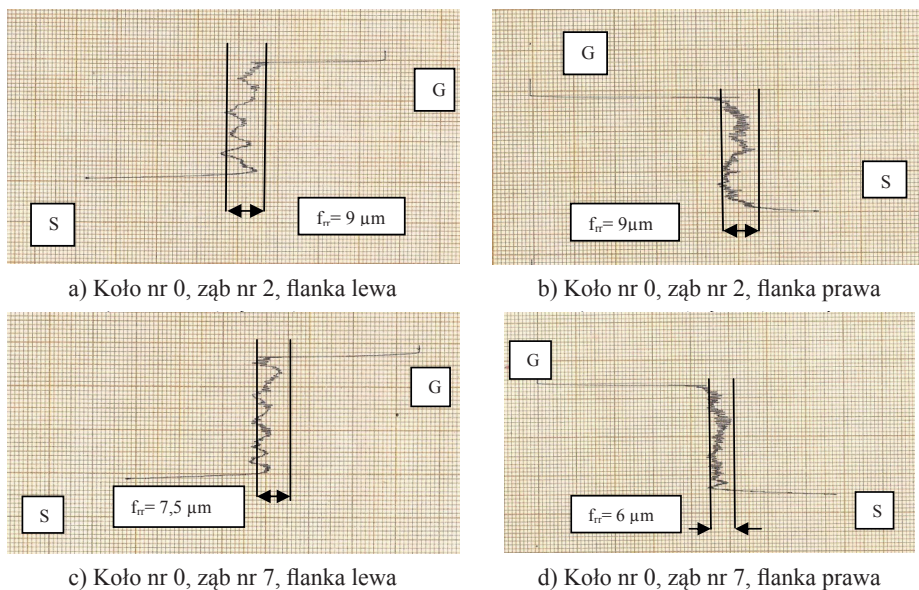
Z porównania otrzymanych wyników bicia uzębienia jednoznacznie wynika, że największa zmiana nastąpiła w trakcie nawęglania, hartowania i odpuszczania w próżni i wynosi 58 μm .

Zmiany bicia uzębienia w metodzie nawęglania, hartowania i odpuszczania tradycyjnej są porównywalne ze zmianami w trakcie nawęglania, hartowania i odpuszczania w atmosferze ochronnej i wynoszą odpowiednio: $F_{rr} = 38$ μm i $F_{rr} = 36$ μm .

2.3. WPŁYW OBRÓBKI CIEPLNEJ NA ZARYS EWOLWENTY

Zarys ewolwenty mierzono na ewolwentomierzu firmy CARL ZEISS JENA.

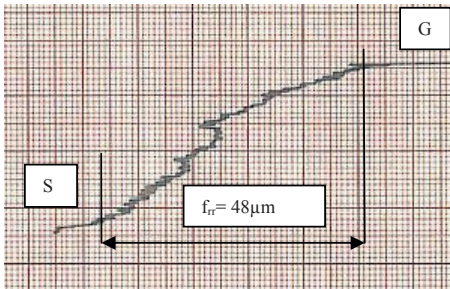
Dokonano pomiarów wszystkich zarysów zębów kół przed i po obróbce cieplnej. Rys. 4 przedstawia zarysy zębów prawej i lewej flanki koła zębatego przed obróbką cieplną. Z wykonanych 26 wykresów zarysów zębów lewej flanki zęba oraz 26 wykresów prawej flanki wybrano maksymalną i minimalną rzeczywistą odchyłkę zarysu zęba f_{rr} . Maksymalna rzeczywista odchyłka zarysu zęba nr 2, koła nr 0 wynosi $f_{rr} = 9 \mu\text{m}$ (obie flanki). Minimalna odchyłka zarysu zęba nr 7, koła nr 0, flanka prawa wynosi $f_{rr} = 6 \mu\text{m}$.



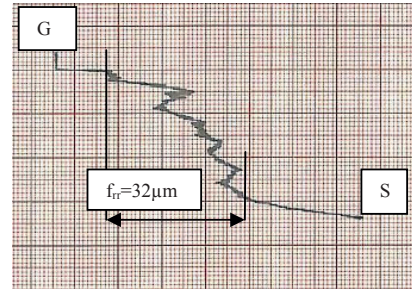
Rys. 4. Wybrane zarysy ewolwenty koła nr 0 a) ząb nr 2 lewa flanka, b) ząb nr 2, prawa flanka, c) ząb nr 7 flanka lewa, d) ząb nr 7, flanka prawa

Na Rys. 5 przedstawiono zarysy zębów prawej i lewej flanki koła zębatego po nawęglaniu, hartowaniu i odpuszczeniu w próżni. W taki sam sposób, jak dla koła 0, ze wszystkich otrzymanych wykresów zarysów zębów, wybrano maksymalne i minimalne rzeczywiste odchyłki zarysu zęba. Maksymalna rzeczywista odchyłka zarysu zęba nr 2, flanka lewa, koła nr 1, wynosi $f_{rr} = 48 \mu\text{m}$. Minimalna rzeczywista odchyłka zarysu zęba nr 5, koła nr 1, flanka prawa wynosi $f_{rr} = 27 \mu\text{m}$.

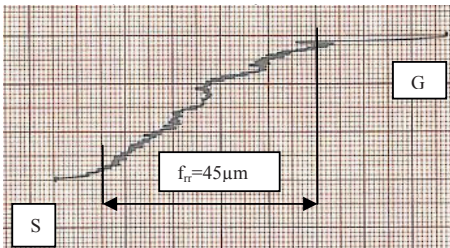
Na Rys. 6 przedstawiono zarysy zębów prawej i lewej flanki koła zębatego nawęglanego, hartowanego i odpuszczanego w atmosferze ochronnej. Dla zobrazowania rozrzutu zarysu zęba koła zębatego wybrano maksymalną i minimalną odchyłkę zarysu zęba. Maksymalna rzeczywista odchyłka zarysu wynosi zęba nr 14, koła nr 2, flanka prawa wynosi $f_{rr} = 42 \mu\text{m}$. Minimalna rzeczywista odchyłka zarysu zęba nr 7, koła nr 2, flanka prawa wynosi $f_{rr} = 17 \mu\text{m}$.



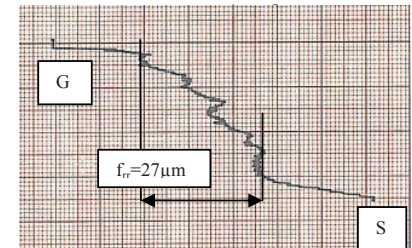
a) Koło nr 1, ząb 2, lewa flanka



b) Koło nr 1, ząb 2, prawa flanka

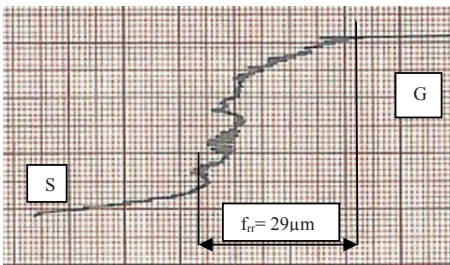


c) Koło nr 1, ząb 5, lewa flanka

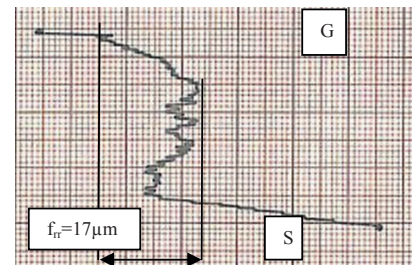


d) Koło nr 1, ząb 5, prawa flanka

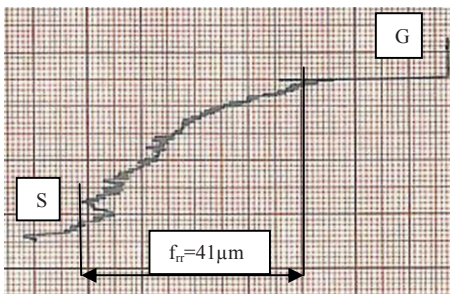
Rys. 5. Wybrane zarysy ewolventy koła nr 1 a) ząb nr 2, lewa flanka, b) ząb nr 2, prawa flanka, c) ząb nr 5, lewa flanka, d) ząb nr 5, prawa flanka



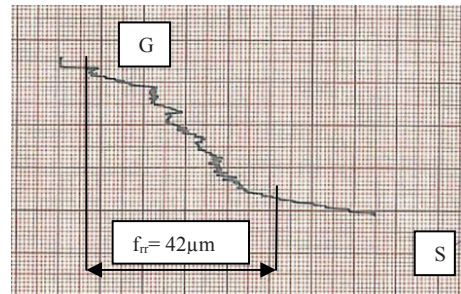
a) Koło nr 2, ząb nr 7, lewa flanka



b) Koło nr 2, ząb nr 7, prawa flanka



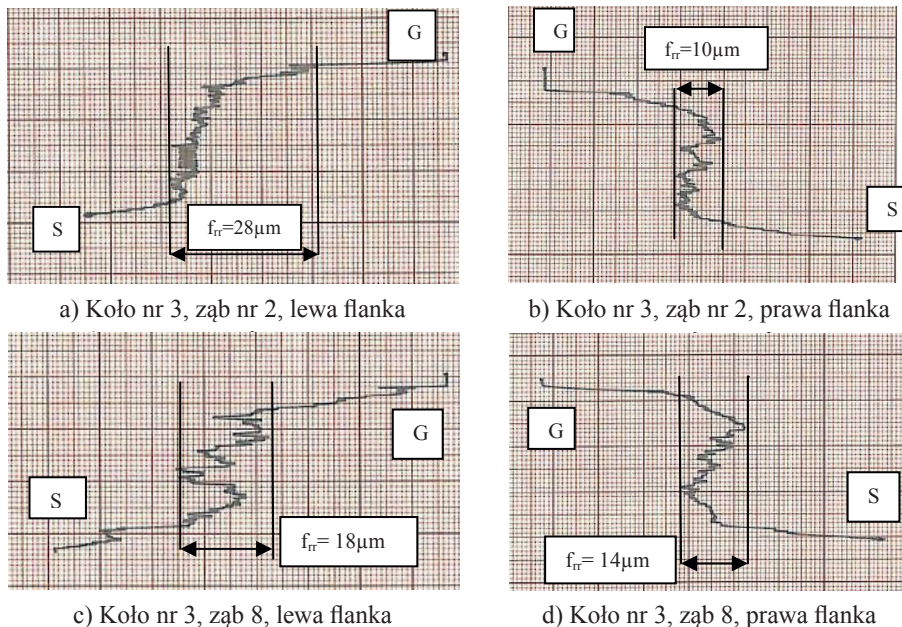
c) Koło nr 2, ząb nr 14, lewa flanka



d) Koło nr 2, ząb 14, prawa flanka

Rys. 6. Wybrane zarysy ewolventy koła nr 2 a) ząb nr 7, lewa flanka b) ząb nr 7, prawa flanka, c) ząb nr 14, lewa flanka, d) ząb nr 14, prawa flanka

Pomiary wszystkich zarysów zębów koła zębatego nr 3 zawierają 52 wykresy ewolwent mierzonego koła. Na rys. 7 przedstawiono wybrane zarysy zębów prawej i lewej flanki koła zębatego nawęglanego, hartowanego i odpuszczanego metodą tradycyjną.



Rys. 7. Wybrane zarysy ewolwenty koła nr 3, a) ząb nr 2, lewa flanka, b) ząb nr 2, prawa flanka, c) ząb nr 8, lewa flanka, d) ząb nr 8, prawa flanka

Maksymalna rzeczywista odchyłka zarysu zęba nr 2, koła nr 3, lewa flanka wynosi $f_{tr} = 28 \mu\text{m}$. Minimalna rzeczywista odchyłka zarysu zęba nr 2 koła nr 3, prawa flanka wynosi $f_{tr} = 10 \mu\text{m}$.

Z porównania otrzymanych wyników zarysu uzębienia jednoznacznie wynika, że największe zmiany nastąpiły w trakcie nawęglania, hartowania i odpuszczania w próżni i wynoszą: maksymalna rzeczywista odchyłka zarysu zęba $f_{tr} = 48 \mu\text{m}$, minimalna rzeczywista odchyłka zarysu zęba $f_{tr} = 27 \mu\text{m}$ (Rys. 5)

Zmiany zarysu uzębienia w tradycyjnej metodzie nawęglania, hartowania i odpuszczania wynoszą: minimalna rzeczywista odchyłka zarysu zęba $f_{tr} = 10 \mu\text{m}$, maksymalna rzeczywista odchyłka zarysu zęba $f_{tr} = 28 \mu\text{m}$ (Rys. 7).

3. WNIOSKI

Z przeprowadzonych badań możemy wyciągnąć następujące wnioski:

- Największe zmiany wymiarowo-kształtowe koła spowodowała obróbka cieplna w próżni, zarówno co do bicia, jak i zmiany zarysu zęba,

- Najmniejsze zmiany wymiarowo-kształtowe koła spowodowała tradycyjna obróbka kół zębatych, zarówno co do bicia, jak i zmiany zarysu zęba,
- Obróbka cieplna we wszystkich przypadkach nie spowodowała zmiany pod względem chropowatości powierzchni.

LITERATURA

- [1] KULA P., RZEPKOWSKI A., GÓRECKI M., SINIARSKI D., *Nawęglanie próżniowe technologią XXI wieku*, Prace naukowe Wydziału Mechanicznego Politechniki Łódzkiej, 71, 2002 101-105
- [2] KULA P., RZEPKOWSKI A., SINIARSKI D., KRASIŃSKI A., GÓRECKI, *Postęp w technologii nawęglania*; Inżynieria materiałowa, 3, 2000, 101-105.
- [3] LORENC A., *Wpływ rozkładu naddatku obróbkowego na dokładność zarysu szlifowanych kół zębatych*, Rozprawa doktorska, Łódź 1992.
- [4] OCHĘDUSZKO K., *Kola zębate, Sprawdzenie, tom III*, PWT, Warszawa, 1957.
- [5] Norma PN-79 M88522.01, *Dokładność wykonania. Nazwy, określenia i wartości odchyłek*.

THE INFLUENCE OF CARBURIZING AND HARDENING ON THE ACCURACY OF CARRYING OUT GEARS

The paper presents influence of carburizing and hardening on accuracy of carrying out gears. Grinded gears have been subjected to the following heat treatment: traditional carburizing, hardening and tempering, vacuum carburizing, hardening and tempering, protective atmosphere carburizing, hardening and tempering. Measurements of teeth run out, teeth profile and teeth surface roughness have been done.

Key words: Teeth run out, involute profile, surface roughness of teeth, heat treatment