

Przypalenia szlifierskie w technologicznej warstwie wierzchniej zębów walcowych kół zębatych

Grinding burns in the technological surface of the gear teeth of the cylindrical gears

TADEUSZ ZABOROWSKI
RYSZARD OCHENDUSZKO*

DOI: <https://doi.org/10.17814/mechanik.2017.10.135>

English version available on: www.mechanik.media.pl

Przedstawiono wyniki badań przypaleń szlifierskich technologicznej warstwy wierzchniej zębów walcowych kół zębatych. Badaniu poddano koła zębate o zębach prostych, modułach $m = 2\div 6$ mm, szerokości wieńca $b = 26\div 94$ mm i liczbie zębów $z = 12\div 48$, wykonane ze stali 40H i 12H2N4A o twardości 60 HRC. Do szlifowania zastosowano ściernicę T1Q, której parametry były następujące: średnica zewnętrzna $D = 350$ mm, szerokość $H = 25$ mm, kąt wierzchołkowy $\delta = 140^\circ$, rodzaj ziarna 99A, wielkość ziarna 60, twardość H, struktura 5, spoiwo V. Uzyskane wyniki badań wykazały zależność pomiędzy obecnością przypaleń szlifierskich a stosowanymi parametrami obróbki i grubością warstwy skrawanej, co świadczy o występowaniu zjawisk cieplnych w strefie skrawania.

SŁOWA KLUCZOWE: przypalenia, szlifowanie, koła zębate, TWW

The article presents the results of research on the grinding of the technological grinding of the tooth surface of toothed wheel cylinders. The toothed teeth with straight teeth, modules $m = 2\div 6$ mm, bore width $b = 26\div 94$ mm, number of teeth with $z = 12\div 48$ made of 40H and 12H2N4A steel with a hardness of 60 HRC. For grinding, T1Q grinding wheel has the following parameters: $D = 350$ mm, $H = 25$ mm, $\delta = 140^\circ$, grains 99A, grain size 60, hardness H, structure 5, binder V. The results of tests show the dependence of grinding scales on the parameters used machining and thickness of the sliced layer and this means the heat effects in the cutting zone.

KEYWORDS: burns, grinding, gears, TTL

W procesie technologicznym powstają różnego rodzaju zakłócenia w układzie OUPN (obrabiarka – uchwyt – przedmiot obrabiany – narzędzie), które wpływają na jakość wykonania zębów kół zębatych, a zwłaszcza na jakość technologicznej warstwy wierzchniej (TWW) [1–3, 5]. Minimalizowanie lub eliminowanie zakłóceń tego procesu ma zatem istotne znaczenie.

W artykule omówiono badania efektów wykonania zębów kół zębatych poprzez ocenę struktury TWW [5, 6] oraz przypadki, w jakich powstają przypalenia szlifierskie (białe plamy).

Metodyka badań

Badania występujących przypaleń w TWW zębów kół zębatych wykonano na szlifierce Niles typu ZSTZ 315 C1, której charakterystyka pozwalała na szlifowanie zębów kół zębatych z następującymi parametrami: szerokością szlifowanego koła zębatego $s = 20\div 170$ mm, liczbą podwójnych skoków ściernicy $n_s = 102\div 315$ min⁻¹, prędkością

posuwu obwodowego $p_o = 80\div 800$ mm/min. Badania dokładności szlifierki przeprowadzono zgodnie z normą PN-85/M-55551 – potwierdziły one, że maszyna spełnia wymagania i można na niej realizować testy [5]. Szlifierka była wyposażona w urządzenia do ostrzenia ściernicy z 3 stron, tj. w obciążacz czołowy i 2 obciążacze boczne, co umożliwiło ostrzenie i wyrównywanie ściernicy po każdym przejściu wokół zęba koła zębatego.

Do szlifowania zastosowano ściernicę typu T1Q o następujących parametrach:

- średnicy zewnętrznej $D = 350$ mm,
- szerokości $H = 25$ mm,
- kącie wierzchołkowym $\delta = 140^\circ$,
- ziarnie ściernym 99A o wielkości 60,
- twardości H,
- strukturze 5,
- spoiwie V.

Twardość ściernicy badano metodą Grindo-Sonic, a wyrównowanie ściernicy przeprowadzono na urządzeniu typu K300BR firmy Rada Torino. Wartość mimośrodowa ściernicy wynosiła 1,0 μ m przy prędkości obrotowej 1000 min⁻¹. Ściernicę wyrównywano i ostrzono pod kątem 20°, a głębokość ostrzenia wynosiła 0,01 mm przy prędkości 0,06 mm/min.

Szlifowaniu poddano koła zębate cylindryczne z zębami prostymi o modułach $m = 2\div 6$ mm, szerokości wieńca $b = 26\div 94$ mm i liczbie zębów $z = 12\div 48$, wykonane ze stali 40H i 12H2N4A o twardości 60 HRC [6].

Głębokość szlifowania zębów kół zębatych wynosiła 0,03–0,12 mm, przy czym naddatek na jedną stronę zęba mieścił się w przedziale 0,12–0,35 mm.

Do szlifowania zastosowano płyn obróbkowy typu ER o stężeniu 1:40, który podawano w strefę skrawania z prędkością 15 dm³/min – dopuszczalny poziom zanieczyszczenia wynosił 40 μ m w litrze płynu [5].

Stan TWW zębów kół zębatych badano za pomocą mikroskopu, analizy rentgenowskiej i pomiarów twardości na przyrządzie PMT-3. Głębokość zmian strukturalnych określano na zgładach 3 zębów poddanych trawieniu [5]. Ponadto przeprowadzono badania powierzchniowej wytrzymałości zmęczeniowej zębów kół zębatych. Liczba cykli wynosiła 36×10^4 /h przy obciążeniu 3,87 kN.

Zmiany strukturalne powstałe w wyniku przypaleń

W TWW zębów koła zębatego występują liczne przypalenia o różnym nasileniu. W przypadku szlifowania z małą głębokością (< 0,03 mm) i małymi posuwami poprzecznymi (< 1,5 mm na podwójny skok) proces cieplny charakteryzuje się niewielką intensywnością wydzielania ciepła w strefie skrawania. Prowadzi to do powstania, w różnych miejscach szlifowanej powierzchni zęba koła zębatego, cienkiej warstwy wtórnego hartowania o grubości 1–3 μ m [5, 6].

* Prof. dr hab. inż. Tadeusz Zaborowski, dr h.c. (tazab@sukurs2.pl) – Politechnika Poznańska; mgr inż. Ryszard Ochendusko (r.ochendusko@op.pl) – WSK Rzeszów

Pod tą warstwą położona jest warstwa martenzytu utworzona w wyniku odpuszczania, która w nieznacznym stopniu podwyższa wytrzymałość, gdy w strefie skrawania osiągnięta zostaje taka temperatura, która uniemożliwia rozpad struktury na cementyt i ferryt.

Przy podwyższonych parametrach szlifowania [5] na powierzchni zębów powstają miejscowe głębokie przypalenia, dla których charakterystyczne jest to, że wtórnie zahartowana warstwa leży na powierzchni silnie odpuszczonego metalu i stopniowo przechodzi przez wszystkie stadia odpuszczania (od troostyczno-sorbitycznej do wyjściowej struktury zahartowania).

Na wytrawionych powierzchniach zębów po szlifowaniu występują: ciemno trawiące części w postaci linii i pasów położonych wzdłuż tworzących (troostyt), małe strefy wtórnego hartowania i jasnoszarych części (martenzytycznych).

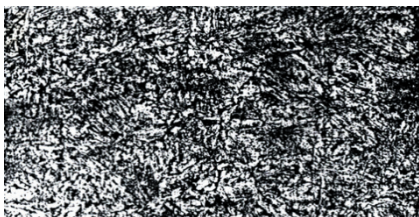
W większości przypadków na powierzchniach zębów kół zębatych po szlifowaniu widać spowodowane odpuszczaniem przypalenia z troostyczną lub troostyczno-sorbityczną strukturą. W różnych miejscach nad odpuszczoną warstwą występuje bardzo cienka ($1\text{--}3\ \mu\text{m}$), nietrawiona powtórnie warstwa hartowanego materiału (rys. 1–4).

W strukturze stali na rys. 1 widoczny jest ferryt z perlitem i siatką cementytu na granicach ziaren, natomiast na rys. 2 – jasny ferryt stopowy z wydzielonym perlitem na tle ferrytu stopowego.

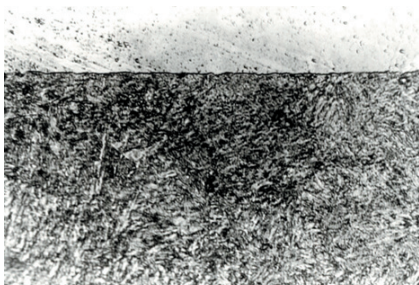
Po szlifowaniu (rys. 3) w strukturze materiału występuje zmiana z drobnziarnistą strukturą na granicach ziaren wraz z perlitem i siatką cementytu.



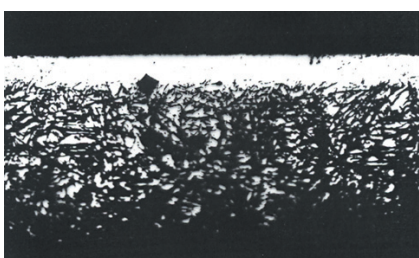
Rys. 1. Mikrostruktura zęba koła zębatego ze stali 40H ($\times 500$)



Rys. 2. Mikrostruktura zęba koła zębatego ze stali 12H2N4A ($\times 500$)

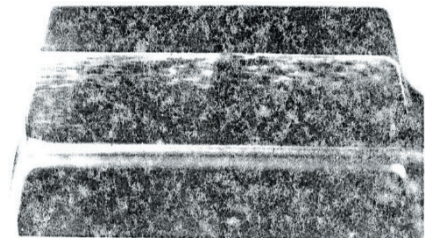


Rys. 3. Mikrostruktura po szlifowaniu koła zębatego ze stali 40H ($\times 500$)

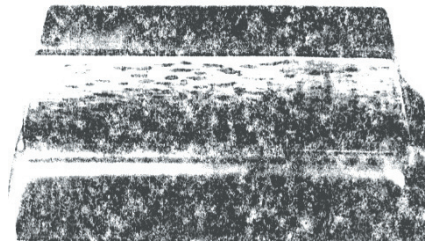


Rys. 4. Mikrostruktura po szlifowaniu koła zębatego ze stali 12H2N4A ($\times 500$)

Rys. 5. Mikrostruktura po szlifowaniu koła zębatego ze stali 12H2N4A ($\times 100$)



Rys. 6. Mikrostruktura po szlifowaniu koła zębatego ze stali 12H2N4A ($\times 300$)



Przedstawione na rys. 5 i 6 koła zębate zostały podane obróbce cieplnej (nawęglaniu, hartowaniu, obróbce podzerowej, odpuszczaniu), a następnie szlifowaniu. TWW wytrawiono nitalem, aby stwierdzić występowanie przypaleń szlifierskich o dużej intensywności. W badanej TWW widoczny był odpuszczony martenzyt i austenit szczątkowy na podłożu, w którym znajdował się martenzyt i austenit szczątkowy. Pomiaru mezotwardości dokonano metodą Knoopa. Mezotwardość przy powierzchni wynosiła $6,81\ \text{kN/mm}^2$, natomiast mezotwardość struktury wyjściowej – $8,07\ \text{kN/mm}^2$. Na rys. 7 pokazano wartości mezotwardości i głębokość jej zalegania w TWW dla występujących przypaleń szlifierskich.

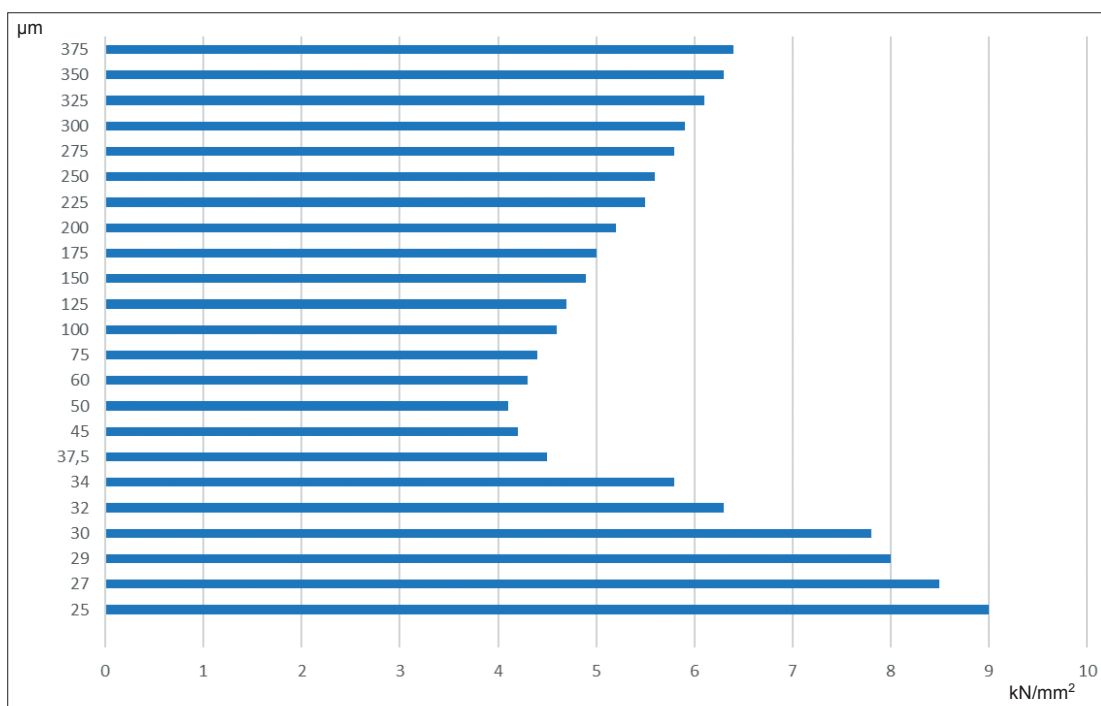
Należy pamiętać, że powstanie głębokich przypaleń szlifierskich ($95\text{--}100\ \mu\text{m}$) powoduje spadek twardości z 60 HRC do 50 HRC [5, 6]. W przeprowadzonych badaniach przypalenia szlifierskie były mniej intensywne i miały mniejszą głębokość (rys. 7), dlatego też spadek twardości badanych stali był znacznie mniejszy i wynosił ok. $2,1\ \text{kN/mm}^2$.

Na rys. 8 przedstawiono wartości mezotwardości dla głębokości ich zalegania w TWW zęba koła zębatego. Badania wykazały, że w przypadku danych zawartych na rys. 8 przypalenia szlifierskie nie występują.

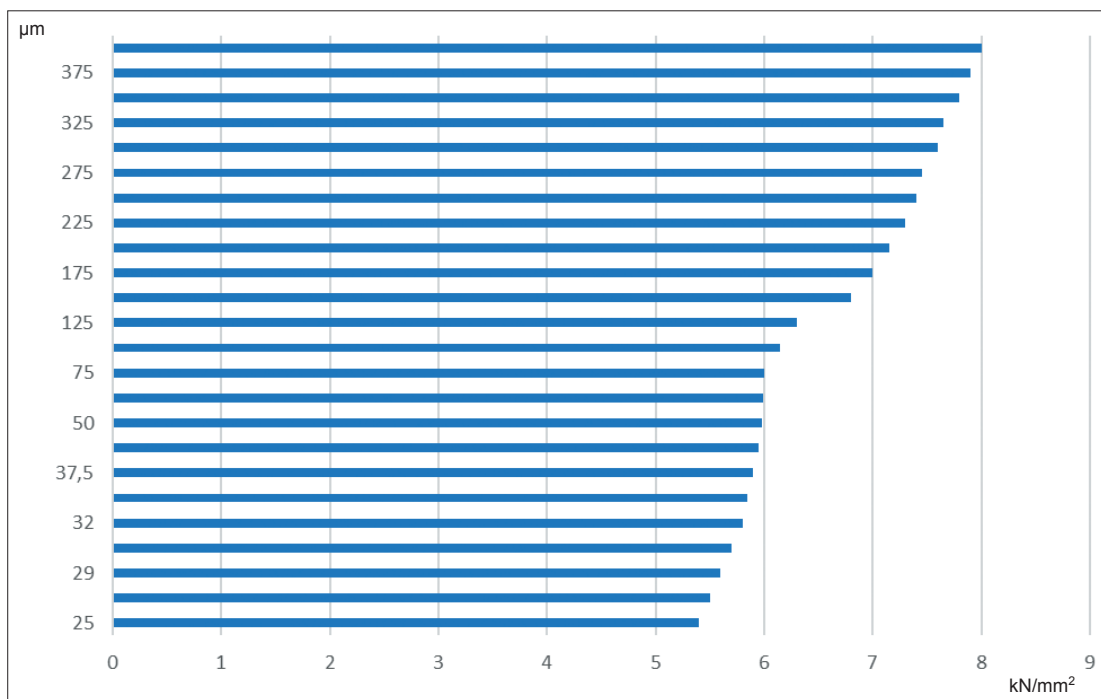
Należy jednak pamiętać, że wielkość współczynnika K (kryterium określające głębokość i natężenie zmian strukturalnych w obrabianym materiale) [6] jest zależna od głębokości szlifowania na pojedyncze przejście i ulega zmianie wraz ze wzrostem promienia krzywizny szlifowanego zęba koła zębatego. Wzrost tego współczynnika i głębokości szlifowania jest wywołany wzrostem przekroju warstwy skrawanej i tym samym wydajności szlifowania [6]. Ustalenie dopuszczalnej wartości współczynnika K umożliwia więc analizę wpływu różnych parametrów prowadzących do wzrostu ciepła w strefie skrawania, a to z kolei pozwala na dobranie takich parametrów i warunków skrawania, które zminimalizują ilość ciepła wytwarzanego w strefie skrawania [6].

Dzięki odpowiednio dobranemu współczynnikowi K można zminimalizować lub wykluczyć (rys. 8) przypalenia szlifierskie. W tym celu należy:

- poprawnie wyznaczyć warunki szlifowania, dla których współczynnik K nie przekracza dopuszczalnej wartości [6];
- do produkcji kół zębatych używać stali EI415 i EI417, które są odporne na działanie ciepła;
- zmniejszyć wielkość wybiegu ściernicy od czoła zęba, co powoduje zmniejszenie posuwu wzdłuż zarysu zęba;
- sprawdzić promień zaostrenia roboczej krawędzi ściernicy.



Rys. 7. Rozkład mezotwardości (określonej metodą Knoopa) w TWW zębów kół zębatych po szlifowaniu



Rys. 8. Wartość mezotwardości (określonej metodą Knoopa) i jej głębokość w TWW zębów kół zębatych po szlifowaniu

Podsumowanie

Przypalenia szlifierskie są niekorzystnym zjawiskiem towarzyszącym szlifowaniu zębów kół zębatych. Zęby takich kół bardzo szybko ulegają zużyciu, a ich powierzchnie – zniszczeniu. W praktyce może to prowadzić do poważnych awarii czy nawet katastrof. Z tego względu proces szlifowania zębów kół zębatych musi być prowadzony w taki sposób, by zapobiec powstawaniu tego typu zjawisk. Stąd istotnego znaczenia nabiera poprawność doboru współczynnika K . W ten sposób można wyeliminować niekorzystne warunki zakłócające przebieg procesu szlifowania.

Przeprowadzone badania wykazały, że przypalenia prowadzą do szeregu istotnych zmian w TWW poprzez zmianę mikrostruktury oraz mezotwardości, co znacząco osłabia właściwości mechaniczne tej warstwy. W efekcie zęby kół zębatych z takimi wadami nie mogą być eksploatowane.

LITERATURA

1. Burakowski T., Wierchoń T. „Inżynieria powierzchni metal”. Warszawa: WNT, 1995.
2. Koistinen D.P., Marburger R.E. “A general equation prescribing the extent of the austenite-martensite transformation in pure iron-carbon alloys and plain carbon steels”. *Acta Metallurgica*. 1 (1959).
3. Markowski T. „Ciepło w obszarze styku”. *III Ogólnopolska Konferencja Naukowo-Techniczna „Obróbka ścierna kół zębatych”*. ODE Gorzów Wlkp., Politechnika Poznańska, Głębokie k. Międzyrzecz 1989.
4. Zaborowski T. “Some mechanical properties of the surface layer after grinding process”. *International Congress „Mechanical Engineering Technologies’97”*. Scientific-Technical Union of Mechanical Engineering, Bulgaria 1997, s. 345–361.
5. Zaborowski T. “Vlijanie effektivnosti processa zuboshlifovanija na osnovu upravljenija tochnostju i kachestvom poverhnostnogo sloja zubev”. Monografia. MGTU STANKIN, Moskva 2006.
6. Zaborowski T., Godawski G., Ochendusko R. „Przypalenia szlifierskie w zębach kół zębatych”. Komisja Inżynierii Powierzchni PAN O/Poznań, IBEN Gorzów Wlkp., 2015.