

KRZYSZTOF WIANKOWSKI, KRYSZTIAN MILEJ*

METODYKA HONOWANIA KÓŁ ZĘBATYCH Z DEFORMACJAMI PO OBRÓBCE CIEPLNEJ

HONING PROCEDURE USED TO GEARS WITH TERMAL DEFORMATIONS

Streszczenie

Honowanie (gładzenie) uzębień walcowych kół zębatach w określonych sytuacjach staje się standardem. Przypadki obróbki wykończeniowej, kiedy nie można zastosować szlifowania, a występuje potrzeba poprawienia zarysu ewolwentowego linii zęba lub stanu powierzchni bocznej, są nie do uniknięcia. Najczęściej wynikają one z konstrukcji obrabianych części oraz związane są z deformacjami po obróbce cieplnej.

Słowa klucze: koła zębata, hartowanie, honowanie

Abstract

Honing (smoothing) of spur gears teeth, in determined situations, is becoming the standard. Cases of finishing processing, where it isn't possible to apply the grinding and a need of correcting the involutes profile, of line of the tooth or the roughness of the side area, are not to avoiding. They most often result from structure of worked parts connected with deformations after the heat process treatment.

Keywords: gears, hardening, honing

* Mgr inż. Krzysztof Wiankowski, mgr inż. Krystian Milej, Instytut Technologii Mechanicznej, Wydział Budowy Maszyn i Zarządzania, Politechnika Poznańska.

1. Wstęp

Nowoczesne wytwarzanie kół zębatach oparte jest w dużej mierze na specjalistycznych procesach, wymagających odpowiednich obrabiarek. Uzębieniom kół zębatach stawia się duże wymagania jakościowe, determinujące sposób obróbki. Honowanie uzębień staje się elementem pakietu operacji wykończeniowych [2, 4, 6]. Poza tym, metodą honowania usuwa się niedokładności wprowadzone przez obróbkę cieplną.

Proces honowania wymaga specjalnej obrabiarki i odpowiedniego oprzyrządowania, którego podstawowymi elementami są: rolka do profilowania oraz hon. Mimo postępu w tej dziedzinie jest niewielu producentów honownic, będących także monopolistami w dziedzinie konstrukcji i wykonania narzędzi. Skłania to do racjonalnego wykorzystania posiadanych zasobów oraz do stosowania zasady podobieństwa technologicznego obrabianych części. Dużą w tym rolę Działów Technicznych i Działów Konstrukcji Oprzyrządowania przedsiębiorstw stosujących ten proces. W nin. pracy przedstawiono wybrane przypadki honowania uzębień na honownicy firmy Fässler.

2. Badania własne

Celem pracy jest wykazanie, że zastosowanie specyficznie zaprojektowanej rolki do profilowania honu pozwala uzyskać wymaganą dokładność uzębienia w procesie honowania.

Omówiony zostanie przypadek obróbki małego wieńca koła zębatego [5], przedstawionego na rysunku 1. Założeniem technologicznym jest wykonanie uzębienia na gotowo metodą dłutowania obwiedniowego [3]. Problemy powstają jednak po przeprowadzeniu obróbki cieplnej części, która powoduje deformację uzębienia tego wieńca. Szlifowanie nie wchodzi w rachubę, z powodu wzajemnego usytuowania obu wieńców zębatach. W celu eliminacji powstałych błędów podjęto próbę zastosowania honowania. Szczegóły operacji honowania przedstawia rysunek 2.

Honowaniem można usunąć niedokładności zarysu ewolwentowego boku zęba oraz linii zęba powstałe po obróbce cieplnej. W tym celu proponuje się następującą metodykę postępowania:

- 1) Przeprowadzenie kompletnych (cała seria produkcyjna) pomiarów parametrów uzębienia po dłutowaniu i analizie tych pomiarów.
- 2) Dokonanie kompletnych (cała seria produkcyjna) pomiarów parametrów uzębienia po obróbce cieplnej i analizie tych pomiarów.
- 3) Ocena trendów występowania niedokładności zarysu i linii zęba, w kategoriach: głowa zęba, stopa zęba, kąt przyporu, kształt linii zarysu (wypukły, wklęsły).
- 4) Analiza pomiarów zarysu dla oceny zmian kąta przyporu [1] (najczęstszy skutek deformacji). Przez zadawanie spodziewanych wartości odchyleń dochodzi się do uzyskania właściwego przebiegu.
- 5) Przygotowanie zarysu honu odpowiednio zaprojektowaną rolką uzębioną z nasypem diamentowym.

Karta operacyjna Manufacturing Operation Sheet		Nazwa części / Part Name Koło zębate Gearwheel-Spur.	Nr części / Part No.	Operacja / Oper. No. 160	Linia / Line	Arkusz / Sheet No. 1																															
Nazwa operacji / Operation Dłutowanie zębów Shaping of teeth	Nr stanowiska / Work Ctr. No.	Nazwa obrabianki / Work Ctr. Name Dłutowalnia do uzębień	Firma / Firm	Typ / Type	Metoda / Method	Wartość / Hardness HRC 30-35																															
Planow. Zaprojektowany / Approved Level Status: ESA, ESA Status			<table border="1"> <tr><td>Ilość zębów</td><td>22</td></tr> <tr><td>Moduł</td><td>2,11667</td></tr> <tr><td>Kąt przyponu</td><td>20</td></tr> <tr><td>Średnica podziałowa</td><td>46,567</td></tr> <tr><td>Średnica wrębu</td><td>40,535±0,075</td></tr> <tr><td>Średnica zasadnicza</td><td>43,7583326</td></tr> <tr><td>Średnica czynnego profilu</td><td>43,8785</td></tr> <tr><td>Promień u podstawy zęba</td><td>0,737 mln</td></tr> <tr><td>Błąd linii zęba</td><td>0,005</td></tr> <tr><td>Błąd ewolwenty</td><td>głowa stopa</td><td>wg wykresu</td></tr> <tr><td>Błąd podziałki pojedynczy</td><td>0,0203</td></tr> <tr><td>Błąd podziałki sumaryczny</td><td>0,0635</td></tr> <tr><td>Grubość zęba po łuku</td><td>3,535±0,015</td></tr> <tr><td>Pomiar przez kulki \varnothing 3,6576</td><td>52,11±0,03</td></tr> <tr><td>Kąt odczacznia</td><td>4°14'55"</td></tr> </table> Uzębienie wg CPW 29 Klasa 1				Ilość zębów	22	Moduł	2,11667	Kąt przyponu	20	Średnica podziałowa	46,567	Średnica wrębu	40,535±0,075	Średnica zasadnicza	43,7583326	Średnica czynnego profilu	43,8785	Promień u podstawy zęba	0,737 mln	Błąd linii zęba	0,005	Błąd ewolwenty	głowa stopa	wg wykresu	Błąd podziałki pojedynczy	0,0203	Błąd podziałki sumaryczny	0,0635	Grubość zęba po łuku	3,535±0,015	Pomiar przez kulki \varnothing 3,6576	52,11±0,03	Kąt odczacznia	4°14'55"
	Ilość zębów	22																																			
Moduł	2,11667																																				
Kąt przyponu	20																																				
Średnica podziałowa	46,567																																				
Średnica wrębu	40,535±0,075																																				
Średnica zasadnicza	43,7583326																																				
Średnica czynnego profilu	43,8785																																				
Promień u podstawy zęba	0,737 mln																																				
Błąd linii zęba	0,005																																				
Błąd ewolwenty	głowa stopa	wg wykresu																																			
Błąd podziałki pojedynczy	0,0203																																				
Błąd podziałki sumaryczny	0,0635																																				
Grubość zęba po łuku	3,535±0,015																																				
Pomiar przez kulki \varnothing 3,6576	52,11±0,03																																				
Kąt odczacznia	4°14'55"																																				
Opracował / Prepared by Nazwisko / Name Podpis / Signature Data / Date Sprawdził / Checked by Nazwisko / Name Podpis / Signature Data / Date Zmiany / Change Nr karty zmian / Change Card No. Oznaczenie / Change No. Podpis / Signature Data / Date Data ostatniej zmiany / Last Change Date	03.04.2009																																				

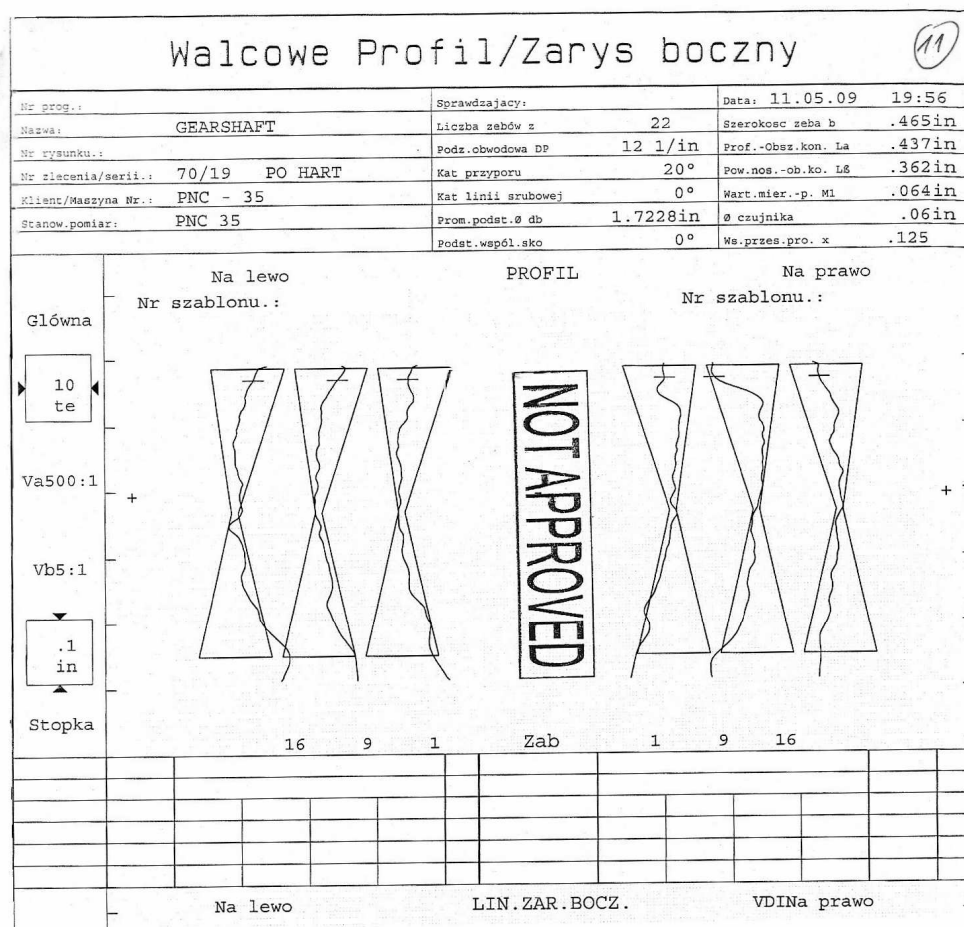
Rys. 1. Karta operacyjna dłutowania uzębienia małego wienca
 Fig. 1. Manufacturing operations sheet for small wreath shaping

Karta operacyjna Manufacturing Operation Sheet		Nazwa części / Part Name Koło zębate Gearwheel-Spur.	Nr części / Part No.	Operacja / Oper. No. 495	Linia / Line	Arkusz / Sheet No. 3																										
Nazwa operacji / Operation Honowanie zębów Gear honing	Nr stanowiska / Work Ctr. No.	Nazwa obrabianki / Work Ctr. Name Honownica do uzębień	Firma / Firm	Typ / Type	Metoda / Method	Wartość / Hardness HRA 61-65																										
Planow. Zaprojektowany / Approved Level Status: ESA, ESA Status			<table border="1"> <tr><td>Ilość zębów</td><td>22</td></tr> <tr><td>Moduł</td><td>2,11667</td></tr> <tr><td>Kąt przyponu</td><td>20</td></tr> <tr><td>Średnica podziałowa</td><td>46,567</td></tr> <tr><td>Średnica zasadnicza</td><td>43,7583326</td></tr> <tr><td>Średnica czynnego profilu</td><td>43,8785</td></tr> <tr><td>Błąd linii zęba</td><td>0,0064</td></tr> <tr><td>Błąd ewolwenty</td><td>wg wykresu</td></tr> <tr><td>Błąd podziałki pojedynczy</td><td>0,0203</td></tr> <tr><td>Błąd podziałki sumaryczny</td><td>0,0635</td></tr> <tr><td>Grubość zęba po łuku</td><td>3,531±0,037</td></tr> <tr><td>Pomiar przez kulki \varnothing 3,6576</td><td>52,10±0,08</td></tr> <tr><td>Kąt odczacznia</td><td>4°14'55"</td></tr> </table> Uzębienie wg CPW 29 Klasa 1				Ilość zębów	22	Moduł	2,11667	Kąt przyponu	20	Średnica podziałowa	46,567	Średnica zasadnicza	43,7583326	Średnica czynnego profilu	43,8785	Błąd linii zęba	0,0064	Błąd ewolwenty	wg wykresu	Błąd podziałki pojedynczy	0,0203	Błąd podziałki sumaryczny	0,0635	Grubość zęba po łuku	3,531±0,037	Pomiar przez kulki \varnothing 3,6576	52,10±0,08	Kąt odczacznia	4°14'55"
	Ilość zębów	22																														
Moduł	2,11667																															
Kąt przyponu	20																															
Średnica podziałowa	46,567																															
Średnica zasadnicza	43,7583326																															
Średnica czynnego profilu	43,8785																															
Błąd linii zęba	0,0064																															
Błąd ewolwenty	wg wykresu																															
Błąd podziałki pojedynczy	0,0203																															
Błąd podziałki sumaryczny	0,0635																															
Grubość zęba po łuku	3,531±0,037																															
Pomiar przez kulki \varnothing 3,6576	52,10±0,08																															
Kąt odczacznia	4°14'55"																															
Opracował / Prepared by Nazwisko / Name Podpis / Signature Data / Date Sprawdził / Checked by Nazwisko / Name Podpis / Signature Data / Date Zmiany / Change Nr karty zmian / Change Card No. Oznaczenie / Change No. Podpis / Signature Data / Date Data ostatniej zmiany / Last Change Date																																

Rys. 2. Karta operacyjna honowania uzębienia małego wienca
 Fig. 2. Manufacturing operation sheet for small wreath honing

Punkty *a* do *c* dotyczą analizy wstępnej zagadnienia. Punkt *d* opisuje metodykę postępowania w dojściu do wartości $\Delta\alpha$, o jaką zostanie skorygowany kąt przyproru dla rolki. Omawiany przypadek polegał na doprowadzeniu użębienia części w procesie honowania, do zgodności z nominalnym kątem przyproru α_0 .

Zdeformowane po hartowaniu użębienie wykazuje zmniejszenie kąta przyproru [1] (charakterystyczne odchylenie wykresu zarysu – rys. 3).



Rys. 3. Wykres zarysu użębienia po hartowaniu

Fig. 3. Graph of the teeth profile after hardening

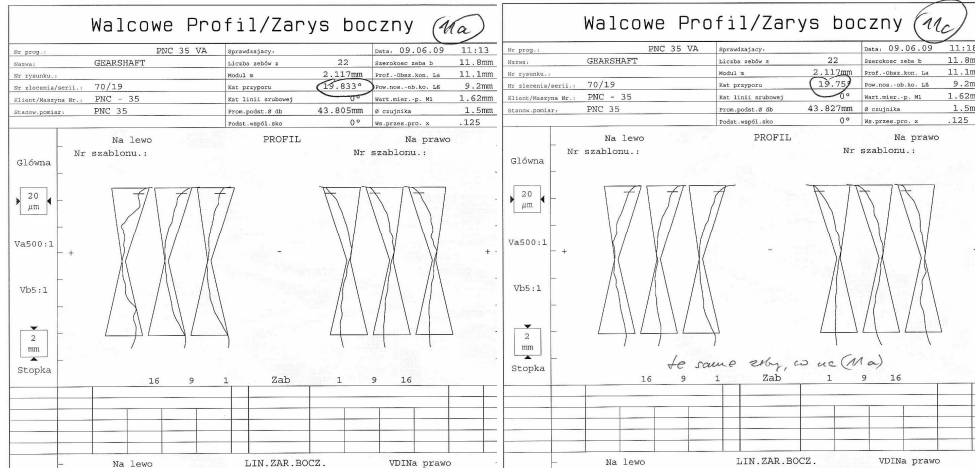
Rysunek 3 przedstawia zarys użębienia sztuki wybranej z serii obrabianych kół. Przeprowadzono analizę wszystkich części z serii (15 sztuk). Według kryteriów podanych w punkcie *c* oceniono tendencje zmian użębienia po obróbce cieplnej. Wyniki zaprezentowano w tabeli 1.

Analiza tendencji zmian po hartowaniu

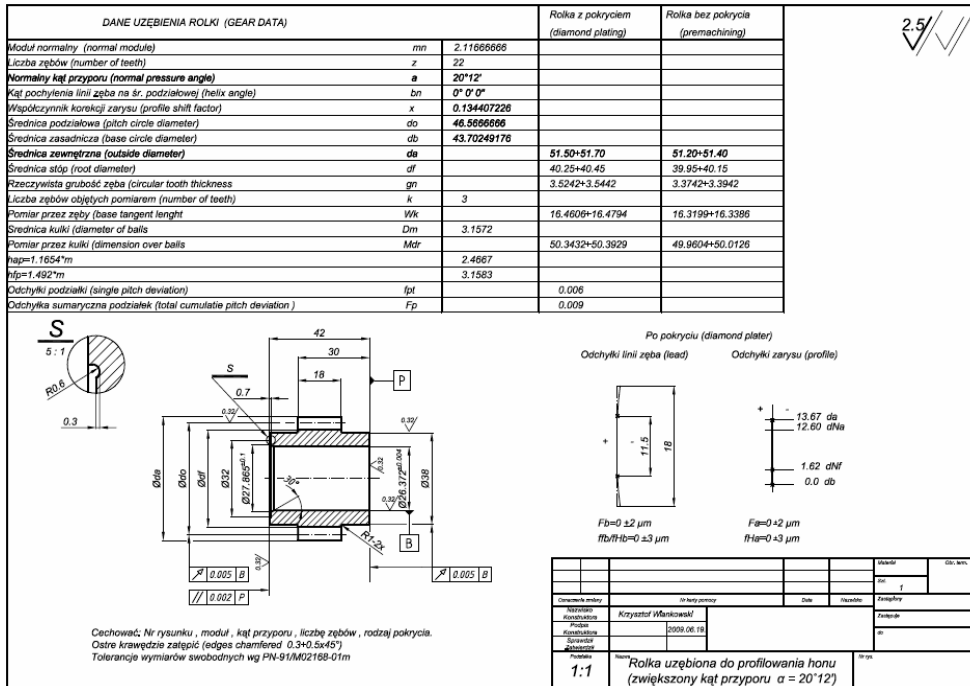
Nr koła	Kategoria oceny			
	głowa zęba, na lewo/na prawo	stopa zęba, na lewo/na prawo	kąt przyporu, głowa/stopa	kształt głowa/stopa
1	brak danych	brak danych	brak danych	brak danych
2	ścięta	OK	zmniejszony	wypukły
3	ścięta	OK	zmniejszony	wypukły
4	OK	podcięta	OK	wypukły
5	ścięta	podcięta/OK	zmniejszony/OK	wypukły
6	ścięta	podcięta/OK	zmniejszony	wypukły
7	ścięta	OK	zmniejszony/OK	wypukły/OK
8	ścięta	podcięta	zmniejszony	wypukły/OK
9	ścięta/OK	podcięta/OK	zmniejszony/OK	wypukły
10	ścięta/OK	OK/podcięta	OK/zmniejszony	OK/wypukły
11	OK/ścięta	OK/podcięta	zmniejszony	wypukły
12	ścięta	podcięta/OK	zmniejszony/OK	wypukły/OK
13	ścięta	OK/podcięta	OK/zmniejszony	OK/wypukły
14	ścięta	OK	zmniejszony/OK	OK/wypukły
15	OK	podcięta/OK	zmniejszony/OK	wypukły
Tendencja				
	ścięta dużą wypukłością	podcięta na krótkim odcinku	zmniejszony	wypukłość

Przeprowadzona analiza prowadzi do wniosku, że dominującą tendencją jest zmniejszenie kąta przyporu. Wykonano szereg pomiarów, zakładając symulowane, stopniowo zmniejszane wartości kąta przyporu, w celu wyboru wartości do korekcji $\Delta\alpha$. Przykładowe wykresy przedstawiono na rysunku 4.

Wybrana wartość $\Delta\alpha$ została uwzględniona podczas konstrukcji rolki do profilowania honu. Ponieważ na honie wymagany jest – w rozpatrywanym przypadku – powiększony kąt przyporu, tak samo należy postąpić podczas konstruowania rolki. Konstrukcję uzębionej rolki do profilowania honu, z powiększonym (w stosunku do nominalnego) kątem przyporu, pokazano na rysunku 5.

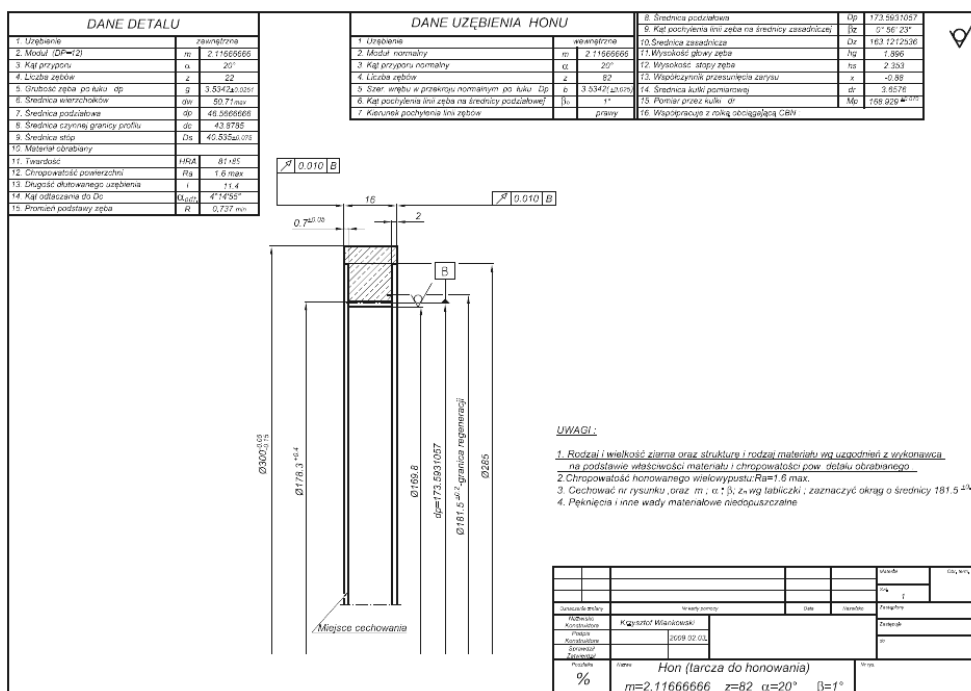


Rys. 4. Wykresy z symulowanymi wartościami kąta przyporu
 Fig. 4. Graphs with simulated pressure angle



Rys. 5. Rysunek konstrukcyjny rolki
 Fig. 5. Construction drawing of roll

Hon jest technologicznie sprzężony z rolką [4]. Jego rysunek zawiera dane przeliczone dla nominalnego kąta przyproru, gdyż nie ma to wpływu na ostateczne uformowanie zęba. Konstrukcję honu pokazano na rysunku 6.



Rys. 6. Rysunek konstrukcyjny honu

Fig. 6. Construction drawing of hon

3. Wnioski

Scharakteryzowana wyżej metodyka została wielokrotnie potwierdzona w warunkach produkcji z pozytywnym rezultatem.

Opisana metoda ma w założeniach charakter interwencyjny, niemniej powtarzalność przyczyn powstawania deformacji uzębienia skłania do stałego umieszczania w procesie technologicznym operacji honowania. Dodatkowym argumentem jest długi czas dostawy rolki i honu, które są zamawiane w wyspecjalizowanych firmach.

Ze względu na użyte środki, proces honowania jest kosztowny. Jest on zbilansowany następującymi efektami: dostawy części na czas zgodnej z oczekiwaniami klientów, uzyskaniem odpowiedniego poziomu jakości za pierwszym razem, zaufaniem klientów.

Tradycyjny sposób hartowania uzębienia, ze względu na ukształtowanie rozpatrywanych części, nie zabezpiecza przed odkształceniami uzębienia. Alternatywą jest zastosowanie hartowania indukcyjnego (konturowego), o niewątpliwych zaletach, związanych z krótkim czasem przebiegu procesu i minimalizacją odkształceń. Jednakże złożona i kosztowna

aparatura, konieczność wykonania induktorów do każdego uzębienia, przeprowadzanie prób dla ustalenia parametrów technologicznych, to wady tego rozwiązania.

Literatura

- [1] Polska Norma PN-ISO 1328-1: *Przekładnie zębate walcowe. Dokładność wykonania wg ISO. Odchyłki jednoimiennych boków zębów.*
- [2] Feld M., *Podstawy projektowania procesów technologicznych typowych części maszyn*, Wydawnictwa Naukowo-Techniczne, Warszawa 2003.
- [3] Markowski T., Pisula J., *Analiza efektów honowania w zależności od zastosowanego procesu technologicznego wykonania koła*, Materiały IV Konferencji Naukowo-Technicznej, Łódź–Arturówek, 21–22.06.1999, Wydawca Instytut Obrabiarek i TBM, Politechnika Łódzka, Łódź 1999.
- [4] Wieczorowski K., Tomkowiak P., *Wpływ wielkości ziaren ściernych na chropowatość ewolwentowej powierzchni zębatego koła honowanego*, Materiały IV Konferencji Naukowo-Technicznej, Łódź–Arturówek, 21–22.06.1999, Wydawca Instytut Obrabiarek i TBM, Politechnika Łódzka, Łódź 1999.
- [5] Mosiniak T., *Niekonwencjonalne możliwości dogładzania kół zębatych*, Materiały Konferencji Naukowo-Technicznej TPP'2001, tom II, Poznań 2001, Wydawca Komisja Budowy Maszyn PAN oddział w Poznaniu, Poznań 2001.
- [6] Markowski T., *Honowanie kół zębatych walcowych*, Materiały Konferencji Naukowo-Technicznej TPP'98, Poznań–Czarniejewo 1998, Wydawca Instytut Technologii Mechanicznej Politechniki Poznańskiej, Poznań 1998.