

PORÓWNANIE PRACY POJEDYNCZEGO ZIARNA ŚCIERNEGO I GRUPY ZIAREN W ŚCIERNICACH SUPERTWARDYCH ZE SPOIWEM ŻYWICZNYM

Marcin SKOWRON¹, Mirosław URBANIAK¹

1. WSTĘP

Procesy obróbki ubytkowej, wykorzystującej narzędzia ścierne odgrywają szczególnie ważną rolę w przemyśle. Obróbka prawie każdego przedmiotu związana jest z procesem obróbki ścierniej. Wobec ciągłego dążenia do poprawy właściwości powierzchni obrabianych elementów oraz obniżenia kosztów, obserwuje się nieustanne modyfikacje istniejących i wprowadzanie nowych rozwiązań. Optymalizacji poddawane są obrabiarki, narzędzia ścierne, jak i parametry procesu.

Ściernice supertwarde ze spoiwem żywicznym są coraz częściej stosowanymi narzędziami w procesie szlifowania. Charakterystyczną cechą tych ściernic jest elastyczne zamocowanie ziarna ściernego. Podczas szlifowania charakter współdziałania w strefie styku ściernicy z materiałem obrabianym wykazuje silny wpływ na kształtowanie chropowatości i jakości obrabianej powierzchni, zużycie i trwałość ściernic. Dlatego szczegółowo bada się zjawiska stykowe, powstające w różnych warunkach obróbki ścierniej. Elastyczne zamocowanie ziarna jest czynnikiem, który powoduje, że szlifowanie jest procesem bardzo złożonym i trudnym do opisanie.

2. ANALIZA LITERATURY W ZAKRESIE TEMATU

Cechą charakterystyczną ściernic ze spoiwem żywicznym jest możliwość znacznego uginania i odchylania się ziaren ściernych. Dzieje się tak na skutek małej sztywności spoiwa. W innych ściernicach (z innymi rodzajem spoiwa - metalowym czy ceramicznym) następuje również ugięcie i obrót ziaren, ale w mniejszym stopniu.

¹ Politechnika Łódzka, Katedra Technologii Maszyn, ul. Stefanowskiego 1/15, 90-924 Łódź

W literaturze można odszukać opracowania o analizach teoretycznych i badaniach eksperymentalnych pracy ziarna i grupy ziaren. Prace te skupiają się głównie na badaniach skrawaniem pojedynczym ziarnem ściernym.

Saini w swoich artykułach przedstawia wpływ siły skrawania na ziarno ściernie. W czasie szlifowania zarówno na ściernicę jak i przedmiot obrabiany działają składowe siły szlifowania (składowa normalna i styczna). Siła normalna powoduje ugięcie ziarna, a siła styczna jego obrót. Autor przedstawia również wpływ składowych siły szlifowania na obracanie się ziarna [1, 2].

Ważnym zagadnieniem poruszonym w badaniach nad szlifowaniem jest długość kontaktu między ściernicą (ziarnem ściernym) i przedmiotem obrabianym. Długość kontaktu wpływa na przepływ energii w procesie, maksymalną temperaturę przedmiotu obrabianego, naprężenie w warstwie wierzchniej przedmiotu i zużywanie się ściernicy. Długość kontaktu zależy od ugięcia się ściernicy i przedmiotu. Zwiększenie ugięcia obu elementów powoduje zwiększenie strefy kontaktu i liczby ziaren skrawających materiał. Brown i Rowe w swoich artykułach skupiają się właśnie na badaniach strefy kontaktu między ściernicą a przedmiotem obrabianym (zarówno w skali makro jak i w skali mikro) [3, 4].

Również Pluta w swoich pracach przedstawia różne aspekty pracy pojedynczego ziarna, badania dotyczące długości skrawania, wpływ elastycznego zamocowania ziarna na jego pracę w ściernicy oraz modele dynamiczne pracy i założenia teoretyczne do nich. Należy jednak podkreślić, że autor w swoich pracach zajmował się głównie ściernicami ze spoiwem poliuretanowym. Można jednak znaleźć pewne podobieństwo między ściernicami ze spoiwem poliuretanowym a ściernicami ze spoiwem żywicznym fenolowo-formaldehydowym [5–8].

Wager i Saini przedstawiają metodę pomiaru długości śladu kontaktu ziarna z przedmiotem obrabianym. Na próbce wykonywane są ślad skrawania specjalną ściernicą. Dzięki specjalnej budowie ściernicy autorzy mogli zmierzyć długość śladów przy skrawaniu pracującego ziarna jak i grupy ziaren. Badane również były przemieszczenia ziaren, ale również ich obroty. Autorzy twierdzą, że na kształt powstających rys ma wpływ składowa styczna i normalna siły szlifowania [9].

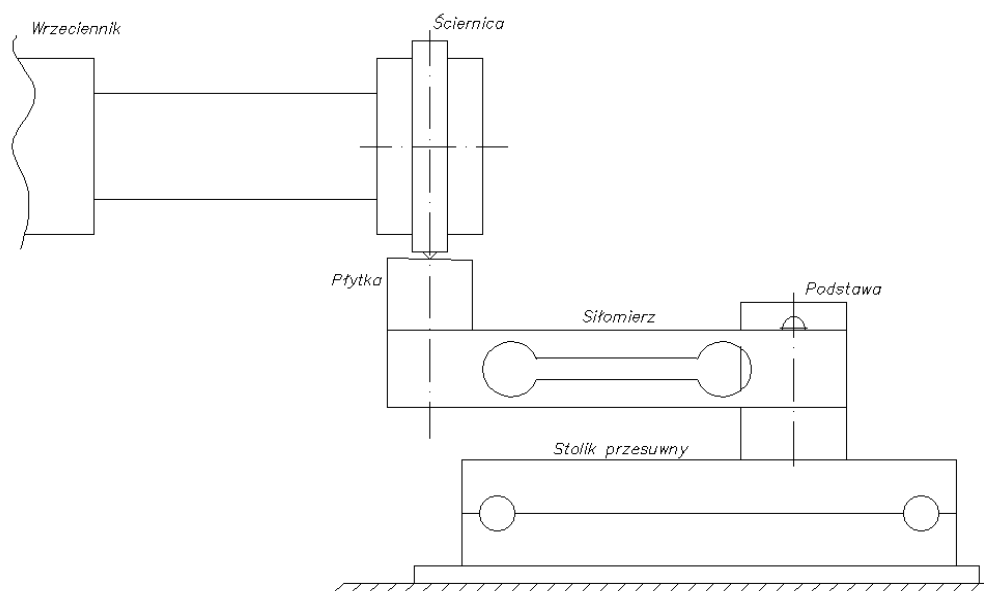
Innym przykładem pomiarów pracy pojedynczego ziarna jest metoda zaproponowana przez Peklenika [10] i polega na pomiarze powstałej siły elektromotorycznej. W czasie szlifowania ściernica styka się z termoparą półszluczną w postaci platynowego drutu umieszczonego w przedmiocie i dzięki temu powstaje siła elektromotoryczna. Gu wzoruje się na metodzie zastosowanej przez Peklenika, jednak z własnymi modyfikacjami. Zaproponowana modyfikacja pozwala na generowanie większej ilości sygnałów w gorącym złączu przez skrawające ziarna. Powoduje to bardziej wyraźny sygnał obserwowany na oscyloskopie w przypadku kontaktu ściernicy (ziaren ściernych) z przedmiotem. Podobnie jak w przypadku prac Wagera autorzy badali pracę pojedynczego ziarna i grupy ziaren [11, 12].

Autorzy w swoich pracach opisywali wyniki badań pracy pojedynczego ziarna

przy ruchu wzdłużnym i poprzecznym stołu szlifierki, a grupy ziaren w przypadku ruchu wzdłużnego stołu. W opracowaniach nie napotkano na badania pracy grupy ziaren z ruchem poprzecznym stołu. Z tego względu podjęto taki rodzaj badań. Nie napotkano również na prace porównujące pracę pojedynczego i grupy ziaren. Autorzy skupiali się także na strefie kontaktu między ściernicą a próbką.

3.METODA BADAŃ WŁASNYCH

Badania pracy pojedynczego ziarna i grupy ziaren realizowano na szlifierce ostrzarce narzędziowej uniwersalnej typu 4AM (Jotes–Tacchella). Schemat konstrukcji stanowiska do badań przedstawiono na rys. 1. To stanowisko zostało wykorzystane również do badań pracy grupy ziaren.



Rys. 1. Schemat konstrukcji stanowiska do badania pracy pojedynczego ziarna i grupy ziaren

Do pomiarów sił szlifowania zastosowano siłomierz firmy Megatron typu KM300, rejestrujący wyniki z częstotliwością próbkowania 80Hz. Wartości sił w każdej próbie rejestrowano przy pomocy komputera PC. Ze względu na zastosowanie siłomierza jednoskładnikowego oddzielnie były wykonywane pomiary składowej normalnej i stycznej. Otrzymywane wyniki opracowywano statystycznie wyznaczając średnie wartości składowych siły szlifowania oraz ich odchylenia standardowe. Wielkości rys wraz z wpływami oszacowano na podstawie pomiarów śladów na płytkach za pomocą profilografometru PGM-1C z Instytutu Zaawansowanych Technologii

Wytwarzania z Krakowa.

Do oceny skrawania pojedynczym ziarnem i grupą ziaren mierzono następujące wielkości:

- składowe siły szlifowania (składowa styczna i normalna);
- wielkość rys wraz z wpływami (ich kształt – długość i głębokość) wykonanych na próbce.

Próbka (metalowa płytka) była zamocowana do siłomierza, a ten do kolumny (podstawa). Kolumnę zamocowano do stolika przesuwnego, a stolik do płyty na stole szlifierki. Dzięki zastosowaniu stolika przesuwnego firmy Physik Instrumente próbka miała możliwość precyzyjnego przemieszczania się. Należało tylko odpowiednio dobrać prędkość przesuwu stolika i prędkość obrotową ściernicy, żeby ślady skrawania nie nachodziły na siebie. W przypadku badania pracy pojedynczego ziarna próbki do badań posiadały pochylanie pod małym kątem. Zastosowanie takiego pochylecia powodowało coraz to większe zagłębianie się ziarna ściernego w próbkę i tworzenie nowych, bardziej wyraźnych rys.

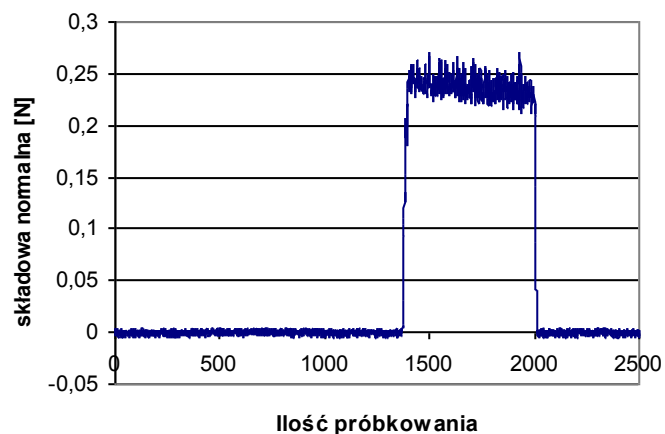
Przed przystąpieniem do badań należało w odpowiedni sposób przygotować ściernicę. Do badań pracy pojedynczego ziarna wykorzystano specjalne ściernice z pojedynczymi ziarnami. W ściernicy umieszczono trzy ziarna diamentowe lub borazonowe o znanej wielkości. Problemem było to, że nie wiadomo na jakiej głębokości się te ziarna znajdowały. Należało przeprowadzić proces odsłaniania ziaren. Odsłanianie ziaren odbywało się przez cierną współpracę tarczy spoiwa i obracającej się metalowej tarczy aż do momentu pojawienia się wyraźnego śladu na tarczy. Następnie usunięto warstwę spoiwa, pozostawiając tylko mały fragment z wystającym ziarnem.

Po przeprowadzeniu badań pracy pojedynczego ziarna można było przystąpić do badań pracy grupy ziaren. W przypadku tych badań również należało odpowiednio przygotować ściernicę. Obróbką skrawaniem z całej ściernicy pozostawiono tylko mały fragment o znanych wymiarach i tylko ten występ skrawał próbkę. Również w tych badaniach starano się zachować wszystkie założenia, parametry i przebieg badań w celu porównania z otrzymanymi wynikami pracy pojedynczego ziarna.

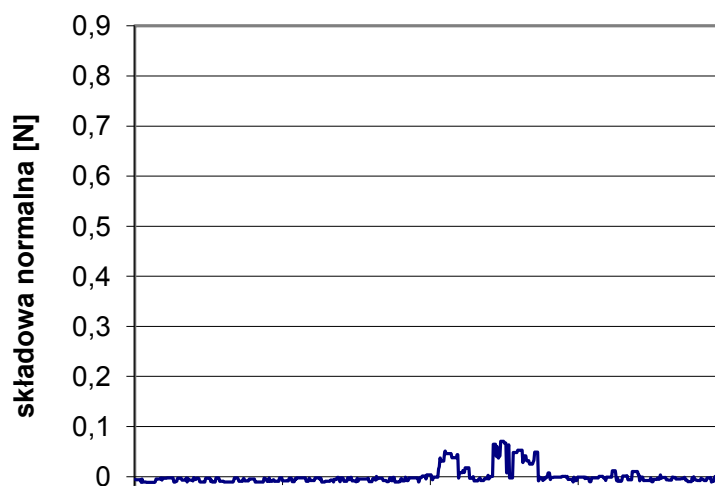
4. PREZENTACJA WYNIKÓW BADAŃ

Celem prowadzonych badań było porównanie wyników pracy pojedynczego ziarna skrawającego i grupy ziaren w ściernicach supertwardych ze spoiwem żywicznym. Było to możliwe dzięki pomiarom w porównywalnych warunkach składowych sił szlifowania oraz śladów na próbkach. Poniżej przedstawiono przykładowe wyniki. Wykresy składowych sił przedstawia rysunek 2, a śladów na próbce rysunki 3–5.

a)



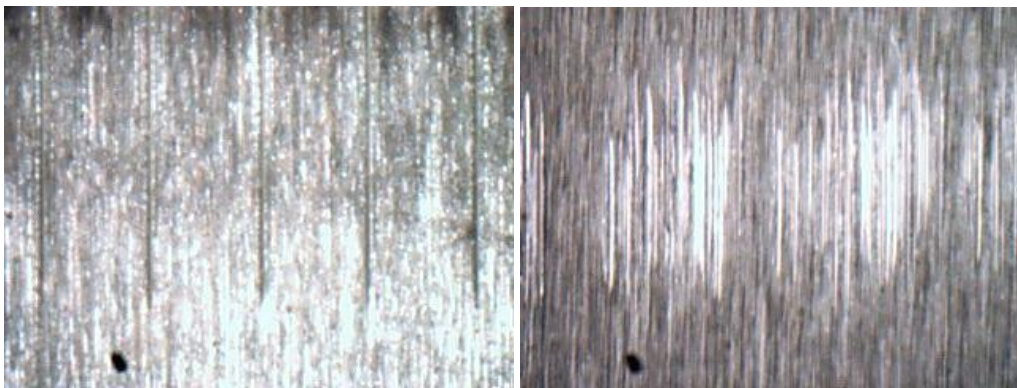
b)



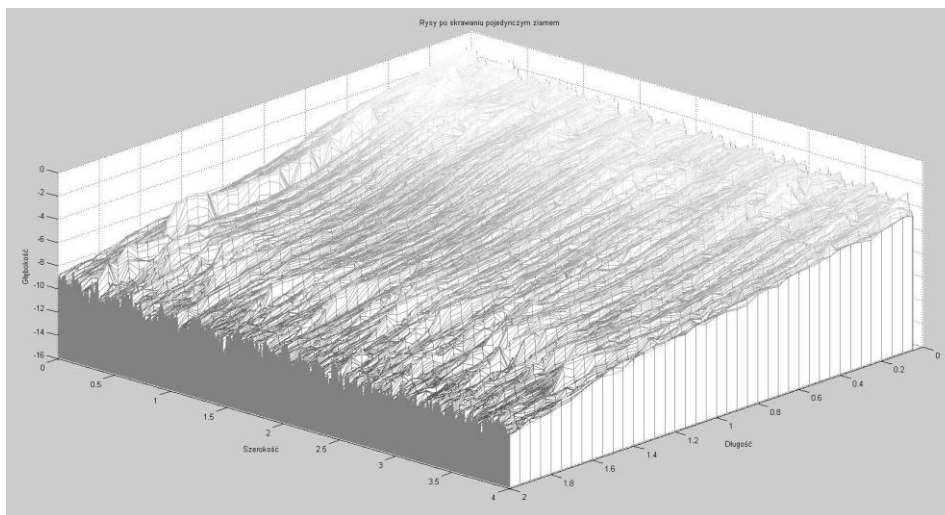
Rys. 2. Wykresy składowych siły przy skrawaniu pojedynczym ziarnem (a)) i grupą ziaren (b))

Analizując otrzymane wykresy określono średnie wartości składowych siły szlifowania. W badaniach pracy pojedynczego ziarna nie stwierdzono znaczącej różnicy między wartościami składowej normalnej i stycznej. Różnica wynosiła 5 – 15% z tego względu przyjęto taką samą wartość składowej normalnej i stycznej. Wartość tej siły wynosiła około 0,24 N. W przypadku skrawania grupą ziaren zauważono wyraźną różnicę w wartościach składowych siły. Średnia wartość składowej normalnej wynosiła około 0,73 N, a składowej stycznej około 0,41 N.

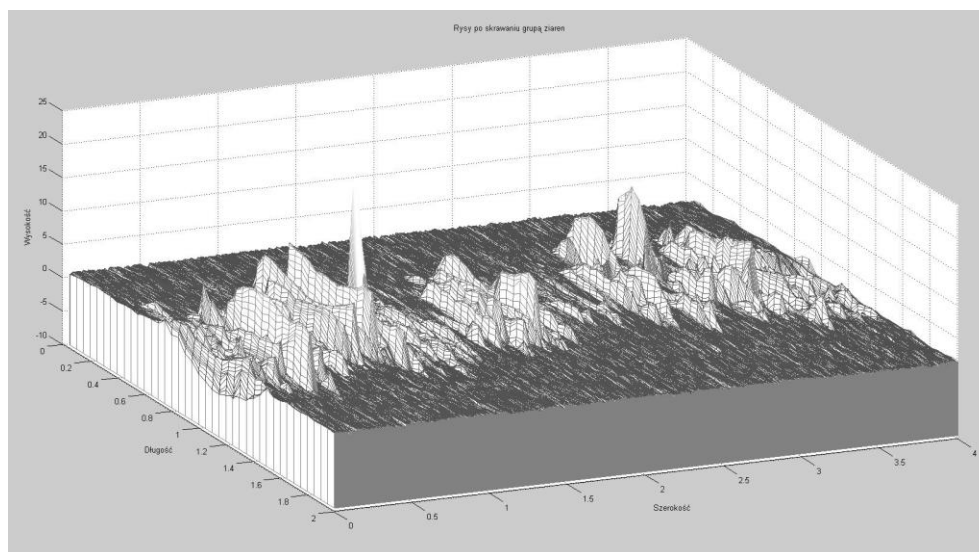
Na rysunku 3 przedstawiono ślady skrawania na próbkach. Te ślady zostały pomierzone na profilografometrze, a następnie na podstawie uzyskanych wyników wykonano ich widoki w programie Matlab (rysunek 4 i 5). Takie rysunki pozwoliły na określenie wielkości rys wraz z ich wypływkami. Na profilografometrze zostały również zmierzone ściernice przed i po próbach. Pozwoliło to na ocenę zużycia się narzędzia. W przypadku pracy pojedynczego ziarna nastąpiło niewielkie starcie ziarna (około 0,005 mm.) oraz brak jest śladów pracy spoiwa, co miało wpływ na wygląd wypływek. W przypadku pracy grupy ziaren zauważono również niewielkie wtarcia ziaren pracujących oraz ślady wytarcia spoiwa świadczące o jego kontakcie z próbką.



Rys. 3. Widok śladów przy skrawaniu pojedynczym ziarnem i grupą ziaren



Rys. 4. Widok śladów przy skrawaniu pojedynczym ziarnem



Rys. 5. Widok śladów przy skrawaniu grupą ziaren

Na podstawie pomiarów wykonanych za pomocą mikroskopu i analizy rysunków z profilografometru oszacowano, że długość powstałych rys wykonanych przez pojedyncze ziarno wynosiła około 0,7 – 0,8 mm., a ich głębokość była do około 0,005 mm. W prawie wszystkich przypadkach można było zaobserwować ślady wejścia i wyjścia ziarna z materiału w postaci wypływek. Zaobserwowano, że w środkowej części rysy brak jest materiału zeskrabanego poza śladem, a jego objętość była w jej końcowej części. Długość wypływek przy wejściu i wyjściu ziarna w próbkę wynosiła około 0,15 – 0,25 mm., a ich wysokość sięga do około 0,005 mm. Można zauważyć, że głębokości rys i wysokości wypływek są do siebie bardzo zbliżone. Przy tych badaniach nie zauważono wpływu pracy spoiwa na wysokość i kształt wypływek.

Na podstawie pomiarów uzyskanych z mikroskopu oraz z profilografometru przy pracy grupy ziaren oszacowano, że długość powstałych rys wynosiła około 0,65 – 0,85 mm., a ich maksymalna głębokość była do około 0,015 mm. Inaczej wygląda kształt wypływek przy pracy grupy ziaren niż w przypadku skrawania pojedynczym ziarnem. Długość wypływek zależy od długości samych śladów skrawania i wynosiła 0,55 – 0,70 mm. W tych badaniach wysokość wypływek jest dużo większa niż w przypadku skrawania pojedynczym ziarnem i wynosiła nawet do 0,015 mm. Taka wysokość była spowodowana nakładaniem się dwóch sąsiednich wypływek na siebie. Również w tych badaniach zauważono, że głębokości rys i wysokości wypływek są do siebie bardzo zbliżone.

W przypadku pracy grupy ziaren zarówno głębokości rys i wysokości wypływek są 3 razy większe niż przy pracy pojedynczego ziarna. Wynika to z większej ilości pracujących ziaren ale również z różnego wystawiania ich ze spoiwa. Należy

podkreślić, że przy badaniach grupy ziaren początkowo pracowały 4 ziarna, a na koniec prób pracowało ich 5. Odsłonięcie nowego ziarna nastąpiło poprzez wytarcie spoiwa.

5. WNIOSKI

Wartość składowej normalnej przy pracy grupy ziaren była ponad 3 razy większa, a składowej stycznej 1,7 razy większa niż przy pracy pojedynczego ziarna. Porównując pracujący występ przed próbami i po próbach stwierdzono, że pracowało kilka ziaren co przekłada się na większą wartość siły. Dodatkowym czynnikiem wpływającym na wzrost siły jest tarcie samego spoiwa o próbkę. Zaobserwowano ślady wycierania spoiwa na występie, świadczące o kontakcie elementów.

Następnym krokiem w badaniach będą badania ściernic supertwardych ze spoiwem żywicznym w celu porównania z dotychczas otrzymanymi wynikami.

LITERATURA

- [1] SAINI D. P., WAGER J. G., BROWN R. H., „Practical Significance of Contact Deflections in Grinding”. *Annals of the CIRP* 31/1/1982, 215–219.
- [2] SAINI D. P., WAGER J. G., „Local Contact Deflections and Forces in Grinding”. *Annals of the CIRP* 34/1/1985, 281–285.
- [3] BROWN R. H., SAITO K., SHAW M. C., „Local Elastic Deflections in Grinding”. *Annals of the CIRP* 19/1/1971, 105–113.
- [4] ROWE W. B., MORGAN M. N., QI W. B., ZHANG H. W., „The Effect of Deformation on the Contact area in Grinding”. *Annals of the CIRP* 42/1/1993, 409–412.
- [5] PLUTA Z., „Geometryczna charakterystyka śladów skrawania ziarnem ściernym utwardzonym podatnie”. *Mechanik* 1/1991, 13–19.
- [6] PLUTA Z., „Zagadnienie sprężystego powrotu ziarna ściernego w modelowych warunkach skrawania jednoostrzowego”. *Mechanik* 8-9/1991, 291–296.
- [7] PLUTA Z., „Szczególne modele skrawania jednoostrzowego ziarnem ściernym utwardzonym podatnie”. *Materiały XV Naukowej Szkoły Obróbki Ściernej, Rzeszów 1992r.*, 31–39.
- [8] PLUTA Z., „Energetyczne aspekty skrawania pojedynczym ziarnem ściernym utwardzonym podatnie”. *Materiały XXIII Naukowej Szkoły Obróbki Ściernej, Rzeszów – Myczkowce 2000r.*, 303–309.
- [9] WAGER J. G., SAINI D. P., „Local Contact Deflections in Grinding – Groups of Grains and Single Grains”. *Annals of the CIRP* 35/1/1986, 245–248.
- [10] PEKLENIK J., „Ermittlung von geometrischen und physikalischen Kenngrößen für die Grundlagenforschung des Schließens”. *PhD-thesis, Aachen, Germany, 1957.*
- [11] GU D. Y., WAGER J. G., „New Evidence on the Contact Zone in Grinding – Contact Length, Sliding and Cutting Regions”. *Annals of the CIRP* 37/1/1988, 335–338.
- [12] ZHOU Z. X., VAN LUTTERWELT C. A., „The Real Contact Length Between Grinding Wheel and Workpiece – a New Contact and a New Measuring Method”. *Annals of the CIRP* 41/1/1992, 387–391.