

Dr inż. Zbigniew Nowakowski (Politechnika Poznańska):

WPLYW MODYFIKACJI ZŁĄCZA OBRABIARKOWEGO 7:24 NA EFEKTY FIZYCZNE I TECHNOLOGICZNE PROCESU SKRAWANIA

Streszczenie

Przedstawiono porównanie klasycznego złącza o zbieżności 7:24, stosowanego we wrzecionach obrabiarek, z jego modyfikacją, pozwalającą na uzyskanie dodatkowej powierzchni kontaktu. Dla dwóch przypadków – oprawki z narzędziem trzpieniowym oraz trzpienia z narzędziem nasadzonym – przeprowadzono analizę statyczną ugięcia oraz sztywności w kierunku promieniowym. Wykonano również próby frezowania obwodowego i czołowego. Obrobione powierzchnie posłużyły do oceny parametrów chropowatości uzyskanych w różnych warunkach połączenia narzędzia z obrabiarką.

Słowa kluczowe: skrawanie, złącza obrabiarkowe, sztywność statyczna, chropowatość powierzchni

THE INFLUENCE OF THE 7:24 INTERFACE'S MODIFICATION ON THE MACHINING PROCESS' PHYSICAL AND TECHNOLOGICAL EFFECTS

Abstract

The paper presents the comparison of typical 7:24 interface with its modification, which allows to the obtainment of the additional contact surface. For the two cases: toolholder with the slot tool and pivot with cutter, the analysis of static deflection and stiffness in radial direction was carried out. The cylindrical and face milling tests were also conducted. The machined surfaces were valuated in the aspect of surface roughness parameters obtained in different interface conditions.

Keywords: machining, machines interfaces, statics stiffness, surface roughness

WPLYW MODYFIKACJI ZŁĄCZA OBRABIARKOWEGO 7:24 NA EFEKTY FIZYCZNE I TECHNOLOGICZNE PROCESU SKRAWANIA

Zbigniew NOWAKOWSKI¹

1. WPROWADZENIE

Złącze z niesamohamownym stożkiem o zbieżności 7:24 i kołnierzem typu V jest w dalszym ciągu najpopularniejszym systemem mocowania narzędzi w maszynach CNC. Konwencjonalne połączenie oparte na stożku 7:24 ma dwie podstawowe wady [1, 5, 10]:

- luz promieniowy dolnej części połączenia stożkowego wynikający z tolerancji stożka; powoduje on zmniejszenie sztywności i zwiększenie bicia przez co tworzą się mikroprzesunięcia, które wywołują korozję cierną,
- założony konstrukcyjnie luz osiowy pomiędzy kołnierzem, a powierzchnią czołową wrzeciona; powoduje on niepewność ustalenia osiowego uchwytu sięgającą 25 do 50 μm .

Połączenie to może być stosowane w większości zastosowań z prędkościami obrotowymi wrzeciona nie przekraczającymi $n=15\ 000$ obr/min. Już przy prędkości $n=10\ 000$ obr/min, pod wpływem działania siły odśrodkowej stożek ulega rozszerzaniu, znacznie zmniejszając powierzchnię kontaktu pomiędzy uchwytem a wrzecionem [7]. Wrzeciono ze stożkiem SK30, podczas pracy z prędkością $n=40\ 000$ obr/min rozszerza się o 4-5 μm [5].

Złącze oparte o stożek 7:24 ma również istotne zalety [10]:

- niską cenę złącza, co znacznie wpływa na zmniejszenie kosztów narzędziowych,
- relatywnie prostą konstrukcję stożka 7:24, która wymaga tylko obróbki precyzyjnej w zakresie tworzącej stożka.

¹ Instytut Technologii Mechanicznej Politechniki Poznańskiej, ul. Piotrowo 3, 60-965 Poznań

Popularność stożka 7:24 i jego zalety, zmusiły konstruktorów do prac nad modyfikacją tego rozwiązania o dodatkową powierzchnię kontaktu. Celem podstawowym wprowadzenia dodatkowej powierzchni kontaktu w złączach opartych o stożek 7:24 jest zredukowanie lub wyeliminowanie wad występujących głównie przy obróbce z dużymi prędkościami obrotowymi. Podstawowymi zaletami złącza 7:24 z dodatkową powierzchnią kontaktu są [5, 10]:

- możliwość zamiennego stosowania z innymi uchwytami 7:24 (kompatybilność),
- możliwość stosowania do obróbki z dużymi prędkościami obrotowymi,
- redukcja lub zapobieganie korozji czarnej (przy ciężkiej obróbce),
- eliminacja przesuwania się uchwytu w osi Z przy dużych prędkościach obrotowych,
- powtarzalność mocowania w osi Z z dokładnością od 1 do kilku mikrometrów,
- małe ugięcia przy obróbce precyzyjnej.

Istnieje kilka sposobów na zapewnienie kontaktu powierzchni tworzącej stożka i czoła przy złączach 7:24, bez konieczności większych zmian we wrzecionie oraz przy zachowaniu kompatybilności ze standardowymi połączeniami stożkowymi 7:24. Dwa główne podejścia to [4-5, 9, 10]:

- bezpośrednie połączenie metalowych powierzchni stożka i czoła (sztywne systemy) cechujące się dużą dokładnością wykonania (np. Big-Plus),
- uelastycznienie stożka przez np. użycie dodatkowych elastycznych elementów na powierzchni stykowej stożka lub kołnierza (np. 3Lock, D-F-C).

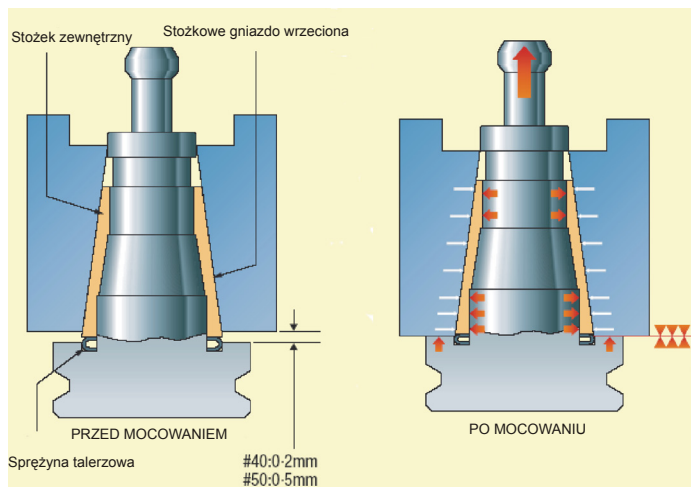
Pomimo szeregu dostępnych modyfikacji stożka 7:24, nie są one znane, a przez to i wdrażane w trudnych aplikacjach technologicznych (dotyczy to głównie polskich przedsiębiorstw przemysłowych). Brak również doniesień literatury krajowej o wdrożeniach i efektach technologicznych tzw. połączeń podwójnego kontaktu. Przedstawiona praca zawiera fragment badań porównawczych jedno i dwupowierzchniowego złącza stożkowego 7:24, przybliżając tym samym efekty ich działania.

2. CEL, ZAKRES, WARUNKI I TECHNIKA BADAŃ

Celem przeprowadzonych badań było porównanie właściwości fizycznych i eksploatacyjnych narzędzi mocowanych w uchwytach ze złączem stożkowym 7:24 jedno i dwupowierzchniowym. Jako wskaźnik oceny przyjęto sztywność statyczną narzędzia oraz strukturę geometryczną powierzchni po frezowaniu walcowym oraz czołowym.

Do badań przyjęto klasyczne złącze stożkowe 7:24 (SK40) wg. DIN 69871 oraz stożek 7:24 z dodatkową powierzchnią kontaktu 3Lock f-my Nikken Kosakusho [4]. Stożek 3Lock zapewnia jednocześnie połączenie dwóch powierzchni dzięki sprężystości

odkształcanemu stożkowi (rys.1). Nazwa 3Lock odnosi się do powierzchni kontaktu uchwytu: dwóch na tworzącej stożka oraz jednej na powierzchni czołowej. W złączu 3Lock, kontakt pomiędzy powierzchniami rozkłada się w proporcjach: stożek 90%, czoło 10% [4]. Kiedy uchwyt wciągany jest do wrzeciona natrafia na sprężyny talerzowe umieszczone w podstawie stożka i zostaje obciążony w sposób przedstawiony na rysunku 1.



Rys. 1. Zasada mocowania złącza 3Lock [4]

Próbki do badań wykonano ze stali węglowej C55 w stanie zmięczonym. W badaniach zastosowano dwa narzędzia: frez trzpieniowy 4-ostrzowy HSS f-my Garant o średnicy 12 mm, oraz głowicę frezarską 4-strzową f-my Korloy o średnicy 63 mm z ostrzami LNMX 151008PNR-MM z powlekanego węgla spiekane PC3525.

Tablica 1. Parametry skrawania stosowane w badaniach

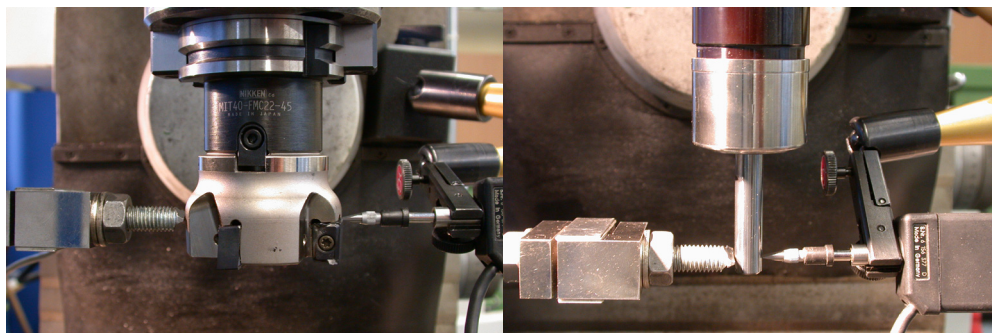
Frezowanie czołowe	Frezowanie obwodowe
Głowica frezarska $d=63$ mm, $z=4$ f-my Korloy LNMX 151008PNR-MM – PC3525	Frez palcowy HSS $d=12$ mm, $z=4$ f-my Garant
$v_c=178$ m/min	$v_c=21$ m/min
$a_p=0,5$ mm	$a_p=0,3$ mm
$f_z=0,08; 0,1; 0,12; 0,15$ mm/ostrze	$f_z=0,02; 0,035; 0,05; 0,06$ mm/ostrze

Badania przeprowadzono na frezarce narzędziowej AVIA z wrzecionem 7:24 ISO40. Polegało ono na frezowaniu odpowiednio: górnej powierzchni próbki - czoło-

wo głowicą frezarską oraz bocznej powierzchni próbki - obwodowo frezem trzpieniowym. Każdy cykl frezowania przeprowadzono przy zmiennych wartościach posuwu f_z oraz stałej prędkości v_c i głębokości skrawania a_p . W tabelicy 1 przedstawiono parametry skrawania zastosowane w badaniach.

Do pomiaru chropowatości powierzchni zastosowano profilografometr Hommel Tester T500E. Pomiar przeprowadzono na odcinku elementarnym $lw=0,8$ mm i pomiarowym $ln=4,8$ mm. Dla każdej powierzchni wykonano po sześć powtórzeń pomiarów. Jako wskaźnik oceny chropowatości powierzchni przyjęto parametr Ra (wg PN-EN ISO 4287:1999). Do analizy przyjęto średnie wartości z wszystkich powtórzeń.

Badania sztywności przeprowadzono także na frezarce narzędziowej AVIA. W oprawce zastosowano trzpień kontrolny z węgla spiekane o średnicy $d=10$ mm. Do zadawania obciążenia podczas badania sztywności zastosowano tensometryczny siłomierz K1505-05 f-my Megatron (rys. 2). Pomiar odkształceń narzędzi prowadzono inkrementalnym czujnikiem indukcyjnym f-my Heidenhain.



Rys. 2. Tor pomiarowy sztywności statycznej złączy

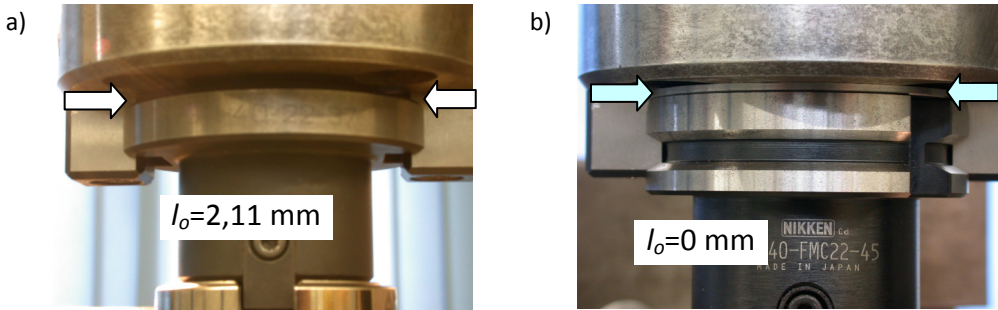
3. WYNIKI BADAŃ I ICH ANALIZA

Charakterystycznym elementem klasycznego złącza 7:24 jest luz osiowy l_o pomiędzy kołnierzem uchwyty a powierzchnią czołową wrzeciona. Jego wielkość zależy od dokładności wykonania wrzeciona oraz uchwyty. Na podstawie przeprowadzonych pomiarów stwierdzono, że dla wrzeciona frezarki na której prowadzono badania, luz osiowy wynosi $l_o = 2,11$ mm (rys. 3a). Uzyskanie dodatkowej powierzchni kontaktu wymaga kompensacji tego luzu l_o poprzez zastosowanie pierścienia dystansowego (rys 3b).

W systemach sztywnych (Big-Plus) wymagana jest duża dokładność w doborze pierścienia dystansowego. Dlatego wrzeciona oraz uchwyty Big-Plus wykonuje się z dużo większą dokładnością niż klasyczne 7:24. W złączach podatnych (3Lock, D-F-C, AHO), elastyczność uchwyty umożliwia większą swobodę w doborze pier-

ścienia dystansowego. W celu oszacowania grubości pierścienia dystansowego wykonano pomiary szczeliny pomiędzy czołem wrzeciona a kołnierzem uchwytu 3Lock dla dwóch przypadków:

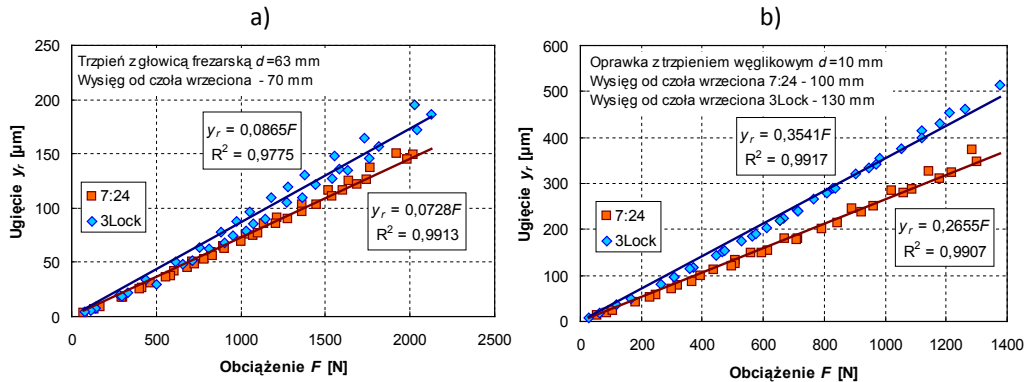
- bez zaciągnięcia uchwytu do wrzeciona: $l_w=1,54$ mm,
- po zaciągnięciu uchwytu do wrzeciona: $l_z=1,37$ mm.



Rys. 3. Widok powierzchni czołowej wrzeciona i uchwytu: a) klasyczny stożek 7:24 z szczeliną l_o , b) stożek 3Lock z pierścieniem dystansowym

Z pomiarów wynika, że maksymalne odkształcenie stożka 3Lock w kierunku osiowym wynosi:

$$l_s = l_w - l_z = 0,17 \text{ mm} \quad (1)$$



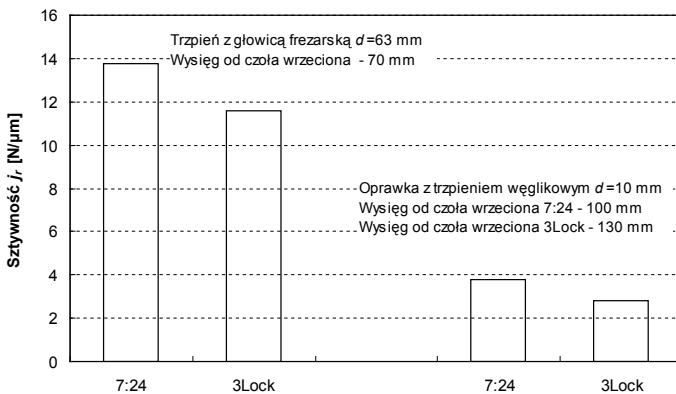
Rys. 4. Charakterystyki statyczne $y_r=f(F)$ badanych złączy: a) para trzpień – głowica frezarska, b) para oprawka – trzpień węglkowy

Wartość osiowego odkształcenia l_s jest również tolerancją grubości pierścienia dystansowego badanej pary: wrzeciono 7:24 – uchwyt 3Lock. Stosując cieńszy pierścień

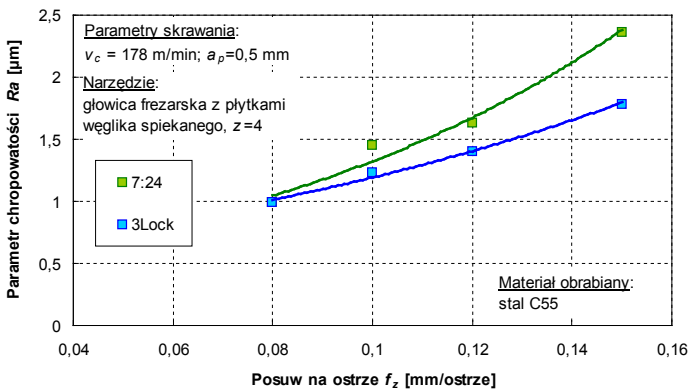
usztyniamy złącze. Zakładając grubszy pierścień zwiększamy możliwość mikroprzemieszczeń sprężystego pierścienia w stożku 3Lock. Dla potrzeb badań przyjęto pierścien dystansowy o grubości $l_f=1,49$ mm.

Na rysunku 4 przedstawiono charakterystyki statyczne badanych złączy. Podstawowym problemem w badaniach porównawczych jest dobranie uchwytów o takich samych wymiarach, co w praktyce jest bardzo trudne, wręcz niemożliwe. Zarówno w przypadku trzpienia do głowicy frezarskiej jak i oprawki do frezu palcowego, uchwyty ze stożkiem 3Lock były trochę dłuższe i dlatego są bardziej podatne. Należy jednak pamiętać, że złącze 3Lock ma dodatkową powierzchnię kontaktu.

Z analizy charakterystyk $y_i=f(F)$ wynika (rys. 4), że dodatkowa czołowa powierzchnia kontaktu nie zawsze oznacza mniejsze ugięcie narzędzia, zwłaszcza gdy w konstrukcji stożka mamy elementy podatne, powodujące mikroprzemieszczenia w złączu. Większe ugięcie oznacza również mniejszą sztywność połączenia (rys. 5).

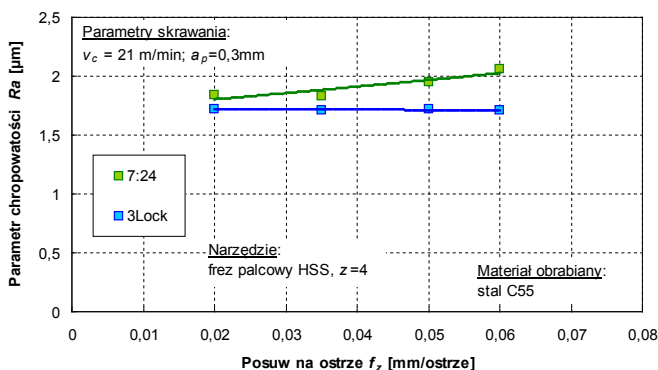


Rys. 5. Szywność statyczna badanych złączy



Rys. 6. Przebiegi zmian parametru Ra chropowatości powierzchni w funkcji posuwu po frezowaniu czołowym frezem zamocowanym poprzez stożek 7:24 oraz 3Lock

Mniejsza sztywność połączenia uchwytu z obrabiarką z reguły oznacza gorsze efekty technologiczne w postaci zmniejszenia trwałości narzędzia oraz pogorszenia jakości powierzchni obrabianej [3-5, 8-10, 13]. W celu weryfikacji tej tezy przeprowadzono proces frezowania dla dwóch różnych odmian technologicznych: czołowego i obwodowego. Na rysunku 6 przedstawiono przebieg zmian parametru R_a chropowatości powierzchni w funkcji posuwu po frezowaniu czołowym. Wraz ze wzrostem posuwu różnica w chropowatości powierzchni uzyskanej po frezowaniu czołowym głowicą zamocowaną poprzez stożek 7:24 i 3Lock rośnie. Dla posuwu $f_z=0,15$ mm/ostrze chropowatość oceniana parametrem R_a jest o około 25% mniejsza dla narzędzia mocowanego poprzez stożek 3Lock. Można więc wysunąć tezę, że powstające w zakresie frezowania z dużymi obciążeniami (duże posuwy) drgania narzędzia są lepiej kompensowane przez podatne złącze 3Lock.



Rys. 7. Przebiegi zmian parametru R_a chropowatości powierzchni w funkcji posuwu po frezowaniu obwodowym frezem zamocowanym poprzez stożek 7:24 oraz 3Lock

Frezowanie obwodowe prowadzono w zakresie mniejszych niż przy frezowaniu czołowym wartości prędkości skrawania, głębokości skrawania i posuwu. Jednak narzędzie było bardziej podatne (rys. 4-5) od głowicy stosowanej w procesie frezowania czołowego. Na rysunku 7 przedstawiono przebieg zmian parametru R_a chropowatości powierzchni w funkcji posuwu po frezowaniu obwodowym. Istotną rolę w kształtowaniu struktury geometrycznej powierzchni frezowanej obwodowo ma bicie narzędzia. Różnica w chropowatości powierzchni uzyskanej po frezowaniu obwodowym frezem zamocowanym w oprawce z stożkiem 7:24 i 3Lock jest niewielka. Dla stożka 3Lock, w badanym zakresie posuwu wartość badanych parametrów się nie zmienia.

4. PODSUMOWANIE

Na podstawie przeprowadzonych badań własnych i analizy literatury sformułowano następujące wnioski końcowe:

- grubość pierścienia dystansowego przy mocowaniu stożków podatnych, wpływa na właściwości fizyczno-mechaniczne uchwytu; większy wymiar pierścienia poprawia właściwości tłumiące uchwytu jednocześnie obniżając jego sztywność statyczną,
- dodatkowa czołowa powierzchnia kontaktu, stosowana w elastycznych stożkach, np. 3Lock nie zawsze kompensuje podatność złącza; dlatego dla pewnych grubości pierścienia dystansowego sztywność stożka o dwóch powierzchniach kontaktu może być mniejsza od stożka jednopowierzchniowego,
- w porównaniu do klasycznego stożka 7:24, złącza o dwóch powierzchniach kontaktu pozwalają uzyskać mniejsze wartości parametrów chropowatości powierzchni,
- skuteczność poprawy chropowatości poprzez zastosowanie podatnego stożka 3Lock uzależniona jest, między innymi od warunków obróbki; w zakresie większych posuwów skuteczność złącza 3Lock jest większa.

LITERATURA

- [1] AGAPIOU J.S., *Selection of tool holding system for a machine tool spindle*, Proceedings of the First International Machine Tool Conference: The Dominance of Spindle Performance, SME, Dearbon, MI, May 2003.
- [2] BAIER S., *Part I: Spindles and their relationship to high-speed toolholders*, Moldmaking Technology, August 2003.
- [3] KOCH M., *Toolholders: an important connection between spindle and cutting tool*, Moldmaking Technology, September 2003.
- [4] NIKKEN KOSAKUSHO WORKS, Ltd., *3Lock System*, Catalog 3341.
- [5] RIVIN E.I., *Tooling structure; interface between cutting edge and machine tool*, CIRP Ann. 49:2(2000), s.591-634.
- [6] RIVIN E.I., *Trends in tooling for CNC machine tools; tool-spindle interfaces*, Manufacturing Rev.4 (1991), s.264-274.
- [7] RIVIN E.I., *Tooling structures – a weak link in machining centers and FMS: some ways for improvement*, Proceedings of the International Conference of Manufacturing Systems and Environment, Vol.21, JSME, Tokyo, Japan, 28 May 1990.
- [8] SCHUBERT I., WECK M., *Interface Machine/Tool: Testing and Optimization*, Final Report on the Research Project, WZL Laboratory for Machine Tools and Applied Economics, Aachen University, 31 March 1994.
- [9] SHOWA TOOL Co., Ltd, *Showa 2, Showa D-F-C Shank*, Catalog DF-9808.
- [10] STEPHENSON D.A., AGAPIOU J.S., *Metal cutting theory and practice, Second Edition*, Taylor & Francis Group LLC, 2006.
- [11] THOMAS J.P., *Characterization of the Machine Tool Spindle to Toolholder Connection*, MS Thesis, University of North Carolina at charlotte, 1999.
- [12] TSUTSUMI M., *Chucking force distribution of collet chuck holders for machining centers*, J. Mech. Working Technology 20(1989) 491-501.
- [13] WECK M., SCHIBERT I., *New interface machine/tool: hollow shank*, CIRP Ann. 43(1994) s.345-348.