

## STRESZCZENIA

Lukáš BEBR<sup>1</sup>  
Kateřina BÍCOVÁ<sup>2</sup>

### FMEA AND ITS APPLICATION IN THE SPC

In today's industry, particularly in the automotive industry, the Failure Mode and Effects Analysis (FMEA) method is a frequently used tool. FMEA is one of the tools which help to identify the causes of process variability and thereby the possibilities of defect occurrence in the evaluated design including the evaluation of their relevant risks. This paper describes the application of the FMEA method to the ma-nufacturing process, with the aim to identify the main causes of process variability, which can affect the resulting product. Further the article introduces other types of FMEA methods based on the basic model, however tailored for specific use in various areas. Finally, the measures, actions and recommendations for correct implementation of the FMEA process are mentioned.

**Keywords:** FMEA, SPC, quality, diagram, variability, process

### ZASTOSOWANIE FMEA W SPC

#### Streszczenie

Obecnie w branży przemysłowej, szczególnie w przemyśle motoryzacyjnym, często stosuje się analizę rodzajów błędów oraz ich skutków (FMEA). FMEA jest jednym z narzędzi, które pomagają w identyfikacji przyczyn zmienności procesu, a tym samym możliwości wystąpienia usterki w ocenianym projekcie i ocenie jej istotnych zagrożeń. Niniejszy artykuł opisuje zastosowanie metody FMEA do analizy procesu produkcyjnego w celu zidentyfikowania głównych przyczyn zmienności tego procesu, które mogą wpływać na otrzymany wyrób. Jej celem jest określenie najlepszego podejścia, pozwalającego na osiągnięcie najbardziej pożądanego wyników. Ponadto w artykule przedstawiono inne typy metody FMEA, oparte na modelu podstawowym, które są dostosowane do konkretnego zastosowania w różnych dziedzinach. Omówiono środki, działania i zalecenia dotyczące prawidłowego wdrożenia procesu FMEA.

**Słowa kluczowe:** FMEA, SPC, jakość, diagram, zmienność, proces

DOI: 10.7862/rm.2017.23

*Otrzymano/received:* 12.06.2017

*Zaakceptowano/accepted:* 23.09.2017

---

<sup>1</sup> Autor do korespondencji/corresponding author: Lukáš Bebr, University of West Bohemia in Pilsen, Univerzitní 22, Pilsen 301 00, Czech Republic, tel.: +420377638529, e-mail: bebrl@kto.zcu.cz

<sup>2</sup> Kateřina Bícová, University of West Bohemia in Pilsen, e-mail: kbicova@kto.zcu.cz

Stanisław BŁAWUCKI<sup>3</sup>  
Kazimierz ZALESKI<sup>4</sup>

## BADANIA WPLYWU GRUBOŚCI WARSTWY SKRAWANEJ I CIECZY OBRÓBKOWEJ NA KSZTAŁT WIÓRÓW W PROCESIE SKRAWANIA ORTOGONALNEGO

Artykuł prezentuje sposób powstawania wiórów dla wybranych stopów metali nieżelaznych z zastosowaniem specjalnego stanowiska do skrawania ortogonalnego. W pracy przeprowadzono pomiary wizyjne strefy skrawania z wykorzystaniem kamery do obserwacji zjawisk szybkozmiennych, w celu analizy etapów procesu kształtowania się wióra. Dokonano identyfikacji kształtu powstałych wiórów przy skrawaniu ortogonalnym i zmiennej grubości warstwy skrawanej z użyciem cieczy smarujących oraz w warunkach skrawania bez smarowania. Wyniki badań mogą służyć do weryfikacji i walidacji modeli numerycznych skrawania ortogonalnego stopów metali nieżelaznych.

**Słowa kluczowe:** skrawanie ortogonalne, ciecz obróbkowa, kształtowanie wiórów, warstwa skrawana, stopy metali nieżelaznych

## INVESTIGATION ON THE INFLUENCE OF DEPTH OF CUTTING AND COOLANT ON THE SHAPE OF CHIPS IN THE ORTHOGONAL CUTTING PROCESS

### Summary

This article presents the method of chip formation for selected non-ferrous metal alloys using a special device for orthogonal cutting. To analyze the stages of the chip forming process the measurements of cutting zone were carried out using a video camera for recording quick-change phenomena. The shape of chips formed at orthogonal cutting was determined for the variable depth of cut and under fluid lubrication and dry cutting conditions. The results of research can be used to verify and validate numerical models of orthogonal cutting of non-ferrous metal alloys.

**Keywords:** orthogonal cutting, cutting oil, chip formation, cutting layer, non-ferrous metal alloys

DOI: 10.7862/rm.2017.24

*Otrzymano/received: 12.07.2017*

*Zaakceptowano/accepted: 14.09.2017*

---

<sup>3</sup> Autor do korespondencji/corresponding author: Stanisław Bławucki, Politechnika Lubelska, ul. Nadbystrzycka 36, 20-618 Lublin, tel.: 081-5384227, e-mail: s.blawucki@pollub.pl

<sup>4</sup> Kazimierz Zaleski, Politechnika Lubelska, e-mail: k.zaleski@pollub.pl

Jan BUREK<sup>5</sup>  
Joanna LISOWICZ<sup>6</sup>  
Tomasz RYDZAK<sup>7</sup>  
Artur SZAJNA<sup>8</sup>

## PROGRAMOWANIE CYKLU PRZECHWYTU PRZEDMIOTU WRAZ Z JEGO ODCIĘCIEM DLA CENTRUM OBRÓBKOWEGO

Przedstawiono opracowany w Katedrze Technik Wytwarzania i Automatykacji Politechniki Rzeszowskiej cykl przechwyty z odcięciem przedmiotu dla centrum obróbkowego STAMA MC 726 MT, wykorzystując możliwości układu sterowania numerycznego SINUMERIK 840D produkcji SIEMENS. Wykorzystanie stworzonego cyklu pozwala na obróbkę przedmiotów w dwóch położeniach zaciskowych. Dodatkowo ułatwia redagowanie programu sterującego, a także zmniejsza jego rozmiar. W rozdziale pierwszym przedstawiono kinematykę osi sterujących obrabiarki CNC wraz z ich nazewnictwem oraz zakresem ruchu, na której zaimplementowano cykl. W rozdziale drugim omówiono funkcje i tryby pracy przewidziane przez producenta maszyny, wspomagające programowanie procesów obróbkowych oraz zdefiniowane specjalne zmienne globalne ułatwiające tworzenie kodu NC. W kolejnej części przedstawiono podział cyklu w układzie sterowania SINUMERIK oraz działanie stworzonego cyklu, opisując jego fragmenty. Oprócz podstawowych kodów zastosowano zmienne: lokalne, globalne oraz systemowe, tworząc warunki skoków.

**Słowa kluczowe:** programowanie wysokopoziomowe, programowanie parametryczne, SINUMERIK 840D, obrabiarka wieloosiowa

## PROGRAMMING THE CAPTURE CYCLE OF A WORKPIECE WITH CUT-OFF FOR THE MACHINING CENTRE

### Summary

This article shows the capture cycle with cut-off for the STAMA MC 726 MT machining centre using the SIEMENS SINUMERIK 840D system developed at the Department of Manufacturing Techniques and Automation at the Rzeszow University of Technology. The usage of created cycle allows for machining the workpiece in two clamping positions. Further, it simplifies editing the control program and reduces its size. The first chapter shows the kinematics of CNC machine control axes with their nomenclature and a range of motion on which the cycle was implemented. In the second chapter, the functions and operating modes provided by the machine maker that support machining programming and special global variables defined to facilitate generation of NC code were discussed. The next part presents the division of the cycle in the SINUMERIK control system and shows how created cycle works. Besides the standard codes, local, global and system variables were used to create jump conditions.

**Keywords:** high-level programming, parametric programming, SINUMERIK 840D, multi-axis machine

DOI: 10.7862/rm.2017.25

*Otrzymano/received: 12.07.2017*  
*Zaakceptowano/accepted: 24.09.2017*

---

<sup>5</sup> Jan Burek, Politechnika Rzeszowska, e-mail: [jburek@prz.edu.pl](mailto:jburek@prz.edu.pl)

<sup>6</sup> Joanna Lisowicz, Politechnika Rzeszowska, e-mail: [j.lisowicz@prz.edu.pl](mailto:j.lisowicz@prz.edu.pl)

<sup>7</sup> Autor do korespondencji/corresponding author: Tomasz Rydzak, Politechnika Rzeszowska, ul. W. Pola 2, 35-959 Rzeszów, tel.: 17 865 1131, e-mail: [t.rydzak@prz.edu.pl](mailto:t.rydzak@prz.edu.pl)

<sup>8</sup> Artur Szajna, Politechnika Rzeszowska, e-mail: [a.szajna@prz.edu.pl](mailto:a.szajna@prz.edu.pl)

Tadeusz CHWALCZUK<sup>9</sup>  
Paweł TWARDOWSKI<sup>10</sup>  
Piotr KIERUJ<sup>11</sup>  
Piotr SZABLEWSKI<sup>12</sup>

## DOKŁADNE TOCZENIE STOPU INCONEL 718 OSTRZAMI Z CBN

Prezentowane badania dotyczą toczenia stopu Inconel 718 ostrzami z CBN w warunkach skrawania konwencjonalnego oraz wspomaganego laserowo. Przedstawiono wpływ prędkości skrawania na wybrane wartości parametrów chropowatości powierzchni. Dokonano optymalizacji parametrów technologicznych ze względu na minimalizację wartości wyjściowych.

**Słowa kluczowe:** toczenie, Inconel 718, CBN, chropowatość powierzchni obrabianej

## FINISH TURNING OF INCONEL 718 WITH CBN INSERTS

### Summary

Presented research is focused on turning of Inconel 718 with CBN cutting inserts under conventional and laser assisted turning conditions. The influence of cutting speed on the values of selected parameters of surface roughness was shown. The optimization of technological parameters was carried out due to the minimization of the values of output parameters.

**Keywords:** turning, Inconel 718, CBN, surface roughness of machined surface

DOI: 10.7862/rm.2017.26

*Otrzymano/received:* 12.07.2017

*Zaakceptowano/accepted:* 27.09.2017

---

<sup>9</sup> Tadeusz Chwalczuk, Politechnika Poznańska, e-mail: [tadeusz.chwalczuk@put.poznan.pl](mailto:tadeusz.chwalczuk@put.poznan.pl)

<sup>10</sup> Autor do korespondencji/corresponding author: Paweł Twardowski, Politechnika Poznańska, ul. Piotrowo 3, 60-965 Poznań, tel.: +48 61 665 28 51, e-mail: [pawel.twardowski@put.poznan.pl](mailto:pawel.twardowski@put.poznan.pl)

<sup>11</sup> Piotr Kieruj, Politechnika Poznańska, e-mail: [piotr.a.kieruj@doctorate.put.poznan.pl](mailto:piotr.a.kieruj@doctorate.put.poznan.pl)

<sup>12</sup> Piotr Szablewski, Pratt&Whitney Kalisz/PWSZ Kalisz, e-mail: [piotr.szablewski@pwk.com.pl](mailto:piotr.szablewski@pwk.com.pl)

Bożena CIAŁKOWSKA<sup>13</sup>  
Szymon DRECHNY<sup>14</sup>  
Zbigniew RODZIEWICZ<sup>15</sup>

## JAKOŚĆ WYCINANYCH KSZTAŁTÓW STRUNĄ ZBROJONĄ W MATERIAŁACH TRUDNOOBRABIALNYCH

W procesie cięcia kształtowego struną zbrojoną występują różne problemy z zapewnieniem odpowiedniej jakości wycinanych kształtów w materiałach trudnoobrabialnych. Pokazano to na przykładzie ceramiki technicznej. Przedstawiono również analizę możliwych przyczyn rozbieżności w ich odwzorowaniu. Wskazano sposoby możliwej redukcji wspomnianych rozbieżności oraz możliwość poprawy jakości wycinanych kształtów na przecinarce strunowej PS2Tsk.

**Słowa kluczowe:** cięcie kształtowe, struna zbrojona, materiały trudnoobrabialne, przecinarki strunowe

## THE QUALITY OF SHAPES CUT IN HARD MACHINABLE MATERIALS USING ABRASIVE CUTTING WIRE

### Summary

The process of shaped cut using abrasive cutting wire results in problems with providing an adequate quality of cut shapes in hard machinable materials, as it was shown on the example of technical ceramics. The results of an analysis of the possible causes of divergence in their reproduction were also presented. The ways of possible reduction of the mentioned discrepancies and possible improvement of the quality of cut shapes on the PS2Tsk wire saw were indicated.

**Keywords:** shaped cut, abrasive wire, hard machinable materials, wire saw

DOI: 10.7862/rm.2017.27

*Otrzymano/received: 12.07.2017*

*Zaakceptowano/accepted: 27.09.2017*

---

<sup>13</sup>Autor do korespondencji/corresponding author: Bożena Ciałkowska, Politechnika Wrocławska, e-mail: bozena.cialkowska@pwr.edu.pl

<sup>14</sup> Szymon Drechny, Politechnika Wrocławska, e-mail: szymon.drechny@pwr.edu.pl

<sup>15</sup> Zbigniew Rodziejewicz, Politechnika Wrocławska, e-mail: zbigniew.rodziejewicz@pwr.edu.pl

Piotr CICHOSZ<sup>1</sup>  
Marek KOŁODZIEJ<sup>2</sup>  
Paweł KAROLCZAK<sup>3</sup>  
Maciej KOWALSKI<sup>4</sup>  
Hubert SKOWRONEK<sup>5</sup>  
Kamil WASZCZUK<sup>6</sup>

## FAZOWNIK SAMOCZYNNY Z KASETKĄ NAPINANĄ ELEMENTEM SPRĘŻYSTYM

Jednym z problemów, które generują znaczne koszty oraz zwiększają czasochłonność procesów technologicznych, są czynności związane z fazowaniem krawędzi obrabionych wcześniej przedmiotów. Problem ten jest szczególnie istotny w przypadku obróbki seryjnej i masowej. Dostępne na rynku rozwiązania konstrukcyjne narzędzi do fazowania z ostrzami sprężystymi nie dają możliwości regulowania wielkości wykonywanych fazek. W pracy zamieszczono nową konstrukcję fazownika, w którym płytka skrawająca jest zamocowana w kasetce napinanej sprężyną. W celu możliwości regulowania wielkości fazki w kasetce została zaprojektowana płyta ślizgowa. Omówiono również zalety i wady prezentowanej konstrukcji wraz z możliwościami dalszych usprawnień.

**Słowa kluczowe:** narzędzie skrawające, fazowanie, kasetka

## THE SELF-ACTING CHAMFERING TOOL WITH CASSETTE TENSIONED BY SPRING ELEMENT

### Summary

The chamfering of the edges of previously machined parts is one of the problems that generates significant costs and increases the time consuming process. This problem is particularly important in lot and mass processing. The chamfering tools with resilient blades available on the market do not offer the ability to adjust the size of the chamfer. In this paper a new chamfering tool design, in which the cutting insert is fixed in a spring-loaded cassette is presented. In order to adjust the size of the chamfer, a sliding skid has been designed in the cassette. The advantages and disadvantages of the presented construction along with the possibilities of further improvements are also discussed.

**Keywords:** cutting tool, chamfering, cassette

DOI: 10.7862/rm.2017.28

*Otrzymano/received: 12.07.2017*

*Zaakceptowano/accepted: 18.09.2017*

Dana KUBÁTOVÁ<sup>16</sup>  
Martin MELICHAR<sup>2</sup>  
Jan KUTLWAŠER<sup>3</sup>

## SOFTWARE FILTERS OF SURFACE ROUGHNESS

The aim of this article is to present the system of roughness measurement, the problem of data filtering and processing the results. At the beginning of this article three basic elements of the surface are defined: roughness, waviness and surface shape. When measuring roughness all of these three parts are scanned together and under evaluation they need to be separated. Filtration is possible using roughness measurement systems and software filters. Next part of the article is focused on a description of problems of hardware filtering of these three surface components. Software data filtering description follows the description of hardware filtering.

The description of the software filter contains the basic mathematical definition of the filters and their known area of usage and their limitations

**Keywords:** roughness, waviness and shape of the surface area, hardware and software filters

### FILTRY PROGRAMOWE CHROPOWATOŚCI POWIERZCHNI

#### Streszczenie

Celem artykułu jest przedstawienie systemu pomiaru chropowatości, w szczególności problemu filtrowania i przetwarzania wyników. Na początku tego artykułu zdefiniowano trzy podstawowe parametry powierzchni: chropowatość, falistość i kształt powierzchni. Podczas pomiaru chropowatości te trzy parametry są skanowane razem, a na etapie oceny konieczne jest ich oddzielenie. Filtracja jest możliwa za pomocą urządzeń do pomiaru chropowatości i filtrów programowych. Następna część artykułu koncentruje się na omówieniu problemów związanych z filtrowaniem sprzętowym tych trzech parametrów powierzchni. Wyjaśnienie filtrowania programowego danych oprogramowania następuje po omówieniu filtrowania sprzętowego. Opis filtrów programowych zawiera podstawową matematyczną definicję filtrów, ich obszar użytkowania oraz ograniczenia.

**Słowa kluczowe:** chropowatość, falistość i kształt pola powierzchni, filtry sprzętowe i programowe

DOI: 10.7862/rm.2017.29

*Otrzymano/received: 10.06.2017*

*Zaakceptowano/accepted: 11.09.2017*

---

<sup>16</sup>Autor do korespondencji/corresponding author: Dana Kubátová, University of West Bohemia in Pilsen, Univerzitní 8, 301 00 Plzeň, Czech Republic, e-mail: [kubatova@rti.zcu.cz](mailto:kubatova@rti.zcu.cz)

<sup>2</sup> Martin Melichar, University of West Bohemia in Pilsen, Czech Republic, e-mail: [mech@rti.zcu.cz](mailto:mech@rti.zcu.cz)

<sup>3</sup> Jan Kutlwašer, University of West Bohemia in Pilsen, Czech Republic, e-mail: [kutlis@rti.zcu.cz](mailto:kutlis@rti.zcu.cz)

Maciej Jan KUPCZYK<sup>17</sup>  
Jędrzej KOMOLKA<sup>18</sup>  
Mariusz JENEK<sup>19</sup>

## BADANIA PORÓWNAWCZE WYBRANYCH WŁAŚCIWOŚCI OSTRZY SKRAWAJĄCYCH Z KUTYCH, WALCOWANYCH I SPIEKANYCH STALI SZYBKOTNĄCYCH

W artykule w celu wyjaśnienia zróżnicowanych właściwości ostrzy skrawających z konwencjonalnej i spiekanej stali szybkotnącej podczas skrawania stali 40HM-T bez oraz w obecności płynu chłodząco-smarującego przy różnych wartościach prędkości skrawania, przeprowadzono badania weryfikacyjne tych ostrzy dotyczące m.in. ich składu chemicznego, twardości, struktury, objętości olejowej powierzchni oraz współczynnika tarcia. Na końcu artykułu zamieszczono zalecenia co do zakresu stosowalności badanych materiałów narzędziowych.

**Słowa kluczowe:** konwencjonalne i spiekane stale szybkotnące, trwałość, współczynnik tarcia, objętość olejowa powierzchni

## COMPARATIVE INVESTIGATIONS OF SELECTED PROPERTIES OF CUTTING EDGES MADE OF FORGING, HOT-ROLLED AND SINTERED HIGH-SPEED STEELS

### Summary

In this article, to clarify the different properties of cutting blades made of conventional and sintered high-speed steels during machine cutting of 40HM-T steel machined at various cutting speeds and various lubrication conditions, the verification investigations of the blades consisting of chemical composition, hardness, structure, surface oil volume of surface and friction coefficient have been carried out. At the end of the article, recommendations on the range of applicability of the tested tool materials have been included.

**Keywords:** conventional and sintered high-speed steels, durability, friction coefficient, oil volume of surface

DOI: 10.7862/rm.2017.30

*Otrzymano/received:* 12.07.2017

*Zaakceptowano/accepted:* 23.09.2017

---

<sup>17</sup> Autor do korespondencji/corresponding author: Maciej Jan Kupczyk, Politechnika Poznańska, ul. Piotrowo 3, 60-965 Poznań, tel.: +48 61 8665 27 27, e-mail: maciej.kupczyk@put.poznan.pl

<sup>18</sup> Jędrzej Komolka, Politechnika Poznańska, e-mail: jedrzej.komolka@gmail.com

<sup>19</sup> Mariusz Jenek, Uniwersytet Zielonogórski, e-mail: [M.Jenek@ibem.uz.zgora.pl](mailto:M.Jenek@ibem.uz.zgora.pl)



Mikołaj KUZINOVSKI<sup>1</sup>  
Mite TOMOV<sup>2</sup>  
Piotr CICHOSZ<sup>3</sup>  
Paweł KAROLCZAK<sup>4</sup>  
Maciej KOWALSKI<sup>5</sup>  
Marek KOŁODZIEJ<sup>6</sup>  
Hubert SKOWRONEK<sup>7</sup>  
Kamil WASZCZUK<sup>8</sup>

## ANALIZA ROZKŁADU SIŁ DZIAŁAJĄCYCH NA OSTRZE FAZOWNIKA SPRĘŻYSTEGO

W pracy dokonano analizy rozkładu sił działających na ostrze skrawające w samoczynnych fazownikach. W rozważaniach wzięto pod uwagę fazowniki z różnymi rodzajami sprężyn płaskich służących do napinania ostrza. Przedstawiono czynniki wpływające na charakterystyki podatnościowe sprężyn. Sprecyzowano wytyczne do doboru najkorzystniejszych wariantów sprężyn z punktu widzenia najkorzystniejszych warunków pracy fazowników. Zwrócono uwagę na zmiany sił, jakie działają na ostrze w różnych cyklach pracy fazownika. Wyznaczono wartości sił skrawania, jakie mogą wystąpić podczas kształtowania krawędzi przedmiotów. W analizach uwzględniano także działające siły odśrodkowe oraz zmianę sił od odkształceń sprężystych elementów napinających ostrze.

**Słowa kluczowe:** fazowanie krawędzi, skrawanie, fazowniki, projektowanie narzędzi

## ANALYSIS OF CUTTING FORCES DISTRIBUTION ON CUTTING EDGE OF ELASTIC CHAMFERING TOOL

### Summary

The article presents an analysis of an influence of the distribution of forces acting on the cutting edge in self-acting chamfering tools. The various types of flat springs for tensioning the blade were taken into consideration. The factors influencing the susceptibility characteristics of springs were presented. The guidelines for selection of the most favorable spring variants from the point of view of the most favorable chamfering tools working conditions were elaborated. Attention was drawn to the changes in the forces that act on the blade in the various phases of chamfering.

The values of the cutting forces that can occur when shaping the edges of objects were determined. The analyzes also included active centrifugal forces and the change of forces due to the elastic deformation of the elements tensioning blade.

**Keywords:** edges bevelling, cutting process, bevelling tools, tools design

DOI: 10.7862/rm.2017.31

*Otrzymano/received: 12.07.2017*

*Zaakceptowano/accepted: 22.09.2017*

Adrian NOSOL<sup>20</sup>  
Marian BARTOSZUK<sup>21</sup>  
Przemysław WINIARSKI<sup>22</sup>

## BADANIA ENERGOCHŁONNOŚCI PROCESU TOCZENIA WSTECZNEGO COROTURN PRIME

Powszechnie wiadomo, że pozycja wytwórcy części maszyn na rynku jest uzależniona od jakości i ceny produkowanych przez niego elementów. W celu obniżenia kosztów produkcji, a co za tym idzie zwiększenia swojej konkurencyjności przemysł maszynowy szuka energooszczędnych strategii obróbki. Jako przykład takiego podejścia można przytoczyć strategię toczenia wstecznego CoroTurn PRIME. Jednak nie każda nowość niesie ze sobą obniżenie kosztów wytwarzania. Z tego powodu autorzy postanowili zająć się tym zagadnieniem. Niniejszy artykuł przedstawia badania energochłonności toczenia wstecznego przeprowadzonego na tokarce konwencjonalnej. Badaniom poddano przypadek toczenia wykończeniowego.

**Słowa kluczowe:** toczenie, strategia obróbki, pobór mocy, toczenie wsteczne

## RESEARCH ON ENERGY CONSUMPTION OF REVERSE TURNING PROCESS COROTURN PRIME

### Summary

It is well known that the position of the manufacturer of machine parts on the market depends on the quality and price of the components manufactured by them. In order to reduce production costs and thus to increase its competitiveness, the machine industry seeks energy-efficient machining strategies. As an example of this approach, CoroTurn PRIME reverse turning strategy can be cited. However, not every novelty brings with it a reduction in manufacturing costs. For this reason, the authors decided to explore this issue. This paper presents a study on the energy consumption of the reverse turning carried out on conventional lathe. This study involved a case of finishing turning.

**Keywords:** turning, machining strategy, power consumption, reverse turning

DOI: 10.7862/rm.2017.32

*Otrzymano/received: 12.07.2017*

*Zaakceptowano/accepted: 22.09.2017*

---

<sup>20</sup>Autor do korespondencji/corresponding author: Adrian Nosol, Politechnika Opolska, 45-272 Opole, ul. Sosnkowskiego 31, tel.: +48 77 449 8672, e-mail: a.nosol@po.opole.pl

<sup>21</sup> Marian Bartoszuk, Politechnika Opolska, e-mail: m.bartoszuk@po.opole.pl

<sup>22</sup> Przemysław Winiarski, Politechnika Opolska, e-mail: winiarski.przemyslaw@gmail.com

Agnieszka SKOCZYŁAS<sup>23</sup>  
Kazimierz ZALESKI<sup>24</sup>

## BADANIA WYBRANYCH WSKAŹNIKÓW SKRAWALNOŚCI PODCZAS FREZOWANIA STOPU INCONEL 718 NARZĘDZIAMI CERAMICZNYMI

W artykule przedstawiono wyniki badań momentu skrawania i chropowatości powierzchni w procesie frezowania czołowego stopu niklu Inconel 718. W eksperymencie wykorzystano narzędzia monolityczne o średnicy  $d = 12$  mm, wykonane z ceramiki SIALON. Badania przeprowadzono przy zmiennych parametrach technologicznych:  $a_p = 0,8-1,2$  mm,  $v_c = 400-898$  m/min,  $f_z = 0,07-0,16$  mm/ostrze. Zauważono, że wzrost posuwu na ostrze  $f_z$  i głębokości skrawania  $a_p$  powoduje większe wartości momentu skrawania  $M_c$ . W zakresie  $v_c = 400-732$  m/min następuje spadek wartości momentu skrawania  $M_c$ . Parametry chropowatości powierzchni również zależą od warunków obróbki.

**Słowa kluczowe:** ceramika SIALON, frezowanie, Inconel 718, chropowatość powierzchni, moment skrawania

## INVESTIGATIONS OF SELECTED MACHINABILITY INDICATORS IN THE MILLING OF INCONEL 718 ALLOY USING CERAMIC TOOLS

### Summary

This paper presents the results of an investigation of the cutting torque and surface roughness in the face milling of nickel-based alloy Inconel 718. In the experimental tests monolithic tools with a diameter of  $d = 12$  mm made of SIALON ceramics were used. The tests were conducted at variable technological parameters:  $a_p = 0.8-2$  mm;  $v_c = 400-893$  m/min;  $f_z = 0.07-0.16$  mm/per tooth. It has been found that increasing the feed per tooth  $f_z$  and the depth of cut  $a_p$  resulted in a higher cutting torque. In the range of  $v_c = 400-732$  m/min the decrease of cutting torque  $M_c$  was observed. Surface roughness parameters also depended on machining conditions.

**Keywords:** SIALON ceramics, milling, Inconel 718, surface roughness, cutting torque

DOI: 10.7862/rm.2017.33

*Otrzymano/received: 12.07.2017*

*Zaakceptowano/accepted: 27.09.2017*

---

<sup>23</sup>Autor do korespondencji/corresponding author: Agnieszka Skoczylas, Politechnika Lubelska, ul. Nadbystrzycka 36, 20-618 Lublin, tel.: 81 53 4707, e-mail: a.skoczylas@pollub.pl

<sup>24</sup>Kazimierz Zaleski, Politechnika Lubelska, e-mail: k.zaleski@pollub.pl

## OCENA MORFOLOGII POWIERZCHNI STOPU INCONEL 718 PO TOCZENIU WZDŁUŻNYM

Celem przeprowadzonych badań było określenie wpływu parametrów skrawania na jakość powierzchni obrobionej podczas toczenia wzdłużnego superstopu Inconel 718 bez udziału cieczy chłodząco-smarującej. Zrealizowane badania posłużyły do określenia częstotliwości powstawania narostu (oblepień) na obrobionej powierzchni podczas obróbki na sucho. Uzyskane wyniki pokazują, że podczas obróbki stopów na osnowie niklu bez udziału cieczy chłodząco-smarującej najkorzystniej jest stosować większe głębokości skrawania i większe wartości posuwu. Podczas przeprowadzonych badań najmniejsze wartości częstotliwości powstawania narostu na powierzchni obrobionej otrzymano przy zastosowaniu najwyższych parametrów skrawania podczas prób, tj.  $f = 0,21$  mm/obr. i  $a_p = 0,3$  mm. Z kolei najwyższe wartości częstotliwości powstawania narostu na powierzchni obrobionej otrzymano podczas skrawania z najmniejszymi parametrami, tj.  $f = 0,05$  mm/obr. i  $a_p = 0,05$  mm. Rezultaty badań pokazują relację minimalnej grubości warstwy skrawanej z wartością promienia zaokrąglenia krawędzi skrawającej. Uwidacznia się to zwłaszcza przy małych przekrojach warstwy skrawanej.

**Słowa kluczowe:** częstotliwość narostu, węgliki spiekane, parametry skrawania

## ASSESSMENT OF MORPHOLOGY OF MACHINED SURFACE OF INCONEL 718 ALLOY AFTER LONGITUDINAL TURNING

### Summary

The aim of the research was to determine the effect of cutting parameters on the surface quality of Inconel 718 super alloy during longitudinal turning without the use of a lubricant. Completed research was used to determine the frequency of the accretion on the machined surface during dry turning. The results show that during machining of nickel based alloys without using a lubricant, it is preferable to use larger cutting depths and higher feed rates. During the tests, the smallest values of the frequency of accretion on the machined surface were obtained using the highest cutting parameters during the tests, ie.  $f = 0.21$  mm/rev. and  $a_p = 0.3$  mm. Whereas the highest values of the frequency of accretion on the machined surface were obtained during the cutting with the lowest parameters, ie.  $f = 0.05$  mm/rev. and  $a_p = 0.05$  mm.

The results of the study show the relation of the minimum thickness of the cutting layer to the radius on the cutting edge. This is especially visible with small cross-section of the cutting layer.

**Keywords:** frequency of accretion, sintered carbide, cutting parameters

DOI: 10.7862/rm.2017.34

*Otrzymano/received:* 12.07.2017

*Zaakceptowano/accepted:* 27.09.2017

---

<sup>25</sup>Autor do korespondencji/corresponding author: Piotr Szablewski, Pratt & Whitney Kalisz/PWSZ Kalisz, ul. Elektryczna 4a, tel.: 667681866, e-mail: piotr.szablewski@pwk.com.pl

<sup>26</sup>Tadeusz Chwalczuk, Politechnika Poznańska, e-mail: tadeusz.chwalczuk@put.poznan.pl

## WPLYW WPROWADZENIA DRGAŃ ULTRADŹWIĘKOWYCH DO PROCESU SZLIFOWANIA STOPU INCONEL 718

W artykule przedstawiono badania eksperymentalne procesu szlifowania wspomaganego ultradźwiękami (UAG). Celem pracy było ustalenie wpływu wprowadzenia drgań ultradźwiękowych przedmiotu obrabianego do procesu szlifowania konwencjonalnego stopu Inconel 718 na składowe siły szlifowania i chropowatość powierzchni. Badania przeprowadzono według programu statycznego randomizowanego kompletnego, rejestrując wartości składowej normalnej i stycznej siły szlifowania oraz parametru  $Ra$  chropowatości powierzchni. Pomiarów wykonano zarówno dla procesu wspomaganego, jak i konwencjonalnego. Zmierzone wartości wielkości wyjściowych zaprezentowano na wykresach.

Na ich podstawie można zaobserwować, że wprowadzenie drgań ultradźwiękowych do procesu szlifowania spowodowało zmniejszenie wartości składowych siły szlifowania w przyjętych zakresach parametrów nastawnych. Określono również oddziaływanie wspomaganie drganiami ultradźwiękowymi na parametr chropowatości  $Ra$ .

**Słowa kluczowe:** procesy hybrydowe, szlifowanie wspomagane ultradźwiękami, składowe siły szlifowania, chropowatość powierzchni

## EFFECT OF INTRODUCING THE ULTRASONIC OSCILLATIONS TO GRINDING PROCESS OF INCONEL 718 ALLOY

### Summary

This paper presents experimental research of ultrasonic assisted grinding (UAG) process. The aim of this study was to determine the influence of introducing workpiece ultrasonic oscillations to conventional grinding process of Inconel 718 alloy on grinding force components and surface roughness. The investigations were conducted based on completely randomized design acquiring the values of normal and tangential grinding force components and surface roughness  $Ra$  parameter. Measurements were performed for ultrasonic assisted process as well as conventional process. Obtained values of output parameters were presented on graphs. It was observed that, the introduction of the ultrasonic vibrations to the grinding process results in a reduction of grinding force components (for adopted range of process parameters). The effect of ultrasonic oscillations in grinding process on surface roughness parameter  $Ra$  was also evaluated.

**Keywords:** hybrid processes, ultrasonic assisted grinding, grinding force components, surface roughness

DOI: 10.7862/rm.2017.35

*Otrzymano/received:* 12.07.2017

*Zaakceptowano/accepted:* 22.09.2017

---

<sup>27</sup>Autor do korespondencji/corresponding author: Marcin Żółkoś, Politechnika Rzeszowska, ul. W. Pola 2, 35-959 Rzeszów, tel.: 178651411, e-mail: markos@prz.edu.pl

<sup>28</sup>Michał Gdula, Politechnika Rzeszowska, e-mail: gdulam@prz.edu.pl

**Łukasz ŻURAWSKI<sup>29</sup>**  
**Borys STORCH<sup>30</sup>**  
**Anna ZAWADA-TOMKIEWICZ<sup>31</sup>**

## **BADANIA WPLYWU ZUŻYCIA OSTRZY W GŁOWICY FREZOWEJ NA CHROPOWATOŚĆ POWIERZCHNI OBROBIONEJ STOPU TYTANU**

Badania odnoszą się do prób frezowania powierzchni płaskich stopu tytanu WT22 (Ti-6Al-5Mo-5V-1Cr-1Fe) o twardości 40 HRC ostrzami z węglików spiekanych powlekanych azotkiem tytanu. Dobór parametrów frezowania i metod pomiarowych był związany z analizą zjawisk przykrawędziowych, zachodzących podczas obróbki narzędziami wieloostrzowymi, które tworzą powierzchnię obrobioną w wyniku wzajemnie nakładających się oddziaływań. Do badań zastosowano głowicę frezową z ośmioma płytkami wymiennymi o nowoczesnej konstrukcji wierzchołka ostrza w postaci powierzchni dogładzającej  $A_{\text{B}}$ . Badania zużycia ostrzy i chropowatości powierzchni obrobionej przeprowadzono dla trzech prędkości posuwu, przy uwzględnieniu bicia osiowego ostrzy.

**Słowa kluczowe:** frezowanie powierzchni płaskiej, zużycie ostrza, chropowatość powierzchni obrobionej, obróbka stopu tytanu

## **INVESTIGATION OF EFFECT OF TOOL WEAR OF CUTTING EDGES OF FACE MILLING CUTTER ON SURFACE ROUGHNESS OF TITANIUM ALLOY**

### **Summary**

This paper presents the results of milling tests of flat surfaces of WT22 (Ti-6Al-5Mo-5V-1Cr-1Fe) titanium alloy (hardness 40 HRC) with the use of titanium nitride coated sintered carbides. Selection of milling parameters and measurement methods was related to the analysis of the contact phenomena occurring during machining using the indexable tools, which form the machined surface as a result of the overlapping interactions. The face milling cutter with eight interchangeable inserts has a modern construction of blade tip in the form of an  $A_{\text{B}}$  superfinish surface. The investigations of cutting edge wear and roughness of machined surface were carried out at three feed rates, taking into account face run-out of cutting edges.

**Keywords:** milling of flat surface, cutting edge wear, surface roughness of machined surface, machining of titanium alloy

DOI: 10.7862/rm.2017.36

*Otrzymano/received: 12.07.2017*

*Zaakceptowano/accepted: 24.09.2017*

---

<sup>29</sup> Łukasz Żurawski, Politechnika Koszalińska, e-mail: lukasz.zurawski@tu.koszalin.pl

<sup>30</sup> Borys Storch, Politechnika Koszalińska, e-mail: borys.storch@tu.koszalin.pl

<sup>31</sup> Autor do korespondencji/corresponding author: Anna Zawada-Tomkiewicz, Politechnika Koszalińska, ul. Raclawicka 15-17, tel.: 94 3478 451, e-mail: anna.zawada-tomkiewicz@tu.koszalin.pl

**Łukasz ŻYŁKA**<sup>32</sup>  
**Robert BABIARZ**<sup>33</sup>  
**Marcin PŁODZIEN**<sup>34</sup>  
**Paweł SUŁKOWICZ**<sup>35</sup>  
**Mateusz PASIERB**<sup>36</sup>

## **ZASTOSOWANIE CO<sub>2</sub> JAKO CHŁODZIWA W PROCESIE TOCZENIA**

Zastosowanie chłodziwa w procesach obróbkowych ma istotne znaczenie dla przebiegu i wyniku procesu skrawania. Jedną z podstawowych funkcji, jakie spełniają chłodziwa w procesie skrawania, jest redukcja temperatury w strefie skrawania, a przez to m.in. zwiększenie trwałości narzędzia. Z uwagi na uciążliwość dla środowiska naturalnego chłodziw na bazie olejów oraz ograniczone zdolności przejmowania ciepła skrawania stale poszukuje się innych, proekologicznych mediów chłodzących, głównie w postaci gazowej. W związku z tym w artykule przedstawiono wyniki badań zastosowania ciekłego CO<sub>2</sub> jako chłodziwa w procesie toczenia stali. Mierzono składowe siły skrawania oraz temperaturę w strefie skrawania. Porównano proces chłodzenia CO<sub>2</sub> z obróbką na sucho i z zastosowaniem sprężonego powietrza. W wyniku zastosowania ciekłego CO<sub>2</sub> jako chłodziwa uzyskano znaczącą redukcję temperatury oraz składowych siły skrawania.

**Słowa kluczowe:** toczenie, chłodzenie, CO<sub>2</sub>

### **USING CO<sub>2</sub> AS A COOLANT IN TURNING PROCESS**

#### **S u m m a r y**

The use of coolant in machining processes is very important for the cutting process and its result. One of the basic functions that coolant perform in the cutting process is the reduction of the temperature in the cutting zone and increasing of tool life. Due to the fact that oil-based coolants are burdensome for the environment and have limited heat transfer capabilities, other pro-ecological cooling fluids are constantly looking for, mainly gases. Taking this into account, the results of studies on the use of CO<sub>2</sub> liquid as a coolant in the steel turning process are presented in this paper. Components of the cutting force and the temperature in the cutting zone were measured. Turning processes with the use of the CO<sub>2</sub>, compressed air and without coolant were compared. As a result of the use of liquid CO<sub>2</sub> as a coolant, a significant reduction in temperature and component cutting forces has been achieved.

**Keywords:** turning, cooling, CO<sub>2</sub>

DOI: 10.7862/rm.2017.37

*Otrzymano/received: 12.07.2017*

*Zaakceptowano/accepted: 27.09.2017*

---

<sup>32</sup>Autor do korespondencji/corresponding author: Łukasz Żyłka, Politechnika Rzeszowska, ul. W. Pola 2, 35-959 Rzeszów, tel.: 17 8651374, e-mail: zylka@prz.edu.pl

<sup>33</sup> Robert Babiarsz, Politechnika Rzeszowska, e-mail: robertb@prz.edu.pl

<sup>34</sup> Marcin Płodzień, Politechnika Rzeszowska, e-mail: plodzien@prz.edu.pl

<sup>35</sup> Paweł Sułkowicz, Politechnika Rzeszowska, e-mail: sulkowicz@prz.edu.pl

<sup>36</sup> Mateusz Pasierb, absolwent Politechniki Rzeszowskiej

**Łukasz ŻYŁKA**<sup>37</sup>  
**Robert BABIARZ**<sup>38</sup>  
**Marcin PŁODZIEN**<sup>39</sup>  
**Paweł SUŁKOWICZ**<sup>40</sup>  
**Wiktor BOBKO**<sup>41</sup>  
**Renata REMBIASZ**<sup>42</sup>

## ZUŻYCIE ŚCIERNICY W SZLIFOWANIU CFG

W artykule przeprowadzono badania jednej z odmian szlifowania, którą jest szlifowanie głębokie z posuwem pelżającym, zwane szlifowaniem CFG (Creep-Feed Grinding). Charakteryzuje się ono dużymi wartościami dosuwu, co powoduje intensywne zużycie ściernicy. Ze względu na to, że jest to szlifowanie jednoprzęściowe i zużycie ściernicy postępujące podczas obróbki ma bezpośredni wpływ na dokładność wymiarowo-kształtową szlifowanej powierzchni, przebadano zużycie promieniowe ściernicy w szlifowaniu CFG stopu Inconel 718. Zakres badań obejmował wpływ posuwu obciążania oraz objętości właściwej zeszlifowanego materiału na wielkość zużycia promieniowego ściernicy. Wykazano, że zużycie promieniowe ściernicy jest zależne głównie od objętości zeszlifowanego materiału. Nie wykazano istotnego wpływu zmiany parametrów obciążania ściernicy.

**Słowa kluczowe:** szlifowanie, szlifowanie CFG, zużycie ściernicy

## GRINDING WHEEL WEAR IN CREEP-FEED GRINDING

### Summary

One of the grinding methods is deep grinding with slow feed, called Creep-Feed Grinding (CFG). The CFG process analysed in this paper is characterized by high in-feed values what causes intensive wear of grinding wheel. Due to the fact that it is one-pass grinding, grinding wheel wear during machining has an influence on dimensional and shape accuracy of grinding surface. Taking the above mentioned into account, the experimental study of radial wear of grinding wheel in CFG of Inconel 718 was performed. The influence of the dressing feed and the volume of grinded material on the radial wear of the grinding wheel were determined.

It was found that radial wear of grinding wheel mainly depends on the volume of grinded material. The significant effect of the change in parameters of grinding wheel dressing was not revealed.

**Keywords:** Grinding, creep-feed grinding, grinding wheel wear

DOI: 10.7862/rm.2017.38

*Otrzymano/received: 12.07.2017*

*Zaakceptowano/accepted: 27.09.2017*

---

<sup>37</sup>Autor do korespondencji/corresponding author: Łukasz Żyłka, Politechnika Rzeszowska, ul. W. Pola 2, 35-959 Rzeszów, tel.: 17 8651374, e-mail: zylka@prz.edu.pl

<sup>38</sup>Robert Babiarez, Politechnika Rzeszowska, e-mail: robertb@prz.edu.pl

<sup>39</sup>Marcin Płodzień, Politechnika Rzeszowska, e-mail: plodzien@prz.edu.pl

<sup>40</sup>Paweł Sułkowicz, Politechnika Rzeszowska, e-mail: sulkowicz@prz.edu.pl

<sup>41</sup>Wiktor Bobko, absolwent Politechniki Rzeszowskiej

<sup>42</sup>Renata Rembiasz, absolwentka Politechniki Rzeszowskiej