

ANALIZA CECH EKSPLOATACYJNYCH INNOWACYJNYCH KONSTRUKCJI NARZĘDZI WYKORZYSTYWANYCH W PROCESACH FREZOWANIA ZGRUBNEGO Z WYKORZYSTANIEM TECHNOLOGII HSM

AN ANALYSIS OF THE OPERATIONAL CHARACTERISTICS OF INNOVATIVE TOOL STRUCTURES USED IN HIGH SPEED ROUGH MILLING PROCESSES

Rozwój systemów narzędziowych determinuje zmiany w doborze strategii obróbkowych wykorzystywanych w procesach obróbki skrawaniem. Jednym z przykładów jest frezowanie czołowe. Pojawienie się frezów do obróbki wglębnej wymusiło na dystrybutorach oprogramowania typu CAM wprowadzenie do odpowiednich modułów nowej strategii obróbkowej, a co za tym idzie coraz częstszego wykorzystywania frezów czołowych w procesach obróbkowych. Artykuł ma na celu porównanie procesu skrawania z wykorzystaniem frezów jednolitych palcowych walcowo-czołowych i frezów wglębnych z zastosowaniem technologii HSM oraz ocenę ich właściwości eksploatacyjnych na podstawie sił generowanych w strefie skrawania.

Słowa kluczowe: frezowanie wglębne, frezowanie walcowo-czołowe, HSM, siły skrawania, eksploatacja narzędzi skrawających.

The development of tooling systems determines changes in the selection of machining strategies used in machining processes. One example is face milling. The appearance on the market of plunge cutters has forced the distributors of CAM-type software to introduce into the appropriate modules a new machining strategy, thus leading to an ever more frequent use of face cutters in machining processes. The aim of this paper is to compare the processes of high speed machining that use integral-tooth end milling cutters to those using plunge milling cutters and to evaluate their operational properties on the basis of the forces generated in the machined zone.

Keywords: plunge milling, end milling, HSM, cutting forces, maintenance of machining tools.

1. Wstęp

Współcześnie pod pojęciem „eksploatacja” rozumie się zespół celowych działań organizacyjno - technicznych i ekonomicznych ludzi z urządzeniami technicznymi oraz wzajemne relacje występujące między nimi od chwili przejęcia urządzenia do wykorzystania zgodnie z przeznaczeniem, aż do jego utylizacji po likwidacji. Strategia eksploatacyjna polega na ustaleniu sposobów prowadzenia, użytkowania i obsługi maszyn, relacji między nimi oraz oceny związanych z nimi procesów wytwórczych w świetle przyjętych kryteriów [20]. Istotnym czynnikiem jest tutaj odpowiedni dobór kryteriów oceny procesów towarzyszących eksploatacji maszyn i urządzeń. Przykładowo specjaliści zajmujący się badaniem eksploatacji pojazdów z napędem elektrycznym do głównych kryteriów eksploatacyjnych zaliczą: zasięg przebiegu w cyklu jazdy miejskiej, prędkość maksymalną, przyspieszenie, zdolność pokonywania wzniesień, zużycie energii na jednostkę przebiegu, odzyskiwanie energii podczas hamowania (rekuperacja), koszty eksploatacji, czy też niezawodność i trwałość układu napędu elektrycznego [10]. Naukowcy zajmujący się zagadnieniami eksploatacji narzędzi do skrawania skał w układzie wielostrzowym do kryteriów eksploatacyjnych mogą zaliczyć cechy konstrukcyjne głowicy skrawającej, wielkość sił występujących w procesie skrawania, czy też wartość energii jednostkowej [8]. Podobnie technolog projektując proces technologiczny obróbki musi odpowiednio dobierać narzędzia skrawające, mając na uwadze zarówno względy ekonomiczne, właściwości eksploatacyjne, jak i nowoczesne rozwiązania

1. Introduction

Today the term ‘maintenance’ is understood as a set of goal-oriented organizational, technical, and economic actions that people perform in using technical devices and the mutual relations that obtain between user and machine from the moment of access to the device to its appropriate use until its recycling after disposal. A maintenance strategy consists in determining the ways of running, using and operating machines, the relations between them, and the evaluation of the production processes associated with them in the light of the adopted criteria [20]. A significant factor here is an appropriate selection of criteria for the evaluation of the processes accompanying maintenance of machines and devices. For instance, specialists studying maintenance of electric-drive vehicles will count among the main operational criteria the vehicle’s city mpg range, maximum speed, acceleration, the ability to drive up hills, consumption of energy per unit of distance, recuperation of energy while braking, operational costs or the reliability and durability of the electric drive system [10]. For researchers dealing with issues of maintenance of multi-tool sets for cutting rock materials, operational criteria may include the structural features of the cutting head, the magnitude of the forces generated in the cutting process, or the unit energy value [8]. Similarly, a technologist designing the technological process of machining has to make a proper selection of machining tools taking into account economic considerations, operational properties, as well as the modern design solutions. One of the elements of machining processes that a technologist has to design are roughing operations.

konstrukcyjne. Jednym z elementów projektowanych procesów obróbkowych są zabiegi obróbki zgrubnej.

Zasadniczym celem prowadzenia procesów obróbki zgrubnej jest usunięcie jak największej ilości nadmiaru obróbkowego, w jak najkrótszym czasie. Dobór strategii obróbkowej determinowany jest przede wszystkim rodzajami narzędzi obróbkowych dostępnych obecnie na rynku. Producenci narzędzi co jakiś czas wprowadzają nowe rozwiązania dotyczące nie tylko samej geometrii, ale też sposobu obróbki, mając na celu polepszenie ich właściwości eksploatacyjnych poprzez skrócenie czasów maszynowych obróbki, oraz niezawodności, poprzez zwiększenie czasu trwałości ostrza. Jednym z nowszych sposobów prowadzenia obróbki zgrubnej jest tzw. frezowanie wgłębne.

System frezowania wgłębego stosowany jest w celu szybkiego usunięcia materiału z przedmiotu obrabianego w procesach obróbki zgrubnej lub kształtującej. W tym systemie narzędzie obraca się dookoła swojej osi (oś Z) a jednocześnie wzdłuż tej samej osi wykonuje ruch posuwowy aż do uzyskania odpowiedniej głębokości. Następnie narzędzie wycofywane jest ze strefy skrawania wzdłuż osi Z oraz pozycjonowane wzdłuż osi X lub Y przed ponownym zagłębieniem się w materiale obrabianym [17,18].

W początkowym okresie badania procesu frezowania czołowego skupiały się na doborze odpowiedniej geometrii narzędzia oraz odpowiednich parametrów skrawania. Wyniki badań [19] wykazują, że zarówno wydajność procesu frezowania czołowego jak i chropowatości obrabianych powierzchni były wyższe od klasycznego frezowania frezami palcowymi. Pozostała literatura [8,9,10,13,16] to w zasadzie opracowania komercyjne oparte na katalogach firm produkujących narzędzia. Wraz ze wzrostem zainteresowania stosowania metody frezowania wgłębego pojawiły się publikacje [5,6] dokładniej opisujące sam proces frezowania czołowego oraz przedstawiające modele matematyczne weryfikowane doświadczalnie. Wykazują one między innymi, że główną przyczyną powstawania drgań w strefie skrawania oraz sił w płaszczyznach prostopadłych do kierunku posuwu jest niesymetryczne umieszczenie płytek w oprawce narzędziowej oraz podatność skrętna narzędzia.

Literatura [1,2,11,12,15] podaje również, że czasy maszynowe obróbki detali z wykorzystaniem frezowania wgłębego mogą zostać zredukowane nawet o 60% w porównaniu ze strategiami obróbkowymi stosowanymi dotychczas szczególnie, jeżeli wykorzystana zostanie w takim przypadku technologia HSM. Ma to wymierne korzyści ekonomiczne dla prowadzenia procesu technologicznego związane z bardziej optymalną eksploatacją obrabiarki, większą trwałością i niezawodnością narzędzi skrawających itp.

O tym, że ten rodzaj obróbki staje się coraz bardziej popularny świadczy fakt, że wielu producentów oprogramowania typu CAM umieściło w swoim produkcie dodatkową strategię w module odpowiadającym za planowanie obróbki zgrubnej, wykorzystującą frezy czołowe właśnie do frezowania wgłębego (frezowanie typu plunge). Można tutaj wymienić takie programy jak Unigraphics NX, TopSolid[®]CAM, Mastercam, EdgeCAM i wiele innych [4,7,14].

Jak wynika z analizy prowadzonej przez Wakaoka i innych [19], zabieg frezowania wgłębego charakteryzuje się niewątpliwie dobrymi właściwościami eksploatacyjnymi, jednakże badania porównawcze tego procesu z klasycznym frezowaniem frezem walcowo-czołowym nie uwzględniają użycia technologii HSM dla narzędzia konwencjonalnego. Dlatego też

The principal goal of roughing is to remove the largest possible volume of machining allowance in the shortest possible time. The choice of the machining strategy is determined primarily by the types of machining tools currently available on the market. Once in a while, tool manufacturers introduce new solutions, concerning not only the geometry of the tools but also the methods of machining, aimed at improving their operational properties by shortening machining times and enhancing their reliability by extending cutter life. One of the newer roughing methods is so-called plunge milling.

Plunge milling is used for fast removal of material from a workpiece in roughing or profiling processes. In this system, the tool revolves around its axis (the Z axis) and is at the same time fed along the same axis until reaching the desired depth. Subsequently the tool is retracted from the machining zone along the Z axis and positioned along the X or Y axes before plunging in the workpiece again [17,18].

Initially, studies of face milling focused on the selection of an appropriate geometry of the tool and appropriate machining parameters. Research results [19] show that in the face milling process both the efficiency and the roughness of the machined surfaces were higher than in conventional end milling. The remaining references [8,9,10,13,16] are, by and large, commercial studies based on catalogues of tool manufacturing companies. Together with the growth of interest in the use of the plunge milling method, there appeared publications [5,6] which gave more accurate descriptions of the very process of face milling and presented experimentally verifiable mathematical models. They show, among others, that the main cause of the formation of vibrations in the cutting zone and generation of forces in planes perpendicular to the feed direction is non-symmetrical positioning of inserts in the tool holder and torsional flexibility of the tool.

It has also been reported in the literature [1,2,11,12,15] that machining times for plunge milling of parts can be reduced by as much as 60% relative to the machining strategies used so far, especially when HSM technology is used. This has notable economic benefits for carrying out the technological process, connected with a more optimal use of the machine tool, larger durability and reliability of the cutting tools, etc.

That this type of machining is becoming more and more popular is attested to by the fact that many manufacturers of CAM-type software have included in their products, in modules responsible for planning rough milling, an additional strategy which makes use of face cutters for plunge milling. One could mention programs such as Unigraphics NX, TopSolid[®]CAM, Mastercam, EdgeCAM and many others [4,7,14].

As it follows from the analysis conducted by Wakaoka and colleagues [19], the plunge milling operation is undoubtedly characterised by good operational properties, however, studies comparing this process with classical end milling do not take into account the possibility of using HSM technology with the conventional tool. That is why a decision has been taken to carry out a comparative study of plunge milling and classical end milling with the application of HSM technology to both tools used. The results of this research are presented below.

The study concerns the operations of plunge milling and end milling. Accordingly, the following machining tools have been selected: a CoroMill 210 R210-025A20-09M face mill and a CoroMill Plura R216 33-25040-AJ25U end mill. The tools have been kindly provided by the Sandvik company. The re-

zdecydowano się przeprowadzić badania porównawcze procesu frezowania wglębnego i klasycznego walcowo-czołowego z zastosowaniem technologii HSM dla obydwu użytych narzędzi. Wyniki tych badań prezentuje poniższa praca.

Badania dotyczyć będą zabiegu frezowania wglębnego i walcowo-czołowego. Na tej podstawie dokonano wyboru narzędzi obróbkowych (frez czołowy CoroMill 210 R210-025A20-09M oraz frez palcowy walcowo-czołowy CoroMill Plura R216 33-25040-AJ25U). Narzędzia udostępniła firma Sandvik. Wyniki badań powinny potwierdzić celowość stosowania takich narzędzi jak frezy do frezowania wglębnego szczególnie ze względu na skrócenie maszynowych czasów obróbki, a co się z tym wiąże, skrócenie czasu eksploatacji obrabiarki.

2. Metodyka badań

Głównym celem badań było porównanie sił w strefie skrawania w przypadku frezowania zgrubnego frezem palcowym walcowo-czołowym i czołowym z wykorzystaniem technologii HSM.

Siły skrawania powodują odkształcenia układu OUPN, co ma bezpośredni wpływ na zmianę wzajemnego położenia narzędzia i przedmiotu obrabianego, czyli w zasadzie na dokładność wymiarowo-kształtową oraz stan geometryczny powierzchni. Ich wielkość decyduje o dynamice prowadzonego procesu skrawania. Wszystko to świadczy o walorach eksploatacyjnych narzędzi, a przede wszystkim o ich wpływie na proces eksploatacji obrabiarki. Umożliwia też monitorowanie samego procesu skrawania, jak i stanu maszyny technologicznej.

Badania podzielono na dwa etapy. Pierwszy etap polegał na przeprowadzeniu próby frezowania frezem walcowo-czołowym (rys. 1b) przy stałej prędkości skrawania zalecanej przez producenta narzędzia i zmiennym posuwem, w celu wstępnego wyznaczenia zależności zmienności sił skrawania w funkcji zmiany posuwu, zgodnie ze schematem zamieszczonym na rysunku 2.

Drugi etap badań polegał na porównaniu sił skrawania w przypadku frezowania zgrubnego frezem wglębnym i walcowo-czołowym (rys. 1a, 1b) podczas przebiegu rzeczywistego procesu obróbkowego na pionowym centrum obróbkowym. Ponieważ frez wglębny ze względu na geometrię ostrza nie

sults of the research should confirm the purposefulness of using tools such as plunge milling cutters, particularly on account of the shortening of machining times and the associated shortening of the time of machine operation.

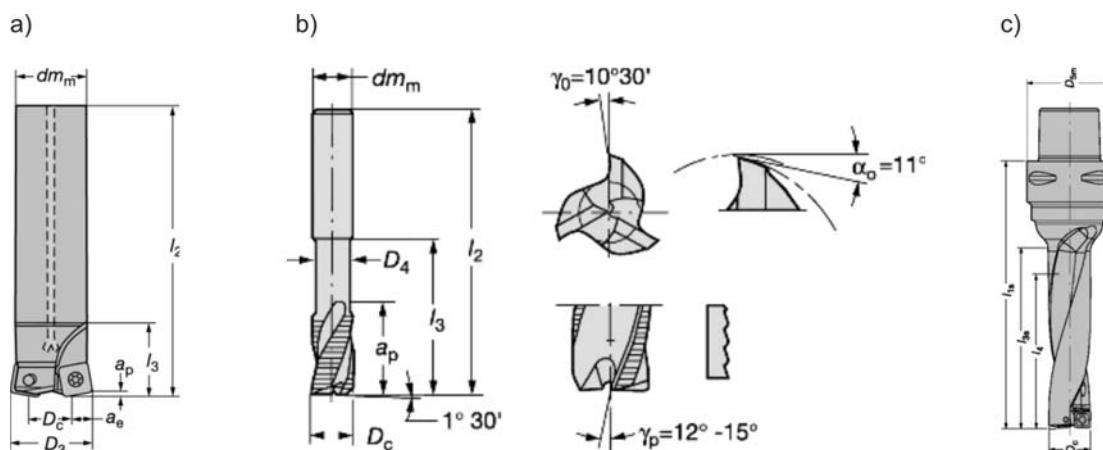
2. Methods

The chief aim of the study was to compare the forces arising in the cutting zone during high-speed rough milling with an end mill and a face mill.

Cutting forces cause deformations in the machine-holder-workpiece-tool system, which has a direct effect on the change in the mutual position of the tool and the workpiece that, in turn, translates into the size-and-shape accuracy and the geometric state of the surface. The magnitude of these forces determines the dynamics of the cutting process. All this testifies to the operational qualities of the tools, and above all their influence on the process of machine maintenance. It also enables monitoring of the cutting process itself as well as the condition of the technological machine.

The study was divided into two stages. The first stage consisted in running an end milling test (Fig. 1b), at a constant cutting speed recommended by the manufacturer and a variable feed, for preliminary determination of the variability of cutting forces as a function of feed change, in accordance with the schema in Figure 2.

The second stage of the study consisted in comparing the cutting forces in rough milling with a plunge cutter and an end milling cutter (Figs. 1a, 1b) in the course of an actual machining process on a vertical machining centre. Since a plunge cutter, due to its cutter geometry, cannot cut in solid material, a drill-



Rys. 1. Rysunki katalogowe frezów użytych w procesie obróbki zgrubnej [3]: a) frez czołowy CoroMill 210 R210-025A20-09M, b) frez palcowy walcowo-czołowy CoroMill Plura R216 33-25040-AJ25U, c) wiertło CoroDrill 880

Fig. 1. Catalogue drawings of the cutters used in the roughing process [3]: a) the CoroMill 210 R210-025A20-09M face cutter, b) the CoroMill Plura R216 33-25040-AJ25U end milling cutter, c) the CoroDrill 880 drill

może skrawać w pełnym materiale, dlatego też w procesie technologicznym należało zaplanować zabieg wiercenia. Badania przeprowadzone zostały na pionowym centrum obróbkowym FV 580A z systemem sterowania Fanuc 0iMC. Do pomiaru sił zastosowany został siłomierz firmy Kistler 9257B i wzmacniacz 5017B.

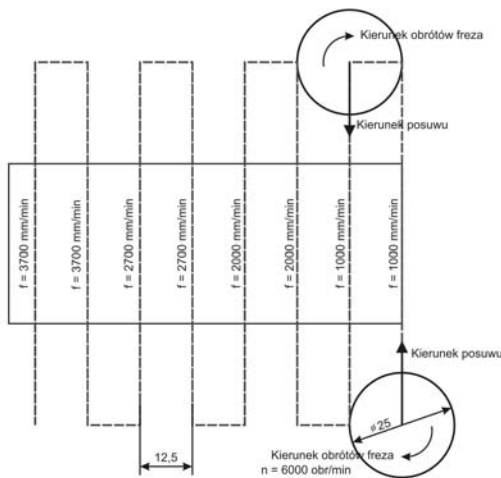
Do obróbki detali wykorzystano narzędzia udostępnione przez firmę Sandvik. Parametry technologiczne obróbki dla poszczególnych narzędzi zamieszczone zostały w tabeli 1.

Badania przeprowadzone zostały z wykorzystaniem przedmiotu obrabianego, którego kształt przedstawiono na rysunku 3. Materiał, z którego wykonane zostały próbki to stop aluminium. Wymiary półfabrykatu: 140x110x55 mm. Model oraz proces obróbki zaprojektowano w systemie Unigraphics NX 5.0 z zastosowaniem technologii HSM. Detal obrabiano dwoma rodzajami frezów: frezem palcowym CoroMill Plura R216 33-25040-AJ25U oraz frezem czołowym CoroMill 210 R210-025A20-09M.

3. Wyniki badań oraz ich analiza

Wyniki badań z pierwszego etapu, czyli pomiar sił skrawania podczas obróbki detalu frezem palcowym zgodnie ze schematem zamieszczonym na rysunku 2 zaprezentowane zostały w tabeli 2 (użyte wartości posuwów podczas pierwszego etapu badań dostępne były na pionowym centrum obróbkowym FV580A w trybie „JOG”).

Na podstawie wyników badań wykonano wykresy zależności siły od wartości posuwu, które zamieszczone zostały na rysunkach 4 i 5.



Rys. 2. Schemat frezowania frezem palcowym walcowo-czołowym (pierwszy etap badań)

Fig. 2. A schematic diagram of end milling (first stage of the study)

ling operation had to be planned in the technological process. The studies were carried out on a vertical machining centre FV 580A with the Fanuc 0i MC control system. Forces were measured using a Kistler 9257B dynamometer and a 5017B charge amplifier.

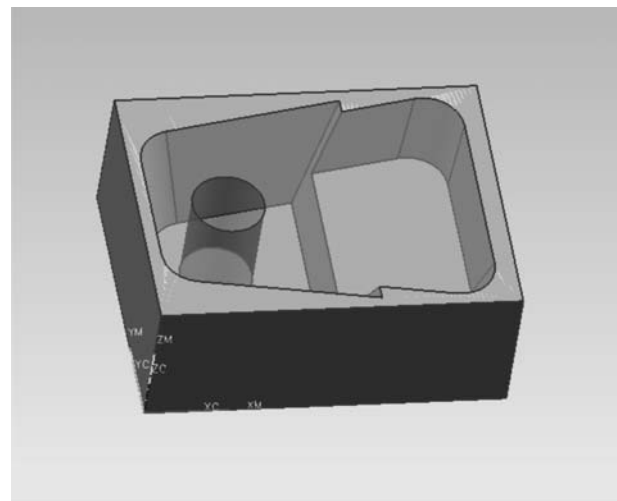
Tools provided by the Sandvik company were used for machining of parts. The technological machining parameters for the individual tools are presented in Table 1.

The studies were conducted with a workpiece of the shape presented in Figure 3. The material from which the specimens were made was an aluminium alloy. The dimensions of the semi-finished product were 140x110x55 mm. The model and the machining process were designed in the Unigraphics NX 5.0 system using HSM technology. The part was machined with two kinds of cutters: a CoroMill Plura R216 33-25040-AJ25U end-mill and a CoroMill 210 R210-025A20-09M face-mill.

3. Results and discussion

The results of the first stage of the study, i.e. measurement of the cutting forces during machining of a part with an end-mill in accordance with the schematic diagram in Figure 1 are presented in Table 2 (the feed values used in the first stage of the research were achieved on an FV580A vertical machining centre in the JOG mode).

On the basis of the study results, graphs were drawn of the relation between force and feed, which are shown in Figures 4 and 5.



Rys. 3. Model wykonany w UGS NX 5

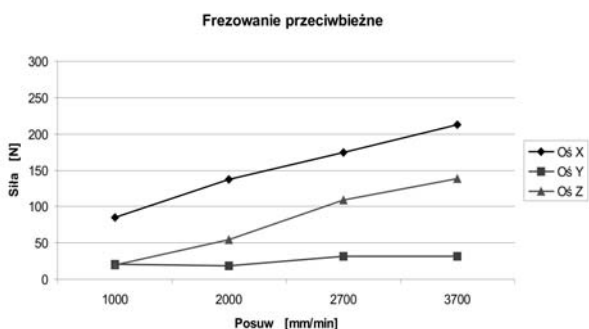
Fig. 3. A model created using UGS NX 5

Tab. 1. Parametry technologiczne procesu obróbki
Tab. 1. Technological parameters of the machining process

Symbol Narzędzia / Tool Symbol	D [mm]	V _c [m/min]	F _z [mm]	a _e [mm]	a _p [mm]
CoroMill Plura R216 33-25040-AJ25U	25	500	0,15	12,5	6
CoroMill 210 R210-025A20-09M	25	500	0,15	8	6
CoroDrill 880	28	350	0,03		

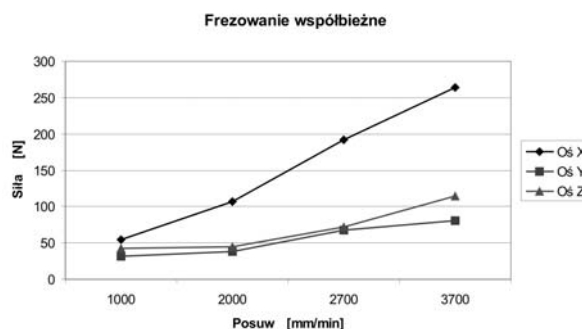
Tab. 2. Maksymalne wartości sił zmierzone w procesie frezowania frezem palcowym walcowo-czołowym
 Tab. 2. Maximum force values measured in the end-milling process

Posuw / Feed [mm/min]	Frezowanie przeciwbieżne / Up-cut milling			Frezowanie współbieżne / Down-cut milling		
	Siła / Force [N]					
	Oś X	Oś Y	Oś Z	Oś X	Oś Y	Oś Z
1000	84,683	20,7	20,137	54,573	31,991	42,287
2000	137,374	18,818	54,369	107,265	37,637	44,301
2700	175,011	31,911	108,734	191,947	67,746	72,492
3700	212,647	31,991	138,943	263,457	80,919	114,779



Rys. 4. Wykres zmian wartości sił w zależności od posuwu dla frezowania przeciwbieżnego

Fig. 4. A graph of force variation against feed in up-cut milling



Rys. 5. Wykres zmian wartości sił w zależności od posuwu dla frezowania współbieżnego

Fig. 5. A graph of force variation against feed in down-cut milling

Analizując otrzymane wyniki badań należy stwierdzić, że wzrost wartości posuwu przy stałej szybkości skrawania zalecanej przez producenta narzędzia (500 m/min, $n=6400$ obr/min) powodował wzrost sił skrawania zarówno dla frezowania współbieżnego, jak i przeciwbieżnego z jednym wyjątkiem. Dla frezowania przeciwbieżnego wartość siły F_y zmieniała się minimalnie. Zalecany posuw dla tego rodzaju narzędzia określony przez producenta wynosi $f_z=0,15$ mm/ostrze ($f_{min}=2700$ mm/min). Rzeczywisty proces obróbki charakteryzuje się między innymi zmienną wartością posuwu wynikającą ze zmiennej geometrii przedmiotu obrabianego (szczególnie w przypadku zastosowania technologii HSM), a jego wartość oscyluje względem wartości ustalonej przez technologa (czyli w zasadzie wartości ustalonej przez producenta). Wyniki badań pokazują, że wzrost wartości posuwu z 2700 mm/min (wartość zalecana przez producenta) na 3700 mm/min, czyli o 37% powodował maksymalny przyrost sił skrawania na poziomie 28% dla frezowania przeciwbieżnego i 58% dla frezowania współbieżnego. Spadek wartości posuwu o 26% spowodował spadek wartości sił skrawania podczas frezowania przeciwbieżnego nawet o 50%, a dla frezowania współbieżnego maksymalnie o 44%. Dlatego też ustalając parametry skrawania technolog nie powinien przekraczać wartości posuwu zalecanej przez producenta narzędzi. Nadmierny wzrost wartości posuwu może prowadzić do zmniejszenia czasu trwałości ostrza i nadmiernego wzrostu sił skrawania w strefie obróbki. Ma to oczywiście niekorzystny wpływ na warunki eksploatacyjne narzędzia (skrócenie czasu trwałości ostrza) oraz na dynamikę samego procesu skrawania, co bezpośrednio wiąże się z przyspieszonym zużyciem elementów eksploatowanej obrabiarki (zużycie łożysk, prowadnic, pogorszenie dokładności pozycjonowania wrzeciona lub suportu obrabiarki, pogorszenie dokładności wymiarowo-kształtowej obrabianego detalu).

When analysing the results obtained, it should be stated that an increase in the feed rate at the constant cutting speed recommended by the manufacturer of the tool (500 m/min, $n=6400$ rev/min) caused an increase in cutting forces both in down-cut milling and in up-cut milling with one exception: for up-cut milling, the value of the force F_y changed minimally. The recommended feed for this kind of tool as specified by the manufacturer is $f_z=0.15$ mm/tooth ($f_{min}=2700$ mm/min). The actual machining process is characterised, among others, by a variable feed rate resulting from the variable geometry of the workpiece (especially when HSM technology is used), whose value oscillates relative to the value established by the technologist (that is, in principle, the value established by the manufacturer). The study results show that an increase in feed rate from 2700 mm/min (the value recommended by the manufacturer) to 3700 mm/min, i.e., an increase of 37%, caused a maximum increase in cutting forces which equalled 28% for up-cut milling and 58% for down-cut milling. A 26% fall in the feed rate caused a decrease in the value of cutting forces during up-cut milling by up to 50%, and by the maximum of 44% for down-cut milling. This shows that when specifying cutting parameters, a technologist should not exceed the feed rate recommended by the tool manufacturer. An excessive increase in the feed rate may lead to reducing cutter life and an excessive increase of cutting forces in the machining zone. This, of course, has an adverse effect on the operational conditions of the tool (reduction of cutter life) and the dynamics of the overall cutting process, which is directly connected with accelerated wear of the elements of the machine used (wear of bearings and slideways, deterioration of the positioning accuracy of the machine tool spindle or support, deterioration of the size-and-shape accuracy of the machined part).

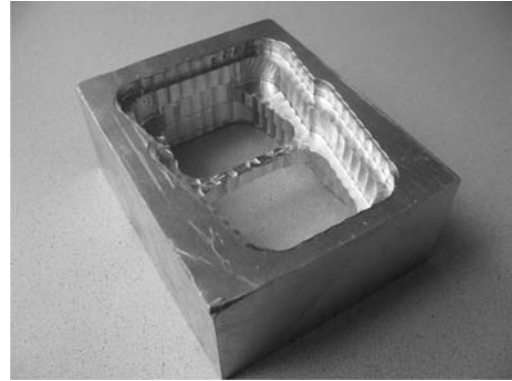
Drugi etap badań polegał na pomiarze sił skrawania podczas prowadzenia rzeczywistego procesu obróbki detalu. Obrabione detale pokazane zostały na rysunkach 6 i 7. Wyniki pomiarów zamieszczono w tab. 3 oraz w formie graficznej na rysunku 8. Maszynowy czas obróbki detalu frezem palcowym wyniósł w tym przypadku 23 min 32 s, natomiast frezem czołowym 17 min 01 s.

The second stage of the study consisted in measuring the cutting forces in the course of an actual process of machining a part. The machined parts are shown in Figures 6 and 7. The results of the measurements are tabulated in Table 3 and shown in a graphical form in Figure 8. The machining times for end milling and face milling of the parts were 23 min 32 s and 17 min 01 s, respectively.



Rys. 6. Detal po obróbce z wykorzystaniem narzędzia CoroMill Plura R216 33-25040-AJ25U

Fig. 6. A part machined using the CoroMill Plura R216 33-25040-AJ25U tool



Rys. 7. Detal po obróbce z wykorzystaniem narzędzia CoroMill 210 R210-025A20-09M

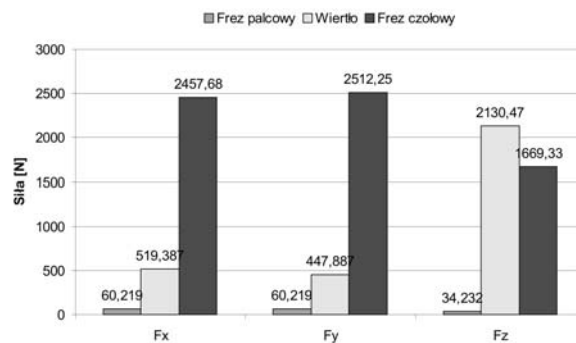
Fig. 7. A part machined using the CoroMill 210 R210-025A20-09M tool

Tab. 3. Maksymalne wartości sił zarejestrowane w procesie obróbki zgrubnej detalu
Tab. 3. Maximum force values recorded in the process of roughing a part

Narzędzie / Tool	Siła / Force [N]		
	Fx	Fy	Fz
Frez palcowy walcowo-czołowy End milling cutter	60,219	60,219	34,232
Wiertło / Drill	519,387	447,887	2130,465
Frez czołowy / Face cutter	2457,678	2512,251	1669,334

Analizując wyniki badań zaprezentowane w tabeli 3 należy zauważyć, że maksymalne wartości sił zmierzone podczas procesu obróbki kieszeni frezem palcowym znacznie różniły się od sił zmierzonych podczas frezowania wglębnego. Wartości sił zmierzonych dla frezu palcowego kształtowały się na poziomie około 2,5% wartości dla osi X i Y i około 2% dla osi Z, w porównaniu z siłami zmierzonymi podczas obróbki frezem czołowym. Dość zaskakująco wychodzi porównanie rozkładu sił powstałych w strefie skrawania w przypadku wiercenia i frezowania czołowego. Podczas wiercenia siła maksymalna zmierzona została wzdłuż osi Z. Siły Fx i Fy stanowiły około 21% wartości siły Fz. Pomimo, że posuw roboczy dla frezu czołowego ma identyczny kierunek, jak podczas wiercenia, to proporcje sił podczas frezowania wyglądały już zupełnie inaczej. Siły zmierzone w kierunku osi X i Y były większe

When analysing the study results presented in Table 3, it should be noted that the maximum force values measured during pocket milling with an end mill differed significantly from the forces measured during plunge milling. The values of the forces measured for the end mill were running at about 2.5% of the values for the X and Y axes and about 2% for the Z axis, compared to forces measured during face milling. Quite striking is the comparison of the distribution of forces generated in the cutting zone in the case of drilling and face milling. During drilling, the maximum force was measured along the Z axis. Forces Fx and Fy constituted about 21% of the value of the force Fz. Despite the fact that the direction of the working feed for the face mill was identical to that for drilling, the force ratios during milling were completely different. The forces measured in the direction of the X and Y axes were larger by



Rys. 8. Porównanie maksymalnych wartości sił generowanych w strefie skrawania podczas prowadzenia procesu technologicznego obróbki detalu

Fig. 8. A comparison of the maximum values of forces generated in the cutting zone in the course of running the technological process of machining a part

o około 65% niż siła F_z . Taka różnica w rozkładzie wartości sił dla porównywanych narzędzi ma bezpośredni związek z inną charakterystyką geometrii ostrza.

Pierwszy etap badań prowadzony przy użyciu frezu palcowego charakteryzował się stałym przekrojem warstwy skrawanej oraz stałą szerokością skrawania (a_c). Rzeczywisty przebieg procesu obróbki charakteryzuje się zupełnie odmiennymi właściwościami. Charakterystyczne dla niego są:

1. zmienność przekroju warstwy skrawanej w miejscach zagłębiania się narzędzia na zadaną głębokość i szerokość skrawania oraz zmienną geometrią obrabianego detalu,
2. zmienność szerokości skrawania, która w początkowej fazie obróbki równa jest średnicy używanego narzędzia i zmniejsza się do wartości ustalonej przez technologa (w przypadku obróbki kieszeni założona wartość a_p równa się połowie średnicy narzędzia, czyli 12,5 mm),
3. zmienna wartość posuwu podczas zagłębiania się narzędzia na zadaną głębokość skrawania oraz w przypadku obróbki miejsc o nagle załamującej się geometrii (np. narożniki).

Biorąc pod uwagę te cechy charakterystyczne dla prowadzenia rzeczywistej obróbki detalu należało spodziewać się znacznego wzrostu sił generowanych w strefie skrawania, w porównaniu do sił mierzonych podczas obróbki ze stałym posuwem i stałym przekrojem warstwy skrawanej. Jednakże wyniki badań pokazują, że maksymalne wartości zmierzonych sił kształtują się na poziomie sił zmierzonych podczas prowadzenia pierwszego etapu badań. Jest to oczywiście zjawisko bardzo korzystne i świadczy o bardzo dobrych właściwościach użytkowych frezu CoroMill Plura.

4. Wnioski

Zastosowanie procesów obróbki wysokowydajnej w świecie dzisiejszej technologii jest już zjawiskiem powszechnym. Producenci narzędzi skrawających mają w swojej ofercie bogatą gamę narzędzi, umożliwiających prowadzenie procesu skrawania z dużymi prędkościami skrawania i posuwu. O ile zastosowanie ich w zabiegach obróbki kształtującej daje wymierne efekty w stylu wysokiej jakości obrabianej powierzchni oraz dużej dokładności wymiarowo-kształtowej, o tyle zastosowanie ich w zabiegach obróbki zgrubnej jest oczywiście bardzo pożądane, ale mało wymierne.

Ostatnio jednym z ważniejszych kryteriów decydujących o skuteczności prowadzenia procesu technologicznego jest czas maszynowy obróbki. Biorąc pod uwagę takie kryterium przebieg procesu obróbki zgrubnej zaczyna mieć tutaj istotne znaczenie. Opierając się na takim kryterium najlepszym narzędziem będzie takie, które może pracować z jak największą szybkością skrawania i prędkością posuwu. Jedynym warunkiem zastosowania takiego narzędzia wydaje się być właściwa obrabiarka, która zapewni uzyskanie założonych parametrów skrawania. Niestety producenci w zasadzie nie podają, jakie wartości sił skrawania generowane są podczas zabiegu obróbkowego, a co jest z tym związane, czy obrabiarka będzie posiadała odpowiedni zapas mocy i dostateczną sztywność.

Jeżeli jedynym kryterium doboru narzędzia byłby czas obróbki to biorąc pod uwagę wyniki prowadzonych badań niewątpliwie należałoby zastosować frez czołowy. Czas maszynowy obróbki był o 38% krótszy od czasu obróbki frezem walcowo-

about 65% than the force F_z . Such a difference in the distribution of force values for the tools under comparison is directly related to the different characteristics of their cutter geometry.

The first stage of the study conducted with the use of an end mill was characterised by a fixed cut form and a fixed width of cut (a_c). The actual course of the machining process is characterised by completely different properties, which include:

1. variable cut form at sites where the tool is fed to a given depth and width of cut and variable geometry of the machined part,
2. variability of width of cut, which in the initial phase of machining equals the diameter of the tool used and then decreases to the value specified by the technologist (in pocket machining the assumed a_p equalled half the diameter of the tool, namely 12.5 mm),
3. variable feed rate in the course of feeding the tool to a given depth of cut and in machining sites with abruptly changing geometry (e.g., corners).

Taking into account these features, which are characteristic of running an actual process of machining a part, a significant increase should be expected in the forces generated in the cutting area compared to the forces measured during machining at a constant feed rate and a fixed cut form. However, the results of the study show that the maximum values of the measured forces are within the order of magnitudes of the forces measured in the first stage of the study. This is obviously a very advantageous phenomenon which testifies to the very good usage properties of the CoroMill Plura cutter.

4. Conclusions

High speed machining processes are commonly applied in the world of today's technology. Cutting tool manufacturers offer a wide range of tools enabling running the cutting process at high cutting and feed rates. While their use in profiling operations produces notable effects in the form of the high quality of the machined surface and a high size-and-shape accuracy, their use in roughing operations, though obviously highly desirable, is not easily observable.

Recently, one of the more important criteria determining the effectiveness of running a technological process has been machining time. When this criterion is taken into account, the course of the roughing process gains substantial significance. On this criterion, the best tool is one that can work at the highest possible cutting speed and feed rate. The sole condition for the use of such a tool is the selection of an appropriate machine tool which will ensure the achieving of the assumed cutting parameters. Unfortunately, manufacturers generally do not specify what values of cutting forces are generated during a machining operation, by the same token failing to state whether the machine tool is going to have an appropriate power margin and a sufficient stiffness.

If machining time were the only criterion for tool selection, then, considering the results of the conducted study, a face cutter should be used. Its machining time was 38% shorter than the machining time for end milling. Reduction of machining time obviously has a measurable economic effect. A shorter machi-

czołowym. Skrócenie czasu maszynowego ma oczywiście wymierny efekt ekonomiczny. Krótszy czas obróbki gwarantuje również obróbkę większej partii detali przy stałym okresie trwałości ostrza.

Jeżeli jednak technolog zwracałby uwagę również na proces eksploatacji obrabiarki wybór nie byłby już taki oczywisty. Zakładając inne kryterium doboru narzędzia do obróbki zgrubnej, a mianowicie wielkość sił generowanych w strefie skrawania, dobrym wyborem byłby oczywiście wybór frezu walcowo-czołowego. Zmniejszenie sił powoduje mniejsze drgania w strefie skrawania. Proces obróbki jest bardziej stabilny. Ma to wymierny efekt w postaci przede wszystkim wydłużenia czasu eksploatacji obrabiarki.

Wyniki przedstawionych badań nie rozstrzygają jednoznacznie, które z badanych narzędzi należałoby zastosować projektując technologię obróbki. O wyborze zdecydować będzie technolog wybierając pomiędzy ekonomią prowadzonego procesu, a właściwościami eksploatacyjnymi stosowanych narzędzi.

5. References

- [1] Budzyński A., Bachan M., Bieniaszewski W.: *UGS NX CAM Express. Optymalne rozwiązanie CAM dla przedsiębiorstw średniej wielkości*. www.knse.pl/publikacje/67.pdf
- [2] Cichosz P.: *Obróbka skrawaniem. Wysoka produktywność*, Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, Wrocław 2007.
- [3] „CoroGuide” Sandvik Coromant 2007.
- [4] Edgecam – wydajny i szybki system CAM dla narzędziowni, <http://www.nicom.pl/artykuly.php>
- [5] Hoon Ko J., Altintas Y.: *Time domain model of plunge milling operations*, International Journal of Machine Tools & Manufacture 47/2007, 1351-1361.
- [6] Li Y., Liang S.Y., Petrof R.C., Seth B.B.: *Force modelling for cylindrical plunge cutting*, International Journal of Advanced Manufacturing Technology, vol. 12, number 16/2000, 863-870.
- [7] Mastercam – Mill Poziom, <http://www.mastercam.pl/?mod=2&id=7>
- [8] Mazurkiewicz D.: *Wpływ wybranych parametrów konstrukcyjnych układów wielostrzowych na efektywność skrawania materiałów skalnych*, Eksploatacja i Niezawodność - Maintenance and Reliability, 4/2001, 31-37.
- [9] McPhail, E.M.: *Inserts For Plunge Milling*, Modern Machine Shop, June 1, 2000.
- [10] Morek R.: *Wdrażanie HSM*, Design News, Nr 4, 2006.
- [11] Michalski R., Janulin M.: *Dobór parametrów eksploatacyjnych pojazdu z napędem elektrycznym*, Eksploatacja i Niezawodność - Maintenance and Reliability nr 4/2008, 69-73.
- [12] Morek R.: *Wpływ wysokowydajnych obróbek na przebieg procesu technologicznego*, Design News, Nr 11, 2005.
- [13] Raun T.: *Use Plunging to Increase Metal Removal Rates*, Moldmaking Technology Magazine, 11/2007.
- [14] Stanisławski M.: *Oprogramowanie CAD, CAM, CAE dla inżynierów projektantów branży mechanicznej*. [http://www.konstrukcjeinzynierskie.pl/archiwum_pdf/PiKI_7-8\(10-11\)_raport_website_HQ.pdf](http://www.konstrukcjeinzynierskie.pl/archiwum_pdf/PiKI_7-8(10-11)_raport_website_HQ.pdf)
- [15] Tilton S.: *Plunge Milling Saves Time on Big Mold Cavities*, Moldmaking Technology Magazine, 05/2005.
- [16] Paynich, V., Simandl, A.: *Plunge milling add-on*, CADalyst, August 1, 2002.
- [17] United States Patent 3811163 - Plunge milling tool
- [18] United States Patent 6929435 - Contour plunge milling
- [19] Wakaoka S., Yamane Y., Sekiya K., Narutaki N.: *High-speed and high-accuracy plunge cutting for vertical walls*, Journal of Materials Processing Technology 127/2002, 246-250.
- [20] Żółtowski B.: *Podstawy diagnostyki maszyn*. Bydgoszcz 1996.

ning time also guarantees machining of a larger batch of parts over the same period of durability of the cutter.

If, however, a technologist also paid attention to the process of maintenance of the machine tool, then the choice would no longer be so obvious. Assuming another criterion for the selection of a roughing tool, namely the magnitude of the forces generated in the cutting zone, a good choice would obviously be the selection of an end-mill. Reduction of the forces leads to reduced vibration in the cutting zone. The machining process is more stable. This has an observable effect primarily in the form of extending machine tool life.

The results of the presented studies do not give an unequivocal answer to the question of which of the studied tools should be used in planning a machining process. The choice is the technologist's who has to choose between the economy of the process being run and the operational properties of the tools used.

Dr inż. Leszek SEMOTIUK

Politechnika Lubelska

Wydział Mechaniczny

Katedra Podstaw Inżynierii Produkcji

ul. Nadbystrzycka 36, 20-618 Lublin, Polska

tel. +48 081 5384240,

email: l.semotruk@pollub.pl
