

Wojciech LABUDA, Adam CHARCHALIS
 Gdynia Maritime University (Uniwersytet Morski w Gdyni)

INFLUENCE OF REDUCED CUTTING SPEED VALUES ON OPERATOR SAFETY AND CUTTING TOOL LIFE IN THE PROCESSES OF MANUFACTURING AND REGENERATION OF MARINE MACHINERY PARTS

Wpływ obniżonych wartości prędkości skrawania na bezpieczeństwo pracy operatora i trwałość narzędzi w procesach wytwarzania i regeneracji części maszyn okrętowych

Abstract: The research used shafts made of X5CrNi18-10 (AISI 304L) stainless steel, which is used, among others in the shipbuilding industry. The turning process was carried out on the CU500MRD universal lathe with the use of cutting inserts with a corner radius of 0.2; 0.4 and 0.8 mm. The measurement of the forces during machining was recorded using a Kistler dynamometer. Surface roughness measurements were made with a Waveline W20 profilometer. The research results are the basis for determining the safe range of application of stainless steel cutting parameters on conventional lathes, with the simultaneous analysis of the quality of the machined surface.

Keywords: stainless steel, finishing turning, cutting forces, surface roughness parameters

Streszczenie: W badaniach wykorzystano wały wykonane ze stali nierdzewnej X5CrNi18-10 (AISI 304L), która znajduje zastosowanie między innymi w przemyśle okrętowym. Proces toczenia zrealizowano na tokarce uniwersalnej CU500MRD z wykorzystaniem płytek skrawających o promieniu naroża 0,2; 0,4 oraz 0,8 mm. Pomiar sił podczas obróbki skrawaniem rejestrowano z wykorzystaniem siłomierza firmy Kistler. Pomiar chropowatości powierzchni wykonano profilometrem Waveline W20. Wyniki badań są podstawą do wyznaczenia bezpiecznego zakresu stosowania parametrów skrawania stali nierdzewnej na tokarkach konwencjonalnych, przy jednoczesnej analizie jakości powierzchni obrobionej.

Słowa kluczowe: stal nierdzewna, toczenie wykończeniowe, siły skrawania, parametry chropowatości powierzchni

1. Introduction

Machining is still an important and relevant issue in scientific and industrial research. Giving the final shape and quality to the machined surface is achieved by applying appropriate finishing treatments such as turning, grinding, polishing, burnishing and others. The use of an appropriate machining process allows for the achievement of high accuracy components (class 3-5) and low roughness parameters $Ra = 0.16 \div 0.01 \mu\text{m}$ [20]. The influence on the final size, surface quality and the properties of the surface layer of the manufactured element, which are carried out on machine tools for machining, are considered as a function of the characteristics of all elements of the machine tool, holder, workpiece and tool. These are: accuracy of execution and the accuracy of determining static and dynamic cutting parameters, which are related to the strength, temperature and wear of the insert [2, 3, 7, 9, 14]. Shaping machine parts by removing excess material should be fully controlled. Therefore, it is important to properly select the parameters of the machining process for a given tool, which will allow to obtain a low cutting force, reduced tool wear, correct chip breaking, and above all, the expected geometric structure of the surface. The CNC machines used in production are not dedicated to the unit production of machine parts or in the processes of their regeneration, which is often the case in the shipbuilding industry. The use of modern cutting tools on conventional machine tools may pose a threat to the safe work of the operator and the course of this process in a fully controlled manner. Manufacturers of cutting tools provide the optimal values of cutting parameters along with the ranges of their application. In order to obtain the appropriate quality of the treated surface, it is necessary to select strictly defined values of these parameters [11].

Many research centers deal with issues related to machining difficult-to-cut materials [12, 15, 18, 19, 20]. Many researchers in their research work have dealt with simulations of the cutting process using various software tools. In order to guarantee the appropriate accuracy of these analyzes, it is necessary to ensure the exact properties of the workpiece material and the entire cutting process in the form of constant factors. Performing experimental research allows for a better understanding of the complex cutting process, and thus for determining its individual components for its course. Variable cutting conditions have a significant impact on the machining process as well as on the functional properties of the detail [5, 6, 8, 10, 13, 16, 17].

The article presents the effect of variable cutting conditions on the distribution of forces during turning and on selected parameters of surface roughness and material proportion. The determination of cutting forces during turning processes enables the assessment of the machinability of the material. The size of the cutting forces is related to the amount of heat in the cutting area, tool wear, surface quality and the accuracy of the workpiece [1].

The basic technological problems in the process of machining stainless steel are: the formation of a malleable chip and its removal from the cutting zone, chip sticking to the cutting tool and jamming between the cutting edge and the workpiece, shaping surface unevenness, wear of the cutting tool, temperature and cutting force. The quality of the

machined shaft surface can be unsatisfactory since the surface of the machined shaft is damaged by entangled ductile chips that cannot be fully controlled. Due to the large configuration possibilities of the tool, machining conditions during the turning process and other external factors disturbing the machining, it is important to experimentally measure the forces during cutting in order to determine the most favorable conditions.

2. The research methodology

The analysis of the chemical composition of the steel used in the tests was carried out with the use of the Solaris-cdd plus spectrometer (fig. 1 a). It is an optical emission spectrometer with spark excitation.

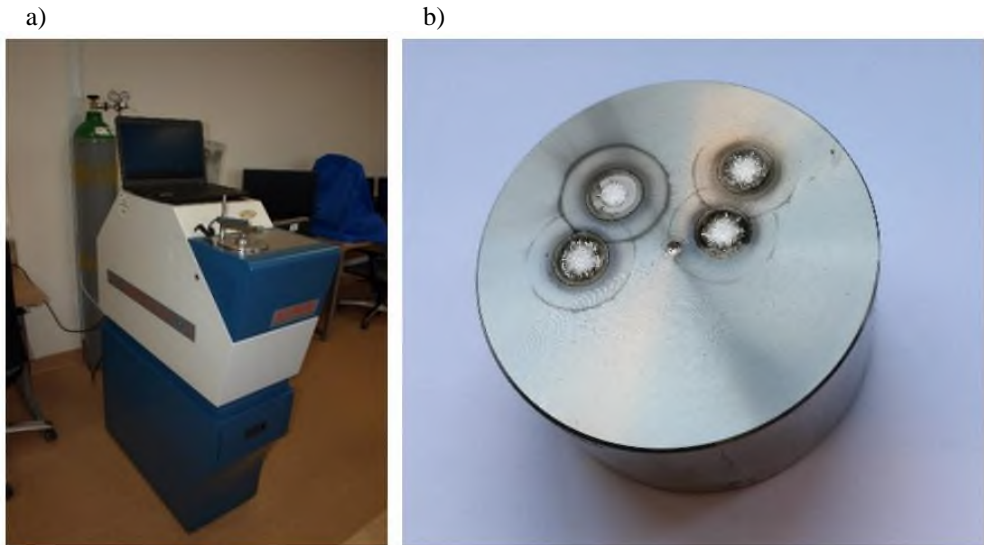


Fig. 1. Optical spectrometer Solaris – cdd plus (a), the sample used in research (b)

X5CrNi18-10 (AISI 304L) steel, which was used in the research work, is used, among others, in the shipbuilding industry. Machining of stainless steels, especially austenitic steels, causes many difficulties. The machinability of this steel grade is negatively affected by a high tendency to deformation strengthening, low thermal conductivity and good ductility. Sulfur is an alloying element improving the machinability of stainless steels. Sulfur in combination with manganese forms manganese sulphide MnS, the positive effect of which on the machinability is confirmed by the type of chips (short and brittle), better surface quality of the workpieces and lower tool wear.

Shafts with a diameter of 50 mm (fig. 2) were machined on the CU500MRD universal center lathe (fig. 3).

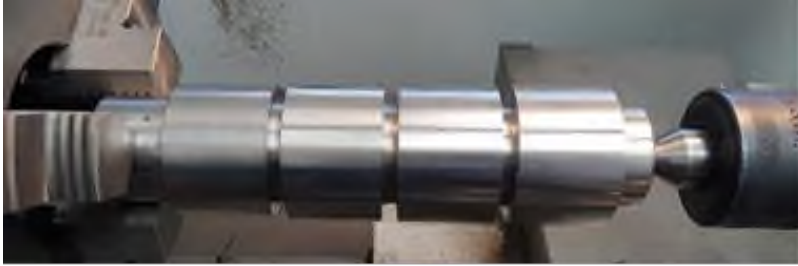


Fig. 2. The shaft used in research



Fig. 3. The lathing machine used in research

Standard and Wiper cutting inserts by Sandvik were used in the finishing turning process. Wiper inserts are characterized by a modified corner radius, which enables smoothing the tops of surface irregularities, and thus obtaining a better quality of the machined surface or machining with twice the feed value. The designation of the inserts together with the cutting parameters are presented in tab. 1. In order to carry out the tests, standard MF inserts and WF superfinishing inserts with a corner radius of 0.2 were used; 0.4 and 0.8 mm. Based on Table 1, the parameters typical for finishing were selected, taking into account the variable value of the cutting speed. Therefore, the shaft turning process was carried out with a constant value of the cutting depth of 0.4 mm and the feed rate of 0.083 mm/rev. The change in the cutting speed was for V_c equal to 200 m/min and 150 m/min. The turning process was carried out without the use of cooling liquid.

Table 1

Designation and cutting parameters for inserts used in the research

Insert designation	a_p [mm]	f [mm/rev]	V_c [m/min]
CCMT09T302 MF 1125	0.35 (0.08 ÷ 2.00)	0.08 (0.04 ÷ 0.15)	220 (225 – 205)
CCMT09T304 MF 1125	0.35 (0.11 ÷ 2.00)	0.11 (0.06 ÷ 0.23)	220 (225 - 165)
CCMT 09T308 MF 1125	0.35 (0.15 ÷ 2.00)	0.15 (0.08 ÷ 0.30)	205 (225 - 135)
CCMT 09T302 WF 1125	0.30 (0.10 ÷ 1.50)	0.10 (0.03 ÷ 0.15)	220 (225 - 205)
CCMT 09T304 WF 1125	1.00 (0.30 ÷ 3.00)	0.20 (0.07 ÷ 0.30)	180 (225 - 135)
CCMT 09T308 WF 1125	1.00 (0.30 ÷ 3.00)	0.25 (0.12 ÷ 0.50)	155 (215 – 85)

The forces during turning process were measured with the use by Kistler equipment. The force gauge measures the active force, regardless of its point of application. It includes: piezoelectric dynamometer 9119AA2, 5070 amplifier and computer with DynoWare type 2825D-02 software, version 2.6.5.1.6 (Kistler Group, Winterthur, Switzerland). The dynamometer enables simultaneous measurement of three components of the resultant cutting force: F_x - radial force, F_y - feed force and F_z - cutting force, in the range from -4 kN to 4 kN. The view of the tool , dynamometer grip and cutting tool with an removable insert is shown in fig. 4.

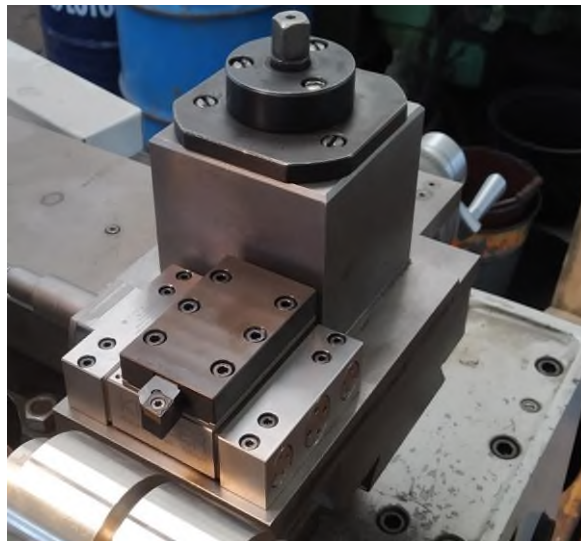


Fig. 4. View of the dynamometer used in the research

Measurements of selected parameters of surface roughness and material ratio were carried out on the Waveline W20 profilometer by Jenoptik (Hommel-Etamic) (fig. 5). The measuring speed was 0.5 mm/s, the measuring section value was 4.8 mm, and the sampling section was 0.8 mm.



Fig. 5. Profilometer Waveline W20

3. The research results

Research work and cooperation with the industry confirm cases of differences in the chemical composition of the materials supplied in different deliveries. Small percentage changes of some elements (e.g. titanium or sulfur) can significantly affect the change of cutting conditions, and thus the durability and wear of cutting tools. The conducted tests of the analysis of the chemical composition of steel did not show any significant differences in relation to the certificate provided by the steel manufacturer (tab. 2).

Table 2

The results of the chemical composition of tested steel [%][4]

	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	Ni	Nb
mean	0.021	0.433	1.414	0.021	0.028	16.246	0.490	7.735	0.007
max	0.026	0.439	1.438	0.022	0.028	18.006	0.491	7.809	0.008
min	0.019	0.429	1.392	0.020	0.027	11.126	0.488	7.665	0.006
	Al	Cu	Co	B	Ti	V	W	Fe	
mean	0.004	0.496	0.125	0.002	0.027	0.060	0.024	71.119	
max	0.004	0.501	0.126	0.002	0.029	0.066	0.025	71.177	
min	0.003	0.487	0.122	0.002	0.025	0.056	0.023	71.035	

In order to determine the influence of variable cutting speed for the finishing turning of shafts, the basic parameters of surface roughness were used Ra (arithmetic mean deviation), Rt (total height of profile) and material ratio: Rk (core roughness depth), Rpv (reduced valley depth), Rpk (reduced peak height) The mean values of the analyzed parameters are presented in tab. 3. A graphic summary of the obtained results is presented in fig. 6 ($V_c = 200$ m/min) and fig. 7 ($V_c = 150$ m/min).

Table 3

Average values of selected parameters of surface roughness and material ratio

Insert	CCMT09T302 MF		CCMT09T304 MF		CCMT09T308 MF	
Vc [m/min]	200	150	200	150	200	150
Ra	1.69	1.54	0.77	1.30	1.16	1.15
Rt	12.15	9.93	4.86	9.51	9.35	9.70
Rk	5.55	4.92	3.59	4.65	3.83	3.87
Rpk	2.15	2.11	0.67	1.65	1.79	1.82
Rvk	1.61	1.32	0.65	1.11	1.04	1.29
Płytką	CCMT09T302 WF		CCMT09T304 WF		CCMT09T308 WF	
Vc [m/min]	200	150	200	150	200	150
Ra	1.46	1.23	0.78	0.89	1.60	1.40
Rt	11.37	9.23	6.49	10.07	18.02	12.75
Rk	4.12	3.06	2.27	2.43	3.66	4.59
Rpk	3.36	3.17	1.65	2.75	6.23	4.42
Rvk	1.45	0.99	0.66	1.05	2.60	1.85

The most favorable results for the analyzed shaft were obtained for the CCMT09T304 MF insert turning process for a cutting speed of 200 m/min. The Ra parameter reached the value of 0.77 μm . The value of the same level ($R_a = 0.78 \mu\text{m}$) was obtained for the turning process of the CCMT09T304 WF insert with a cutting speed of 200 m/min. The results of measurements of the material ratio parameters showed that the smoothing of the tops of the surface roughness ($R_{pk} = 0.67 \mu\text{m}$) occurred after the standard plate turning process. For the machining process with inserts with a corner radius of 0.2 mm (for $V_c = 150$ and 200 m / min) and a corner radius of 0.4 mm for $V_c = 150$ m / min, lower values of the Ra parameter were obtained for the Wiper insert.

However, during the passage of the cutting tool, there was no superfinishing of the peaks of the surface roughness. For the turning process with an insert with a corner radius of 0.8 mm, lower values of Ra, Rt and Rpk parameters were obtained for the standard insert. Due to the modified shape of the insert corner radius together with the wiper edge of the Wiper inserts, they do not fulfill their role in the lower ranges of work. Conventional lathe

operator should try to use optimal cutting parameters in the Wiper turning process not only for V_c , but also for depth of cut and feed. The lack of the use of coolant influences the cutting conditions and the obtained measurement results.

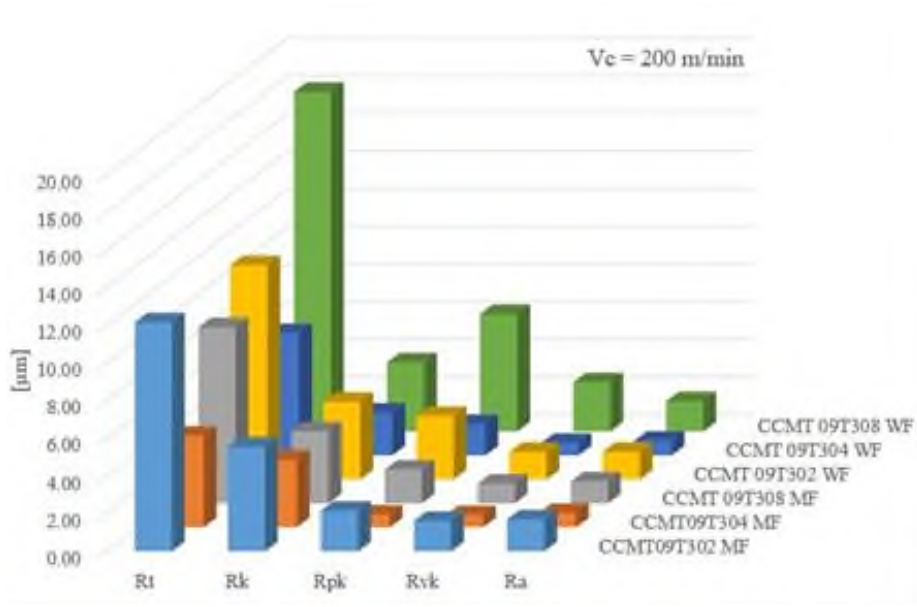


Fig. 6. Surface roughness parameters and material ratio for machined shafts with $V_c = 200$ m/min

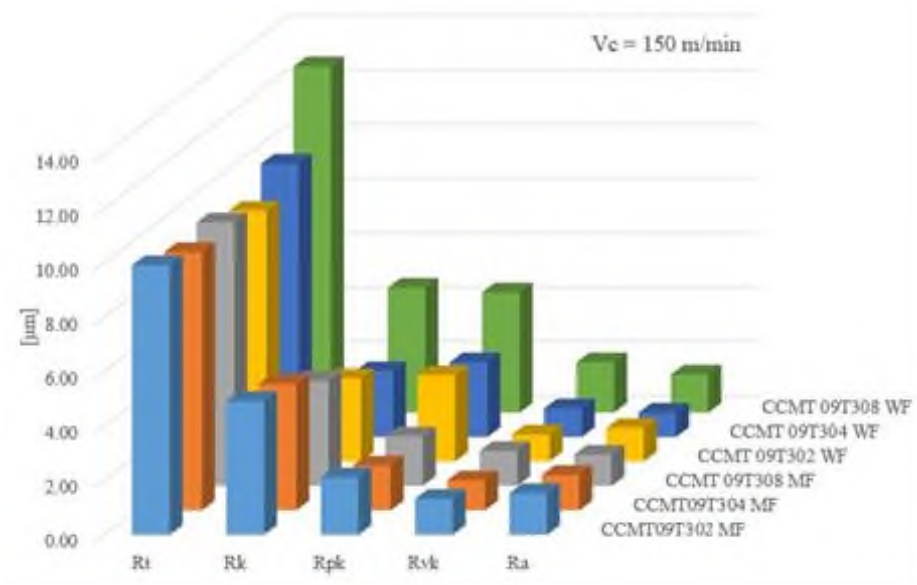


Fig. 7. Surface roughness parameters and material ratio for machined shafts with $V_c = 150$ m/min

The use of incorrectly selected technological cutting parameters may cause an uncontrolled process of ductile chip formation, which was observed in particular for the CCMT09T308 WF insert turning process. The occurring phenomenon negatively affects the quality of the machined surface and the durability of the cutting tool. The resulting chip can get stuck between the surface of the workpiece and the tip of the cutting insert, and thus can damage it and reduce the quality of the machined surface of the shaft journal. Figure 8 shows an example of a snarled chip for turning with a Wiper insert with a corner radius of 0.8 mm.



Fig. 8. Snarled chips formation

The results of measuring the forces during the cutting process are shown in tab. 4.

Table 4

Average values from the measurement of forces for the finishing turning process

Insert symbol	Vc = 200 m/min			Vc = 150 m/min		
	Fz [N]	Fy [N]	Fx [N]	Fz [N]	Fy [N]	Fx [N]
CCMT09T302 MF	122.2	77.2	-51.0	121.5	77.0	-50.5
CCMT09T304 MF	136.4	103.8	-78.0	143.8	111.4	-77.7
CCMT09T308 MF	113.4	55.1	-89.9	115.8	55.4	-86.4
CCMT09T302 WF	114.2	63.6	-52.8	117.5	66.9	-53.1
CCMT09T304 WF	104.7	50.9	-51.1	109.7	53.1	-52.2
CCMT09T308 WF	112.4	49.2	-80.6	117.1	48.5	-85.8

For the cutting parameters used for finishing, the value of the force Fz does not show significant differences for the entire scope of the tests. Higher average values for the resultant component of the cutting force and feed force were recorded for the CCMT09T304 MF cutting insert, both for the speed of 200 and 150 m/min. However, the lowest values of the force Fz, Fy, and Fx were obtained for the turning process of a Wiper insert with a corner radius of 0.4, which proves the most favorable cutting conditions. The process of

turning with the insert during the rapid initial wear showed that as the corner radius of the cutting insert increases, the resistance force increases for both the standard and the superfinishing insert. Examples of views of the measurement of forces during the turning process are shown in figs. 9 and 10. The different course of the cutting process is also evidenced by the obtained minimum and maximum values of the recorded forces. The process of machining a shaft with smaller the dispersion of force values indicates more favorable cutting conditions.

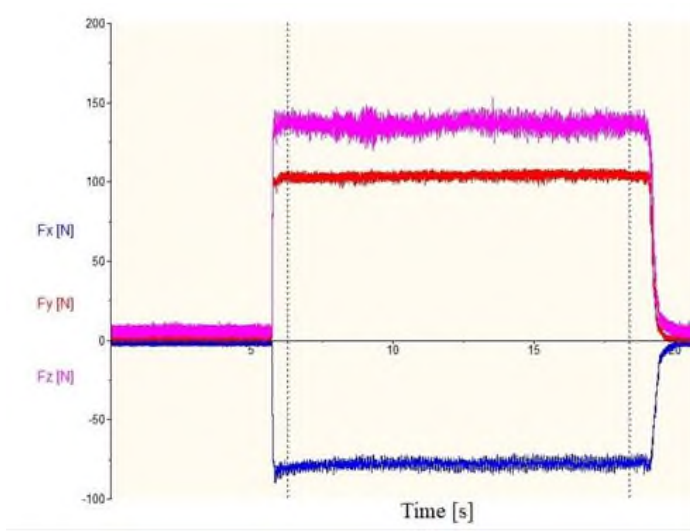


Fig. 9. Forces during turning process with CCMT 09T304 MF insert for $V_c = 200$ m/min

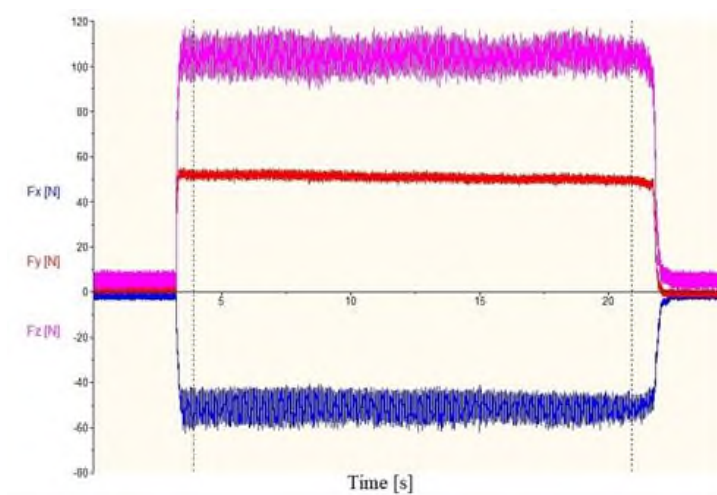


Fig. 10. Forces during turning process with CCMT 09T304 WF insert for $V_c = 150$ m/min

4. Conclusion

The quality of the geometric structure of the workpiece surface subjected to the machining process is influenced by many factors. These can include variable cutting parameters, constant factors such as: the type of machine tool, the number of passes of the cutting tool, the type of cooling liquid, the use of dry machining or the type of material of the cutting insert and the workpiece. Other factors that disrupt the correct turning process are system vibrations, insert wear or material heterogeneity. On conventional machines, the machine operator plays an important role, who must ensure work safety and the appropriate quality of the processed surface. In sea conditions, the possibilities of equipping the engine room workshop with a large number of cutting tools are limited. Therefore, the correct configuration of the machine tool is important when performing unit production works or during the regeneration of machine parts. Modern cutting inserts are dedicated to production at high cutting speeds, which may not be possible to perform the process on conventional lathes. Limitations may result from machine setting capabilities and operator skills.

The presented research results are a continuation of the analysis of variable cutting conditions for difficult-to-cut materials on conventional lathes. The article presents the results of research on the finishing turning process for a constant value of the depth of cut and feed, heels at a variable value of the cutting speed. No cooling liquid was used during machining, which had an impact on the cutting process and the obtained surface quality. The obtained measurement results allowed to determine the most favorable cutting conditions for a given turning configuration in terms of surface roughness parameters and force distribution. A relatively small correction of the cutting speed for different corner radius caused 2 or 3-fold changes in the obtained results for individual parameters. The best results were obtained for tiles with a corner radius of 0.4 mm.

5. References

1. Agustina B., Bernal C., Camacho A.M., Rubio E.M., Experimental analysis of the cutting forces obtained in dry turning processes of UNS A97075 aluminium alloys, The Manufacturing Engineering Society International Conference, Procedia Engineering 63, 2013, pp.694-699, MESIC 2013.
2. Balsamo V., Caggiano A., Jemielniak K., Kossakowska J., Nejman M., Teti R.: Multi sensor signal processing for catastrophic tool failure detection in turning. Research and Innovation in Manufacturing: Key enabling technologies for the factories of the future - Proceedings of the 48th CIRP Conference On Manufacturing Systems, Vol. 41, pp. 939-944, 2016.
3. Bhuiyan M.S.H., Choudhury I.A., Dahari M.: Monitoring the tool wear, surface roughness and chip formation occurrences using multiple sensors in turning, Journal of Manufacturing Systems, Vol. 33 (4, pp. 476-487), 2014.

4. Dudzik K., Labuda W.: The Possibility of Applying Acoustic Emission and Dynamometric Methods for Monitoring the Turning Process. *Materials* 2020.
5. Labuda W.: The influence of cutting parameters on surface topography during turning marine pump shafts. *Journal of KONES Powertrain and Transport*, Vol. 26, No. 4, pp. 141 – 148, 2019.
6. Labuda W.: The influence of cutting parameters on surface roughness parameter of stainless steel after finishing turning of CCET09T302R-MF insert .METAL 2017: 26th Anniversary International Conference on Metallurgy and Materials. pp. 1349 – 1354 Ostrava: TANGER, 2017
7. Labuda W.: The influence of treatments conditions on cutting forces and temperature during finish turning of stainless steel by CCET09T302R-MF insert. 27th Anniversary International Conference on Metallurgy and Materials., pp. 1163 – 1168, Ostrava: TANGER, Proceedings Paper, 2018.
8. Labuda W.: The possibility of monitoring forces during turning process of shafts made of AW-7020 aluminium alloy for variable treatment conditions. Volume 15, Art. #32, pp. 311-319, WSEAS Transactions on Systems and Control 2020.
9. Lalwani D.I., Mehta N.K., Jain P.K., Experimental investigations of cutting parameters influence on cutting forces and surface roughness in finish hard turning of MDN250 steel. *Journal of Materials Processing Technology*, Volume 206, Issues 1–3, pp. 167-179, 2008.
10. Mali R.A., Agrahari M.D., Gupta T.V.K.: FE Based Simulation and Experimental Validation of Forces in Dry Turning of Aluminium 7075. *Materials Today: Proceedings*, In Press, Corrected Proof, 2019.
11. Matras A., Zębala W.: Optimization of Cutting Data and Tool Inclination Angles During Hard Milling with CBN Tools. Based on Force Predictions and Surface Roughness Measurements. *Materials* 2020.
12. Nataraj M., Balasubramanian K., Palanisamy D.: Influence of Process Parameters on CNC Turning of Aluminium Hybrid Metal Matrix Composites. *Materials Today: Proceedings*, Volume 5, Issue 6, Part 2, pp.14499-14506, 2018.
13. Pan H., Liua J., Choib Y., Xuc C., Baia Y., Atkins T.: Zones of Material Separation in Simulations of Cutting. *International Journal of Mechanical Sciences*, Vol. 115–116, pp. 262-279, 2016.
14. Rao D.K., Srinivas K.: An analysis of feature identification for tool wear monitoring by using acoustic emission. *TRAITEMENT DU SIGNAL*, Vol. 34 (3-4, pp. 117-135), 2017.
15. Schmidt P.L., Nelson J.K., Handy R.G., Morrell J.S., Jackson M.J., Rees T.M.: Noncontact measurements of acoustic emissions from the single-point turning process. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, Vol. 93/9-12, pp. 3907-3920, 2017.
16. Saravanan K.K., Mahendran S.: Aluminium 6082-Boron Carbide Composite Materials Preparation and Investigate Mechanical-Electrical Properties with CNC Turning. *Materials Today: Proceedings*, Volume 21, Part 1, pp. 93-97, 2020.

17. Teimouri R., Amini S., Mohagheghian N.: Experimental Study and Empirical Analysis on Effect of Ultrasonic Vibration During Rotary Turning of Aluminum 7075 Aerospace Alloy. *Journal of Manufacturing Processes*, Vol. 26, pp. 1–12, 2017.
18. Teti R., Jemielniak K., O'Donnell G., Dornfeld D.: Advanced monitoring of machining operations. *CIRP Annals-Manufacturing Technology*, Vol. 59 (2), pp. 717-739, 2010.
19. Yaman K., Basaltin M., Investigations on the cutting parameters and the tool wear of SAE 1030 forged steel material by acoustic emission in turning operation. *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, Vol. 32 (4), pp. 1077-1088, 2017.
20. Zhou J.M., Andersson M., Ståhl J.E.: Identification of cutting errors in precision hard turning process. *Journal of Materials Processing Technology*, Vol. 153–154, pp. 746-750, 2004.

WPLYW OBNIŻONYCH WARTOŚCI PRĘDKOŚCI SKRAWANIA NA BEZPIECZEŃSTWO PRACY OPERATORA I TRWAŁOŚĆ NARZĘDZI W PROCESACH WYTWARZANIA I REGENERACJI CZĘŚCI MASZYN OKRĘTOWYCH

1. Wprowadzenie

Obróbka skrawaniem jest wciąż aktualnym i istotnym zagadnieniem podejmowanym w badaniach naukowych i przemysłowych. Nadawanie ostatecznego kształtu i jakości powierzchni obrabianej uzyskuje się przez zastosowanie odpowiedniej obróbki wykończeniowej, takiej jak toczenie, szlifowanie, polerowanie, nagniatanie i inne. Zastosowanie właściwego procesu obróbkowego pozwala na osiągnięcie elementów o wysokiej dokładności (3-5 klasa) i niskich wartościach parametru chropowatości $R_a = 0,16 \div 0,01 \mu\text{m}$ [20]. Wpływ na ostateczny wymiar, jakość powierzchni oraz właściwości warstwy wierzchniej wytwarzanego elementu, które realizowane są na obrabiarkach do obróbki skrawaniem, rozpatrywane są jako funkcja cech wszystkich elementów obrabiarki, uchwytu, przedmiotu i narzędzia. Są to: dokładność wykonania oraz dokładność wyznaczania statycznych i dynamicznych parametrów skrawania, które są związane z wytrzymałością, temperaturą i zużyciem ostrza [2, 3, 7, 9, 14]. Kształtowanie części maszyn przez usuwanie naddatku materiału powinno odbywać się w sposób w pełni kontrolowany. Dlatego istotny jest właściwy dobór parametrów procesu obróbki dla danego narzędzia, który pozwoli na uzyskanie małej siły skrawania, zmniejszonego zużycia narzędzia, prawidłowego łamania się wióra, a przede wszystkim oczekiwanej struktury geometrycznej powierzchni. Stosowane w produkcji maszyny CNC nie są dedykowane dla jednostkowego wytwarzania części maszyn lub w procesach ich regeneracji, co często ma miejsce w przemyśle okrętowym. Zastosowanie nowoczesnych narzędzi skrawających na obrabiarkach konwencjonalnych może stanowić zagrożenie dla bezpiecznej pracy operatora oraz przebiegu tego procesu w sposób w pełni kontrolowany. Producenci narzędzi skrawających podają wartości optymalne parametrów skrawania wraz z zakresami ich stosowania. W celu uzyskania odpowiedniej jakości powierzchni obrobionej konieczny jest dobór ściśle określonych wartości tych parametrów [11].

Wiele ośrodków naukowych zajmuje się zagadnieniami związanymi z obróbką skrawaniem materiałów trudnoobrabialnych [12, 15, 18, 19, 20]. Wielu badaczy w swoich pracach badawczych zajmowało się symulacjami procesu skrawania, wykorzystując zróżnicowane narzędzia programowe. W celu zagwarantowania odpowiedniej dokładności tych analiz, należy zapewnić dokładne właściwości materiału obrabianego i całego procesu skrawania w postaci stałych współczynników. Wykonanie badań eksperymentalnych

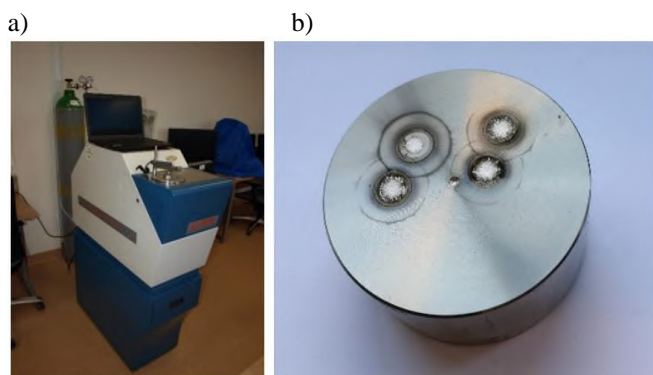
pozwała na lepsze poznanie złożonego procesu skrawania, a tym samym na określeniu poszczególnych składowych na jego przebieg. Zmienne warunki skrawania mają istotny wpływ na realizację procesu obróbki skrawaniem, jak również na właściwości użytkowe detalu [5, 6, 8, 10, 13, 16, 17].

W artykule przedstawiono wpływ zmiennych warunków skrawania na rozkład sił podczas toczenia oraz na wybrane parametry chropowatości powierzchni i udziału materiałowego. Wyznaczenie sił skrawania podczas procesów toczenia umożliwia ocenę skrawalności materiału. Wielkość sił skrawania jest związana z ilością ciepła w obszarze skrawania, zużyciem narzędzia, jakością powierzchni i dokładnością obrabianego przedmiotu [1].

Podstawowe problemy technologiczne występujące w procesie obróbki stali nierdzewnej to: powstanie wióra ciągliwego i usuwanie go ze strefy skrawania, przywieranie wióra do narzędzia skrawającego oraz zakleszczenie między krawędzią skrawającą a przedmiotem obrabianym, kształtowanie nierówności powierzchni, zużycie narzędzia skrawającego, temperatura i siła skrawania. Zapewnienie odpowiedniej jakości powierzchni obrabianego wału może być niezadawalające, ponieważ powierzchnia obrabianego wału jest niszczone przez splątany wiór ciągliwy, którego nie można w pełni kontrolować. Ze względu na duże możliwości konfiguracji narzędzia, warunki obróbki podczas procesu toczenia oraz inne czynniki zewnętrzne zakłócające obróbkę, istotne są eksperymentalne pomiary sił podczas skrawania w celu określenia najkorzystniejszych warunków.

2. Metodyka badań

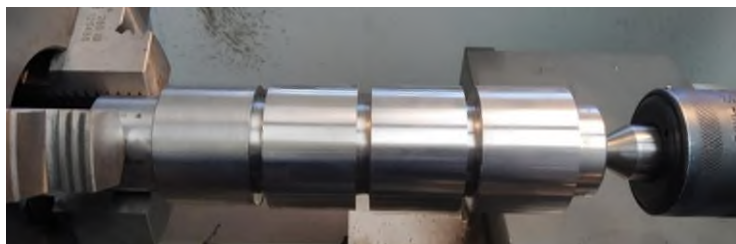
Analizę składu chemicznego stali użytej w badaniach przeprowadzono z wykorzystaniem spektrometru Solaris-cdd plus (rys. 1 a). Jest to optyczny spektrometr emisyjny ze wzbudzeniem iskrowym. Próbkę po przeprowadzonym badaniu przedstawiono na rys. 1 b [4].



Rys. 1. Spektrometr optyczny Solaris – cdd plus (a), próbka użyta w teście (b)

Stal X5CrNi18-10 (AISI 304L), którą wykorzystano w pracy badawczej, stosowana jest m.in. w przemyśle okrętowym. Obróbka stali nierdzewnych, zwłaszcza austenitycznych, powoduje wiele trudności. Na skrawalność tego gatunku stali negatywny wpływ ma wysoka skłonność do umocnienia odkształceniowego, niska przewodność cieplna i dobra ciągliwość. Siarka jest pierwiastkiem stopowym poprawiającym skrawalność stali nierdzewnych. Siarka w połączeniu z manganem tworzy siarczek manganu MnS, którego pozytywny wpływ na skrawalność potwierdza rodzaj wiórów (krótkie i kruche), lepsza jakość powierzchni obrabianych przedmiotów oraz mniejsze zużycie narzędzi.

Wały o średnicy 50 mm (rys. 2) poddano procesowi obróbki skrawaniem na tokarce uniwersalnej kłowej CU500MRD (rys. 3).



Rys. 2. Wał użyty w badaniach



Rys. 3. Tokarka uniwersalna kłowa CU500MRD/1000

W procesie toczenia wykończeniowego wykorzystano standardowe płytki skrawające oraz płytki typu Wiper firmy Sandvik. Płytki dogładzające charakteryzują się zmodyfikowanym promieniem naroża, który umożliwia wygładzenie wierzchołków nierówności powierzchni, a tym samym uzyskanie lepszej jakości powierzchni obrabianej lub obróbki z dwukrotnie większymi wartościami posuwu. Oznaczenie płytek wraz z parametrami skrawania przedstawiono w tab. 1. W celu realizacji badań zastosowano płytki standardowe MF oraz dogładzające WF o promieniu naroża 0,2; 0,4 oraz 0,8 mm. Na podstawie danych z tab. 1 dobrano parametry typowe dla obróbki wykończeniowej z uwzględnieniem zmiennej wartości prędkości skrawania. Dlatego proces toczenia wałów przeprowadzono ze stałą wartością głębokości skrawania 0,4 mm oraz posuwu 0,083 mm/obr. Zmianę wartości prędkości skrawania zrealizowano dla V_c równego 200 m/min oraz 150 m/min. Proces toczenia realizowano bez użycia cieczy chłodzącej.

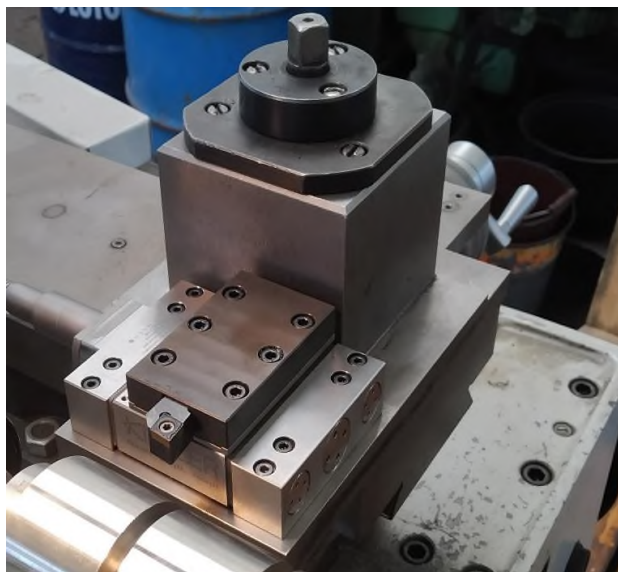
Tabela 1

Oznaczenie oraz parametry skrawania dla płytek użytych w badaniach

Oznaczenie płytki	ap [mm]	f [mm/obr]	V_c [m/min]
CCMT09T302 MF 1125	0.35 (0.08 ÷ 2.00)	0.08 (0.04 ÷ 0.15)	220 (225 – 205)
CCMT09T304 MF 1125	0.35 (0.11 ÷ 2.00)	0.11 (0.06 ÷ 0.23)	220 (225 - 165)
CCMT 09T308 MF 1125	0.35 (0.15 ÷ 2.00)	0.15 (0.08 ÷ 0.30)	205 (225 - 135)
CCMT 09T302 WF 1125	0.30 (0.10 ÷ 1.50)	0.10 (0.03 ÷ 0.15)	220 (225 - 205)
CCMT 09T304 WF 1125	1.00 (0.30 ÷ 3.00)	0.20 (0.07 ÷ 0.30)	180 (225 - 135)
CCMT 09T308 WF 1125	1.00 (0.30 ÷ 3.00)	0.25 (0.12 ÷ 0.50)	155 (215 – 85)

Pomiar sił podczas procesu toczenia wykonano z wykorzystaniem oprzyrządowania Kistler. Siłomierz mierzy siłę czynną, niezależnie od jej punktu przyłożenia. W jego skład wchodzi: siłomierz piezoelektryczny 9119AA2, wzmacniacz 5070 oraz komputer z oprogramowaniem DynoWare typ2825D-02, wersja 2.6.5.1.6 (Kistler Group, Winterthur, Szwajcaria). Siłomierz umożliwia jednoczesny pomiar trzech składowych wypadkowej siły skrawania: F_x – siła odporowa, F_y – siła posuwu i F_z – siła skrawania, w zakresie od –4 kN do 4 kN. Widok imaka narzędziowego, siłomierza oraz noża z wymienną płytką wielostrzową przedstawiono na rys. 4.

Pomiary wybranych parametrów chropowatości powierzchni i udziału materiałowego przeprowadzono na profilometrze Waveline W20 firmy Jenoptik (Hommel-Etamic) (Rys. 5). Prędkość pomiaru wynosiła 0,5 mm/s, wartość odcinka pomiarowego 4,8 mm, a odcinka elementarnego 0,8 mm.



Rys. 4. Siłomierz wykorzystany w badaniach



Rys. 5. Profilometr Waveline W20

3. Wyniki badań

Prace badawcze oraz współpraca z przemysłem potwierdzają przypadki różnic składu chemicznego materiałów, które dostarczane są w ramach różnych dostaw. Niewielkie zmiany procentowe niektórych pierwiastków (np. tytanu czy siarki) mogą w istotny sposób wpłynąć na zmianę warunków skrawania, a tym samym na trwałość i zużycie narzędzi skrawających. Przeprowadzone badania analizy składu chemicznego stali nie wykazały znaczących różnic w stosunku do certyfikatu dostarczonego przez producenta stali (tab. 2).

W celu określenia wpływu zmiennej prędkości skrawania dla toczenia wykończeniowego wałów posłużono się podstawowymi parametrami chropowości

powierzchni Ra (średnia arytmetyczna rzędnych profile), Rt (całkowita wysokość profilu) oraz udziału materiałowego Rk (wysokość chropowatości rdzenia), Rpv (zredukowana głębokość wgłębień), Rpk (zredukowana wysokość wzniesień.). Wartości średnie analizowanych parametrów przedstawiono w tab. 3. Graficzne zestawienie uzyskanych wyników przedstawiono na rys. 6 (dla Vc = 200 m/min) oraz rys. 7 (dla Vc = 150 m/min).

Tabela 2

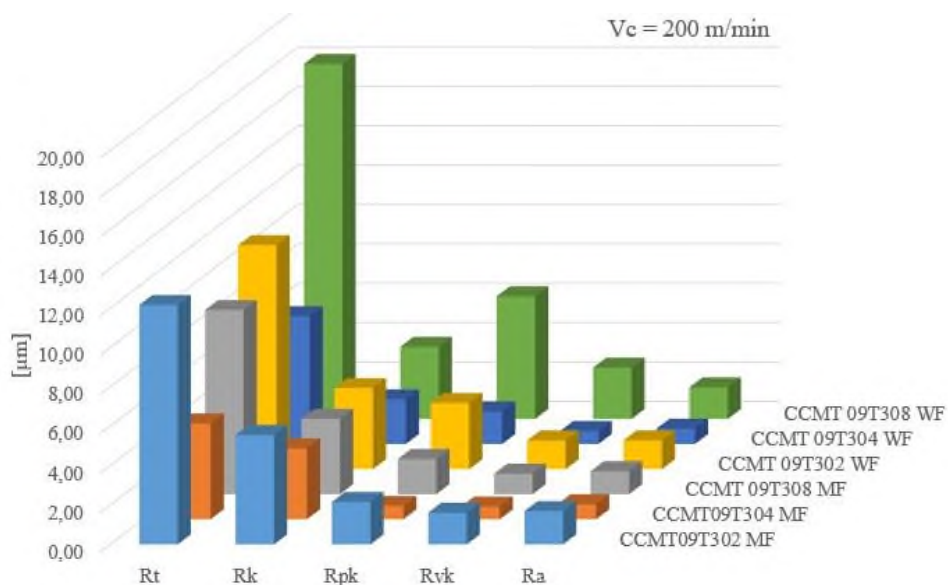
Wyniki składu chemicznego badanej stali [%][4]

	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	Ni	Nb
Wartość średnia	0,021	0,433	1,414	0,021	0,028	16,246	0,490	7,735	0,007
max	0,026	0,439	1,438	0,022	0,028	18,006	0,491	7,809	0,008
min	0,019	0,429	1,392	0,020	0,027	11,126	0,488	7,665	0,006
	Al	Cu	Co	B	Ti	V	W	Fe	
Wartość średnia	0,004	0,496	0,125	0,002	0,027	0,060	0,024	71,119	
max	0,004	0,501	0,126	0,002	0,029	0,066	0,025	71,177	
min	0,003	0,487	0,122	0,002	0,025	0,056	0,023	71,035	

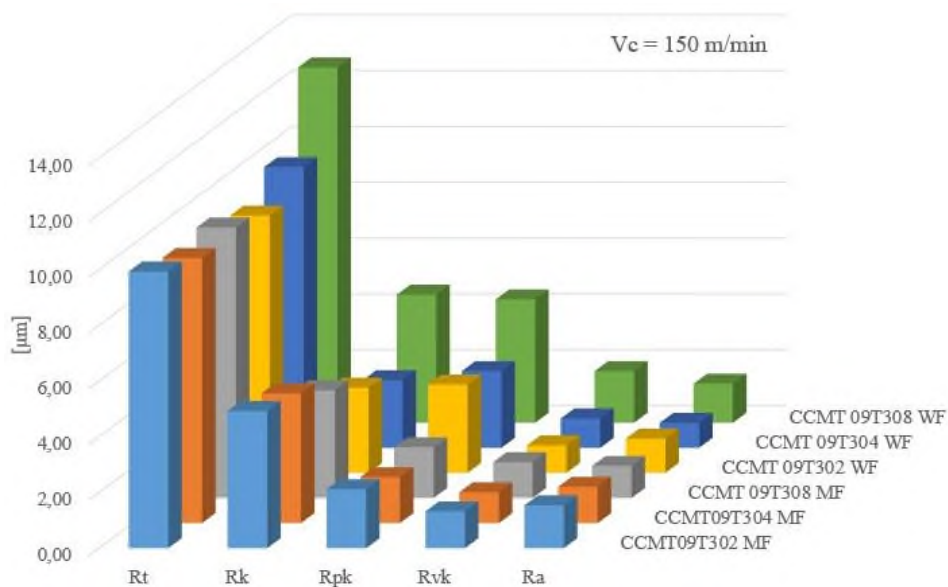
Tabela 3

Wartości średnie wybranych parametrów chropowatości powierzchni i udziału materiałowego

Płytką	CCMT09T302 MF		CCMT09T304 MF		CCMT09T308 MF	
Vc [m/min]	200	150	200	150	200	150
Ra	1,69	1,54	0,77	1,30	1,16	1,15
Rt	12,15	9,93	4,86	9,51	9,35	9,70
Rk	5,55	4,92	3,59	4,65	3,83	3,87
Rpk	2,15	2,11	0,67	1,65	1,79	1,82
Rvk	1,61	1,32	0,65	1,11	1,04	1,29
Płytką	CCMT09T302 WF		CCMT09T304 WF		CCMT09T308 WF	
Vc [m/min]	200	150	200	150	200	150
Ra	1,46	1,23	0,78	0,89	1,60	1,40
Rt	11,37	9,23	6,49	10,07	18,02	12,75
Rk	4,12	3,06	2,27	2,43	3,66	4,59
Rpk	3,36	3,17	1,65	2,75	6,23	4,42
Rvk	1,45	0,99	0,66	1,05	2,60	1,85



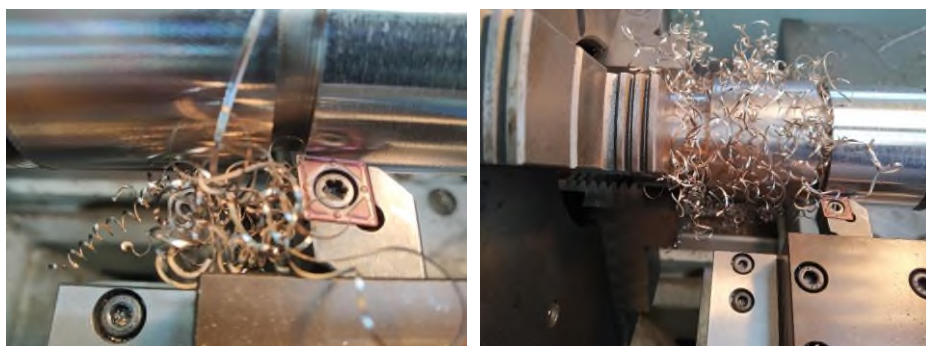
Rys. 6. Parametry chropowości i udziału materiałowego dla wałów poddanych obróbce skrawaniem z $V_c = 200 \text{ m/min}$



Rys. 7. Parametry chropowości i udziału materiałowego dla wałów poddanych obróbce skrawaniem z $V_c = 150 \text{ m/min}$

Najkorzystniejsze wyniki dla analizowanych czopów wałów uzyskano dla procesu toczenia płytką CCMT09T304 MF dla prędkości skrawania 200 m/min. Parametr Ra osiągnął wartość 0,77 μm . Wartość na tym samym poziomie ($R_a = 0,78 \mu\text{m}$) uzyskano dla procesu toczenia płytką CCMT09T304 WF z prędkością skrawania 200 m/min. Wyniki pomiarów parametrów udziału materiałowego wykazały, że wygładzenie wierzchołków nierówności powierzchni ($R_{pk} = 0,67 \mu\text{m}$) wystąpiło po procesie toczenia płytką standardową. Dla procesu obróbki płytkami z promieniem naroża 0,2 mm (dla $V_c = 150$ i 200 m/min) oraz promieniem naroża 0,4 mm dla $V_c = 150$ m/min, niższe wartości parametru Ra uzyskano dla płytki Wiper. Jednakże podczas przejścia noża tokarskiego nie nastąpiło dogładzenie wierzchołków nierówności powierzchni. Dla procesu toczenia płytką z promieniem naroża 0,8 mm niższe wartości parametrów Ra, Rt oraz R_{pk} uzyskano dla płytki standardowej. Ze względu na zmodyfikowany kształt promienia naroża płytki wraz z krawędzią dogładzającą płytki Wiper nie spełniają swojej roli w dolnych zakresach pracy. Operator tokarki konwencjonalnej powinien w procesie toczenia płytkami Wiper starać się używać optymalnych parametrów skrawania nie tylko dla V_c , ale również dla wartości głębokości skrawania i posuwu. Brak użycia cieczy chłodzącej ma wpływ na warunki skrawania i uzyskane wyniki pomiarów.

Zastosowanie źle dobranych technologicznych parametrów skrawania może powodować niekontrolowany proces powstawania wióra ciągłego, co zaobserwowano w szczególności dla procesu toczenia płytką CCMT09T308 WF. Zaistniałe zjawisko negatywnie wpływa na jakość powierzchni obrobionej oraz na trwałość narzędzia skrawającego. Powstały wiór może zakleszczyć się między powierzchnią materiału obrabianego oraz wierzchołkiem płytki skrawającej, co może doprowadzić do jej uszkodzenia oraz do obniżenia jakości powierzchni obrobionej czopa wału. Na rys. 8 przedstawiono przykładowe powstanie wióra ciągłego dla toczenia płytką Wiper o promieniu naroża 0,8 mm.



Rys. 8. Powstanie wióra ciągłego

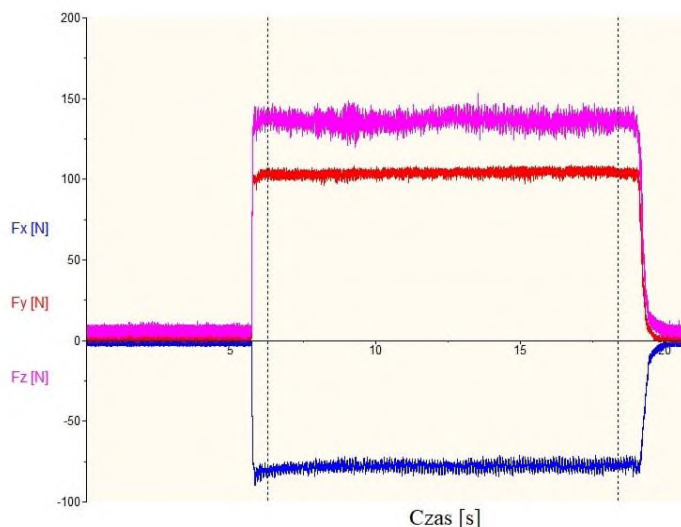
Wyniki pomiaru sił podczas procesu skrawania przedstawiono w tab. 4. Dla zastosowanych parametrów skrawania przeznaczonych do obróbki wykończeniowej wartość siły F_z nie wykazuje znaczących różnic w całym zakresie badań. Wyższe wartości średnie dla

składowej wypadkowej siły skrawania oraz siły posuwowej zarejestrowano dla płytki skrawającej CCMT09T304 MF, zarówno przy prędkości 200, jak i 150 m/min. Natomiast najmniejsze wartości siły F_z , F_y , i F_x uzyskano dla procesu toczenia płytką Wiper o promieniu naroża 0,4, co świadczy o najkorzystniejszych warunkach skrawania. Proces toczenia płytką w okresie docierania wykazał, że wraz ze wzrostem promienia naroża płytki skrawającej następuje wzrost siły odporowej zarówno dla płytki standardowej jak i dogładzającej. Przykładowe wykresy sił podczas procesu toczenia przedstawiono na rys. 9 i 10. O zróżnicowanym przebiegu procesu skrawania świadczą również uzyskiwane wartości minimalne i maksymalne rejestrowanych wartości sił. Proces obróbki wału z mniejszymi wartościami rozrzutu rejestrowanych sił świadczy o korzystniejszych warunkach skrawania.

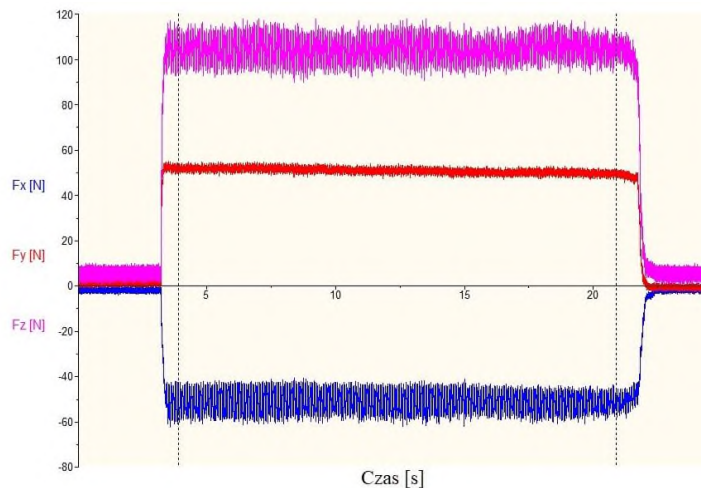
Tabela 4

Wartości średnie z pomiaru sił dla procesu toczenia wykończeniowego

Oznaczenie płytki	$V_c = 200 \text{ m/min}$			$V_c = 150 \text{ m/min}$		
	$F_z \text{ [N]}$	$F_y \text{ [N]}$	$F_x \text{ [N]}$	$F_z \text{ [N]}$	$F_y \text{ [N]}$	$F_x \text{ [N]}$
CCMT09T302 MF	122.2	77.2	-51.0	121.5	77.0	-50.5
CCMT09T304 MF	136.4	103.8	-78.0	143.8	111.4	-77.7
CCMT09T308 MF	113.4	55.1	-89.9	115.8	55.4	-86.4
CCMT09T302 WF	114.2	63.6	-52.8	117.5	66.9	-53.1
CCMT09T304 WF	104.7	50.9	-51.1	109.7	53.1	-52.2
CCMT09T308 WF	112.4	49.2	-80.6	117.1	48.5	-85.8



Rys. 9. Siły podczas toczenia płytką CCMT09T304 MF dla $V_c = 200 \text{ m/min}$



Rys. 10. Siły podczas toczenia płytką CCMT09T304 WF dla $V_c = 200$ m/min

4. Wnioski

Na jakość struktury geometrycznej powierzchni detalu poddanego procesowi skrawania wpływ ma wiele czynników. Można do nich zaliczyć zmienne parametry skrawania, czynniki stałe takie jak: typ obrabiarki, liczba przejść narzędzia skrawającego, rodzaj cieczy chłodzącej, stosowanie obróbki na sucho czy gatunek materiału płytki skrawającej i przedmiotu obrabianego. Czynniki zakłócającymi prawidłowy proces toczenia są: drgania układu, zużycie ostrza czy niejednorodność materiału. Na maszynach konwencjonalnych ważną rolę odgrywa operator obrabiarki, który musi zapewnić bezpieczeństwo pracy oraz odpowiednią jakość powierzchni obrobionej. W warunkach morskich ograniczone są możliwości wyposażenia warsztatu siłowni okrętowej w dużą liczbę narzędzi skrawających. Dlatego istotna jest właściwa konfiguracja obrabiarki przy wykonywanych pracach produkcji jednostkowej lub podczas regeneracji części maszyn. Nowoczesne płytki skrawające dedykowane są do produkcji przy dużych prędkościach skrawania, co dla realizacji procesu na tokarkach konwencjonalnych może nie być możliwe do wykonania. Ograniczenia mogą wynikać z możliwości nastawczych obrabiarki, jak i umiejętności operatora.

Przedstawione wyniki badań są kontynuacją analizy zmiennych warunków skrawania materiałów trudno obrabialnych na tokarkach konwencjonalnych. W artykule przedstawiono wyniki badań dotyczących procesu toczenia wykończeniowego dla stałej wartości głębokości skrawania i posuwu, lecz przy zmiennej wartości prędkości skrawania. Podczas obróbki nie wykorzystano cieczy chłodzącej, co miało wpływ na przebieg procesu skrawania i na uzyskaną jakość powierzchni obrobionej. Uzyskane wyniki pomiarów pozwoliły na określenie najkorzystniejszych warunków skrawania dla danej konfiguracji

toczenia ze względu na parametry chropowatości powierzchni oraz rozkład sił. Stosunkowo niewielka korekta prędkości skrawania dla różnych promieni naroża spowodowała 2- lub 3-krotne zmiany uzyskanych wyników dla poszczególnych parametrów. Najlepsze rezultaty uzyskano dla płytek o promieniu naroża 0,4 mm.

5. Literatura

1. Agustina B., Bernal C., Camacho A.M., Rubio E.M., Experimental analysis of the cutting forces obtained in dry turning processes of UNS A97075 aluminium alloys, The Manufacturing Engineering Society International Conference, Procedia Engineering 63, 2013, pp.694-699, MESIC 2013.
2. Balsamo V., Caggiano A., Jemielniak K., Kossakowska J., Nejman M., Teti R.: Multi sensor signal processing for catastrophic tool failure detection in turning. Research and Innovation in Manufacturing: Key enabling technologies for the factories of the future - Proceedings of the 48th CIRP Conference On Manufacturing Systems, Vol. 41, pp. 939-944, 2016.
3. Bhuiyan M. S. H., Choudhury I. A., Dahari M.: Monitoring the tool wear, surface roughness and chip formation occurrences using multiple sensors in turning, Journal of Manufacturing Systems, Vol. 33 (4, pp. 476-487), 2014.
4. Dudzik K., Labuda W.: The Possibility of Applying Acoustic Emission and Dynamometric Methods for Monitoring the Turning Process. Materials 2020.
5. Labuda W.: The influence of cutting parameters on surface topography during turning marine pump shafts. Journal of KONES Powertrain and Transport, Vol. 26, No. 4, pp. 141 – 148, 2019.
6. Labuda W.: The influence of cutting parameters on surface roughness parameter of stainless steel after finishing turning of CCET09T302R-MF insert .METAL 2017: 26th Anniversary International Conference on Metallurgy and Materials. pp. 1349 – 1354 Ostrava: TANGER, 2017
7. Labuda W.: The influence of treatments conditions on cutting forces and temperature during finish turning of stainless steel by CCET09T302R-MF insert. 27th Anniversary International Conference on Metallurgy and Materials., pp. 1163 – 1168, Ostrava: TANGER, Proceedings Paper, 2018.
8. Labuda W.: The possibility of monitoring forces during turning process of shafts made of AW-7020 aluminium alloy for variable treatment conditions. Volume 15, Art. #32, pp. 311-319, WSEAS Transactions on Systems and Control 2020.
9. Lalwani D. I., Mehta N. K., Jain P. K., Experimental investigations of cutting parameters influence on cutting forces and surface roughness in finish hard turning of MDN250 steel. Journal of Materials Processing Technology, Volume 206, Issues 1–3, pp. 167-179, 2008.

10. Mali R. A., Agrahari M. D., Gupta T. V. K.: FE Based Simulation and Experimental Validation of Forces in Dry Turning of Aluminium 7075. *Materials Today: Proceedings*, In Press, Corrected Proof, 2019.
11. Matras A., Zębała W.: Optimization of Cutting Data and Tool Inclination Angles During Hard Milling with CBN Tools. Based on Force Predictions and Surface Roughness Measurements. *Materials* 2020.
12. Nataraj M., Balasubramanian K., Palanisamy D.: Influence of Process Parameters on CNC Turning of Aluminium Hybrid Metal Matrix Composites. *Materials Today: Proceedings*, Volume 5, Issue 6, Part 2, pp.14499-14506, 2018.
13. Pan H., Liua J., Choib Y., Xuc C., Baia Y., Atkins T.: Zones of Material Separation in Simulations of Cutting. *International Journal of Mechanical Sciences*, Vol. 115–116, pp. 262-279, 2016.
14. Rao D. K., Srinivas K.: An analysis of feature identification for tool wear monitoring by using acoustic emission. *TRAITEMENT DU SIGNAL*, Vol. 34 (3-4), pp. 117-135), 2017.
15. Schmidt P. L., Nelson J. K., Handy R. G., Morrell J. S., Jackson M. J., Rees T. M.: Noncontact measurements of acoustic emissions from the single-point turning process. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, Vol. 93/9-12, pp. 3907-3920, 2017.
16. Saravanan K. K., Mahendran S.: Aluminium 6082-Boron Carbide Composite Materials Preparation and Investigate Mechanical-Electrical Properties with CNC Turning. *Materials Today: Proceedings*, Volume 21, Part 1, pp. 93-97, 2020.
17. Teimouri R., Amini S., Mohagheghian N.: Experimental Study and Empirical Analysis on Effect of Ultrasonic Vibration During Rotary Turning of Aluminum 7075 Aerospace Alloy. *Journal of Manufacturing Processes*, Vol. 26, pp. 1–12, 2017.
18. Teti R., Jemielniak K., O'Donnell G., Dornfeld D.: Advanced monitoring of machining operations. *CIRP Annals-Manufacturing Technology*, Vol. 59 (2), pp. 717-739, 2010.
19. Yaman K., Basaltin M., Investigations on the cutting parameters and the tool wear of SAE 1030 forged steel material by acoustic emission in turning operation. *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, Vol. 32 (4), pp. 1077-1088, 2017.
20. Zhou J. M., Andersson M., Ståhl J. E.: Identification of cutting errors in precision hard turning process. *Journal of Materials Processing Technology*, Vol. 153–154, pp. 746-750, 2004.

