

Piotr STIELER, Daniel GROCHAŁA, Sara DUDZIŃSKA, Emilia BACHTIAK-RADKA

BADANIA WYSOKOWYDAJNEGO SKRAWANIA ŻELIWA SFEROIDALNEGO GGG60 NA POTRZEBY BRANŻY MOTORYZACYJNEJ

DOI: 10.24136/atest.2018.309

Data zgłoszenia: 30.08.2018. Data akceptacji: 25.09.2018.

Pomimo powszechnego dążenia do produkowania coraz lżejszych, tańszych i wytrzymalszych komponentów ze stopów metali lekkich oraz tytanu, to żeliwo jest nadal materiałem dość powszechnie wykorzystywanym w branży mechanicznej, jak również w przemyśle motoryzacyjnym. Produkowane z niego są głównie korpusy elementów układu przeniesienia napędu jak również części wykorzystywane w oprzyrządowaniu silnika. Masowy charakter produkcji w branży motoryzacyjnej wpływa natomiast na konieczność zapewnienia dużej wydajności objętościowej procesu skrawania. W literaturze światowej jest wiele pozycji dotyczących doboru technologicznych parametrów obróbki przy wysokowydajnym skrawaniu, stali, stopów metali lekkich oraz tytanu. Natomiast w przypadku żeliw takie prace stanowią ułamek procenta publikowanych obecnie prac. Stąd w oparciu o zapotrzebowanie zaspokojenia potrzeb przemysłu oraz chęci poznawczych zespołu badawczego, podjęto się tematyki badań doświadczalnych, których wyniki zostały opisane w poniższym artykule. Celem realizowanych badań było określenie możliwości wykorzystania jednego narzędzia do obróbki zgrubnej i wykończeniowej uwzględniając jedynie możliwości zmiany technologicznych parametrów obróbki dwóch zabiegów zintegrowanych w jednej operacji.

Słowa kluczowe: żeliwo sferoidalne, GGG60, zużycie narzędzia, chropowatość powierzchni, wysokowydajne skrawanie

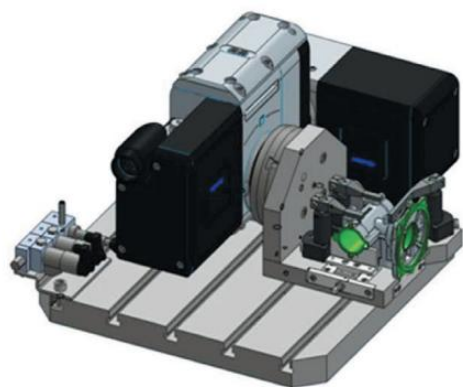
WSTĘP

W chwili obecnej technologie umożliwiają kształtowanie i wytwarzanie bardzo skomplikowanych przedmiotów o wysokiej dokładności wymiarowo-kształtowej. Obok coraz bardziej popularnych technik wytwarzania przyrostowego cały czas rozwijane są metody obróbki skrawaniem. Dzięki skrawaniu jesteśmy w stanie ekonomicznie wytwarzać wyroby o najwyższej dokładności wymiarowo-kształtowej i dokładności Struktury Geometrycznej Powierzchni (SGP). Bezustanny postęp w dziedzinie materiałów narzędziowych obrabiarek sterowanych numerycznie, stwarza dalsze perspektywy rozwoju ubytkowych technik obróbki. We współczesnym przemyśle widać zwłaszcza rozwój obrabiarek, narzędzi i oprogramowania do programowania wysokowydajnej objętościowej obróbki skrawaniem [1] (realizowanej na wielosiłowych centrach obróbkowych – rys. 1).



Rys. 1. Przykłady rozwiązań wykorzystywanych w konstrukcji obrabiarek CNC do wysokowydajnej obróbki skrawaniem [1]: a) magazyn kosztowy do szybkiej zmiany narzędzi, b) stół uchylny-obrotowy do wieloprzedmiotowej obróbki

W produkcji wielkoseryjnej czy masowej decydującym czynnikiem przy projektowaniu technologii jest czas obróbki, który często liczony jest w sekundach. Do tego aby wytwarzać setki, czy tysiące wyrobów w trakcie ograniczonego czasu zmiany roboczej powszechnym rozwiązaniem jest koncentracja technologiczna, dotycząca zwłaszcza stosowania narzędzi specjalnych, czy oprzyrządowania bazującego na zautomatyzowanych systemach mocowań [2].



Rys. 2 Przykłady rozwiązań wykorzystywanych w konstrukcji obrabiarek CNC do wysokowydajnej obróbki skrawaniem [1]: a) magazyn kosztowy do szybkiej zmiany narzędzi, b) stół uchylny-obrotowy do wieloprzedmiotowej obróbki [2]

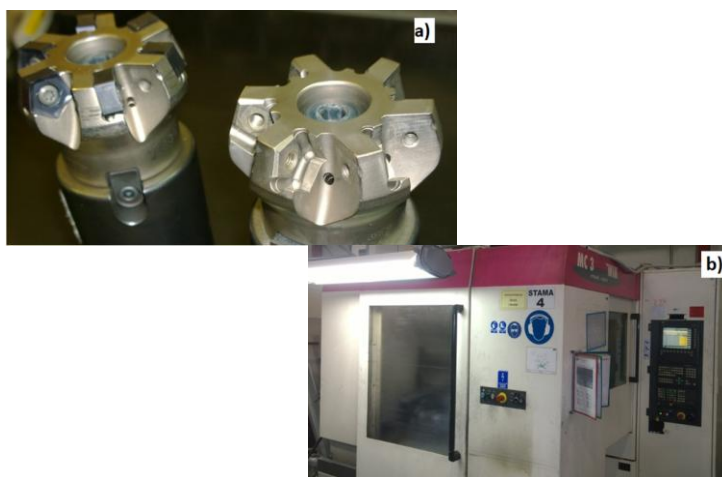
Jednak to wykorzystane narzędzia decydują o potencjale całego procesu. Dobierając odpowiednio wysokie wartości parametrów obróbki znacząco skraca się czas główny procesu (czas w którym bezpośrednio zachodzi usuwanie wierzchniej warstwy materiału). Zbyt wysokie wartości parametrów obróbki z kolei sprzyjają szybszemu zużyciu się narzędzi i częstszym przestojom spowodowanym koniecznością ich wymiany, rośnie udział czasów obsługi maszyn. Wydajność produkcji jest zatem wypadkową czasu dostępności maszyn pomniejszoną o udział czasów obsługowych i głównych - determinowanych wartościami technologicznych parametrów obróbki. Dlatego nowoczesne materiały narzędziowe, z których wytwarza się współcześnie ostrza narzędzi skrawających wymuszają na producentach projektowanie takich narzędzi, które w praktyce będą skrawały z jak największymi wartościami parametrów skrawania oraz możliwie długim okresem trwałości. Przy obróbce żeliwnych części, w tym odlewów powstaje wiór krótki i kruchy. Związane jest to z twardymi frakcjami osnowy i miękkimi węgiel w postaci grafitu.

Często występuje w przemyśle sytuacja, w której narzędziami przeznaczonymi do obróbki stali można obrabiać również żeliwa (wg standardu ISO oznaczanego symbolem K). Jednak przy skrawaniu żeliwa występują mniejsze temperatury przez co zużycie narzędzia jest inne (zużywa się bardziej na powierzchni przyłożenia). Jednakże narzędzia dedykowane do obróbki żeliwa nie mają zastosowania przy skrawaniu stali. Zazwyczaj odlewy żeliwne mają większe naddatki na obróbkę, związane jest to z zewnętrzną warstwą, która ma inną strukturę niż warstwy wewnętrzne, wpływa na to proces studzenia odlewu i jest nieuniknione. Chcąc osiągnąć wysoką dokładność wymiarów i kształtu oraz odpowiedni stan SGP to w procesie skrawania żeliw należy zaplanować operacje (zabiegi) obróbki zgrubnej i wykończeniowej. Najczęściej taka sytuacja prowadzi do obniżenia wspomnianej wcześniej koncentracji technologicznej (konieczność dodatkowej wymiany narzędzia

1. BADANIA DOŚWIADCZALNE

Przemiana eutektyczna determinuje postać węgla w stopie, który z kolei jest czynnikiem determinującym właściwości żeliwa. Badania doświadczalne prowadzono na odlewach żeliwnych wykonanych z materiału EN- GJS-600-3U (GGG60). Jest to żeliwo sferoidalne, z tendencją do krzepnięcia jak żeliwo szare jednak uzyskuje się grafit w postaci kulistej, dzięki zabiegom modyfikowania. Modyfikacja w tym przypadku polega na dodaniu sferoidyzatorów (magnezu lub ceru). Osnową może być ferryt, perlit lub perlit i ferryt jednocześnie. Dzięki modyfikacjom nadającym grafitowi postać kulistą, żeliwo sferoidalne ma większe właściwości wytrzymałościowe i plastyczne, oraz większą udarność $R_m=600N/mm^2$, $R_{p0,2}=370N/mm^2$, $A=3\%$ min.190-270HB. Skład chemiczny badanego materiału to: C(2,90-3,80%), Si(1,50-2,8%), Mn(0,10-0,80%), P (max.0,080%), S(max.0,015%), Mg(0,025-0,070), Cu(max.0,7%). Natomiast wymagania odnośnie grafitu w stopie z którego wykonano odlewy stanowiące próbki do badań to min.90% forma grafitu V i VI (zgodnie z normą EN ISO 945), min. 90% grafit wielkości 6 i mniejszy, min. 60% perlit, max. 5% cementyt.

Narzędziami do badań były sześciostorzowe głowice frezarskie o średnicy $\varnothing 50mm$, wyposażone w wymienne płytki firmy Tungaloy wykonane z węglików spiekanych – rysunek 3a. Badania prowadzono na dwuwrzecionowym centrum obróbkowym (frezarskim) Stama 334 Twin – rysunek 3b.



Rys.3 Wykorzystane w trakcie badań doświadczalnych, a) narzędzia oraz b) obrabiarka

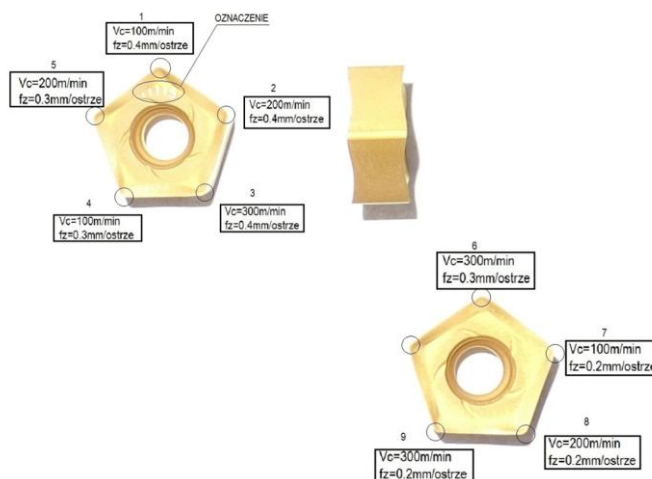
2. METODYKA BADAŃ

Badania doświadczalne przeprowadzono w oparciu o zaplanowany eksperyment, który zakładał użycie dwóch gatunków materiałów narzędziowych (węgliki spiekane T1115 oraz AH120) i typowych parametrów obróbki zalecanych dla frezowania zgrubnego (wysoka objętościowa wydajność obróbki) oraz parametrów obróbki wykończeniowej (minimalne wartości błędów kształtu i położenia oraz wymagany stan SGP) – tabela 1.

Tabela 1. Plan eksperymentu - wartości technologicznych parametrów obróbki

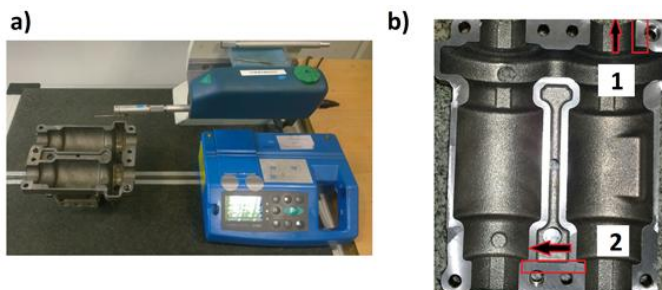
Rodzaj węglika	T1115									AH120								
	Vc [m/min]			200			300			100			200			300		
fz [mm/ostrze]	0,2	0,3	0,4	0,2	0,3	0,4	0,2	0,3	0,4	0,2	0,3	0,4	0,2	0,3	0,4	0,2	0,3	0,4

Plan eksperymentu zakładał przeprowadzenie dziewięciu eksperymentów dla każdego z gatunków węglika spiekane. Podczas badań nową krawędzią skrawającą obrabiano serię odlewów po czym komplet płytek w głowicy frezarskiej obracano tak aby każda krawędź skrawająca pracowała tylko jeden raz. Przy każdym z eksperymentów płytki obracano zgodnie z kierunkiem obrotu wskaźówek zegara – rysunek 4.



Rys. 4. Oznaczenie krawędzi skrawających dla każdego eksperymentu

Seria wyrobów dla każdego eksperymentu (obrabianych jedną krawędzią płytki) zakładała wytworzenie pięćdziesięciu wyrobów. Przy czym mierzono chropowatość po frezowaniu pierwszej sztuki, części z numerem 25 oraz ostatniej 50 sztuki. Do pomiarów SGP (struktury geometrycznej powierzchni) użyto profilografometru Hommel Etamic T1000 z głowicą wave 20 i indukcyjnym czujnikiem tku300/600 – rysunek 5a. Pomiary chropowatości prowadzono dla każdej części w dwóch polach zgodnie z dokumentacją technologiczną – rysunek 5b



Rys. 5. Pomiary chropowatości w trakcie badań doświadczalnych gdzie: a) stanowisko pomiarowe oraz b) miejsca pomiaru SGP

Pola wyznaczone do pomiaru chropowatości (R50) są miejscami, w których następuje zmiana kierunku skrawania, czyli miejsca gdzie może wystąpić największa zmiana chropowatości. Dopuszczalna chropowatość tej powierzchni wynosi Rz12. Pomiary chropowatości prowadzono zgodnie z "zasadą 16%", którą określa norma PN-ISO 4288:1997.

3. OPRAWOWANIE WYNIKÓW

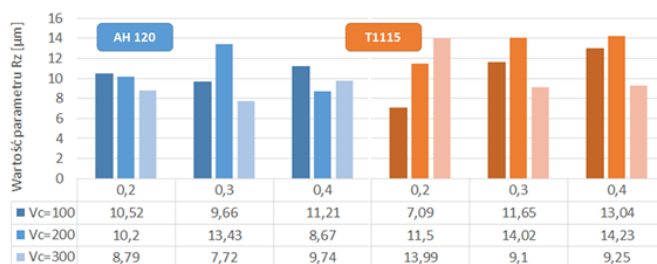
W artykule zostaną zaprezentowane wyniki chropowatości otrzymane na końcu serii produkowanych wyrobów (po 50 sztuce) – (tabela 2). Chropowatość otrzymana po frezowaniu pierwszej sztuki i w środku serii pomocne są do ustalenia tempa zużywania się ostrzy skrawających co nie wchodzi w zakres niniejszej pracy (prezentowane będzie w odrębnym artykule).

Tabela 2. Wartości parametrów chropowatości otrzymane na końcu serii wyrobów frezowanych

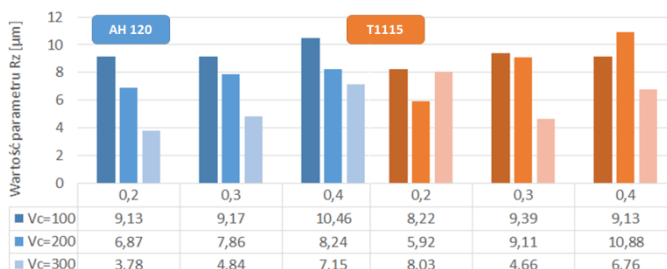
Vc [M/MIN]	Fz [MM/OSTRZE]	RODZAJ WĘGLIKA			
		AH120		T1115	
		R50 (miejsce 1)	R50 (miejsce 2)	R50 (miejsce 1)	R50 (miejsce 2)
Vc=100	0,2	10,52	9,13	7,09	8,22
	0,3	9,66	9,17	11,65	9,39
	0,4	11,21	10,46	13,04	9,13
Vc=200	0,2	10,2	6,87	11,5	5,92
	0,3	13,43	7,86	14,02	9,11
	0,4	8,67	8,24	14,23	10,88
Vc=300	0,2	8,79	3,78	13,99	8,03
	0,3	7,72	4,84	9,1	4,66
	0,4	9,74	7,15	9,25	6,76

W tabeli 2 na czerwono zaznaczone są przypadki gdzie otrzymano wartości chropowatości Rz powyżej 8.75. Ustalona wartość graniczna parametru Rz jest wartością, której zgodnie z zasadą 16% nie można zaakceptować i przedmiot należy poddać dodatkowej niezależnej ocenie. Z tabeli 2 można zauważyć, że parametry spełniające założone wymagania Rz<8.75 to: dla AH120; Vc=300m/min i fz=0.3mm/ostre, Vc=200m/min i fz=0.4mm/ostre oraz dla T1115 Vc=100m/min i fz=0.2mm/ostre. Można w ten sposób określić, że najkorzystniejszą sytuacją, która zagwarantuje wydajną obróbkę objętościową (obróbka zgrubna) będzie użycie narzędzia zbrojonego w płytce AH120 (przy parametrach Vc=300m/min i fz=0.3mm/ostre). Wydaje się również, że opisana

sytuacje doboru technologicznych parametrów powinna się również sprawdzić w przejściach wykończeniowych, ponieważ zmierzone wartości chropowatości są najmniejsze i pozostawiają jeszcze spory zapas chropowatości (na zużycie) w przypadku obróbki na gotowo jeszcze dłuższej serii wyrobów.



Rys. 6 Wartości parametrów chropowatości otrzymane po skrawaniu pięćdziesięciu elementów płytką z węgla AH120 oraz T1115 w pierwszym polu pomiarowym



Rys. 7 Wartości parametrów chropowatości otrzymane po skrawaniu pięćdziesięciu elementów płytką z węgla AH120 oraz T1115 w drugim polu pomiarowym

Z rysunków 6 oraz 7 można odczytać, że ostrze T1115 skrawając z prędkością Vc=300m/min pozostawia powierzchnię najmniej chropowatą. Tylko w jednym przypadku odnotowano przekroczenie dopuszczalnej wartości parametru Rz. Dla ostrza AH120 najmniejsza wartość chropowatości została uzyskana w środkowym zakresie zadawanych prędkości skrawania (Vc=200m/min). Na drugim polu pomiarowym chropowatość powierzchni dla danego posuwu na ostrze fz=0.4 mm/ostre była najmniejsza przy Vc=300m/min, w żadnym przypadku nie odnotowano również przekroczenia wartości dopuszczalnej Rz. Największą chropowatość zaobserwowano przy Vc=200m/min dla T1115 i Vc=100m/min dla AH120. Biorąc pod uwagę ostrza wykonane z węgla o gatunku T1115, to najlepsze efekty uzyskuje się przy największej prędkości skrawania Vc=300m/min, a najgorsze w średnim i niskim zakresie stosowanych prędkości skrawania (tj. Vc=200m/min i AH120 równe Vc=100m/min).

Ostrza wykonane z węgla AH120 dawały za każdym razem mniejszą chropowatość. Chropowatość malała wraz ze wzrostem prędkości skrawania. Co ciekawe oba gatunki węgla przy niskich wartościach prędkości skrawania Vc=100m/min dawały bardzo podobny obraz chropowatości na frezowanej powierzchni. Różnice stawały się coraz większe wraz ze wzrostem prędkości skrawania i posuwu.

Po przeanalizowaniu wykresów przedstawionych na rysunkach 6 i 7 można stwierdzić, że najmniejsze wartości chropowatości powierzchni wystąpiły przy prędkości skrawania Vc=300m/min. Wyniki pomiarów powierzchni w miejscu 2 zdecydowanie są najmniejsze w tym przypadku, natomiast jeśli chodzi o miejsce 1 to przy prędkości skrawania Vc=100m/min, dopuszczalna wartość Rz12.5 została przekroczona jeden raz, a dwa pomiary były bliskie przekroczenia, natomiast w przypadku Vc=200m/min parametr Rz został przekro-

czony aż trzy razy, a jeden pomiar był bliski granicy. W przypadku prędkości skrawania $V_c=300\text{m/min}$ Rz było tylko raz poza tolerancją, a reszta wyników była w bezpiecznym zakresie nie przekraczającym $10\mu\text{m}$.

PODSUMOWANIE

W trakcie badań szczególnie zadbano o stałość warunków realizowanego procesu obróbki, tj. Ten sam operator, ta sama maszyna, ten sam środek chłodziwo-smarujący, ta sama partia odlewnicza półfabrykatów, ten sam moment dokręcania śrub mocujących płytki w korpusie (3.0nm). Obrabiarka w trakcie obróbki serii wyrobów nie miała przestoju co eliminowało wpływ czasu potrzebnego na rozgrzanie się maszyny. Staranność w przeprowadzanych badaniach pozwoliła osiągnąć wiarygodne wyniki, które stanowią dobry materiał do sformułowania wniosków końcowych. W trakcie przeprowadzonych badań doświadczalnych można było wyłonić lepszy gatunek spośród analizowanych materiałów narzędziowych. Którego trwałość w połączeniu z geometrią płytki umożliwia skuteczną realizację wysokowydajnej obróbki objętościowej i dokładnej obróbki wykończeniowej. Na podstawie przeprowadzonych badań dobrano właściwe parametry technologiczne zapewniające najkrótszy czas obróbki. Ponadto zaobserwowano, że wraz z upływem czasu skrawania chropowatość powierzchni wzrasta, początkowo wzrost jest duży, później stabilizuje się i ma to związek z naturalnym docieraniem się ostrza.

Posuw na ostrze ma mniejszy wpływ na chropowatość powierzchni w przypadku gatunku AH120 i zakresie prędkości skrawania $100\text{--}200\text{m/min}$, również niewielkie różnice występują dla gatunku T1115 w przypadku większych posuwów. Jednak w dla obu materiałów stwierdzono większy wpływ prędkości skrawania na chropowatość powierzchni niż posuwu na ostrze

BIBLIOGRAFIA

1. Katalog produktów firmy Chiron, dostęp online: 2018-02-23, <https://chiron.de/pl/produkty/technologie/technologie-high-speed>
2. M. Abrachamowicz, D. Grochala: "O problemach w projektowaniu specjalnego oprzyrządowania technologicznego do obrabiariek wieloosiowych" Przegląd Mechaniczny 2015/5, str. 40-45.

High-performance cutting of GGG60 IRON in the automotive industry

Despite the widespread desire to produce lighter, cheaper and more durable components from light metal alloys and titanium, cast iron is still a material widely used in the mechanical industry as well as in the automotive industry. The parts used in the engine's instrumentation are mainly produced from it. However, the mass nature of production in the automotive industry affects the need to ensure high volume efficiency of the cutting process. In the world science literature there are many items regarding the selection of technological machining parameters for high-performance machining, steel, light metal alloys and titanium. In the case of cast irons, such works constitute a fraction of a percentage of the currently published works. Therefore, on the basis of the demand to meet the industry's needs and the cognitive intentions of the research team, the subject of experimental research was carried out and the results of which were described in the following article. The aim of the research was to determine the possibility of using one tool for roughing and finishing machining, taking into account only the possibility of changing the technological parameters of processing two treatments integrated in one operation.

Keywords: Ductile iron, GGG 60, tool wear, surface roughness, high-performance cutting,

Autorzy:

mgr inż. **Piotr Stieler** – AE GROUP Polska
dr inż. **Daniel Grochala** – Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny w Szczecinie,
daniel.grochala@zut.edu.pl
mgr inż. **Sara Dudzińska** – Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny w Szczecinie, sara.dudzinska@zut.edu.pl
mgr inż. **Emilia Bachtiaak-Radka** – Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny w Szczecinie,
emilia.bachtiaak-radka@zut.edu.pl