

**dr inż. Norbert Kępczak**  
**dr inż. Radosław Rosik**  
**dr hab. inż. Witold Pawłowski**  
**dr inż. Małgorzata Sikora**  
**dr inż. Błażej Witkowski**  
**dr inż. Grzegorz Bechciński**  
**dr inż. Wojciech Stachurski**

Instytut Obrabiarek i Technologii Budowy Maszyn  
Wydział Mechaniczny Politechniki Łódzkiej  
ul. Stefanowskiego 1/15, 90-924 Łódź, Polska  
e-mail: norbert.kepczak@p.lodz.pl  
radoslaw.rosik@p.lodz.pl  
witold.pawlowski@p.lodz.pl  
malgorzata.sikora@p.lodz.pl  
blazej.witkowski@p.lodz.pl  
grzegorz.bechcinski@p.lodz.pl  
wojciech.stachurski@p.lodz.pl

## **Dynamika zużycia płytek skrawających podczas toczenia niejednorodnego materiału na przykładzie polimerobetonu**

**Słowa kluczowe:** dynamika zużycia, toczenie, polimerobeton, odlew mineralny, chropowatość powierzchni, siły skrawania

**Streszczenie:** W niniejszym artykule zaprezentowano wyniki badań dynamiki zużycia pięciu różnych płytek skrawających (do obróbki materiałów trudnoobrabialnych, do wykończeniowej obróbki żeliwa, do zgrubnej obróbki żeliwa, do obróbki stali oraz do obróbki stali nierdzewnej) podczas toczenia niejednorodnego materiału, jakim jest polimerobeton. Polimerobeton jest trudnoobrabialnym, anizotropowym materiałem kompozytowym. Podczas wykonywania badań dokonywany był zapis składowych siły skrawania w czasie rzeczywistym. Po wykonaniu każdego przejścia obróbczego zostały zmierzone wartości parametrów chropowatości Ra oraz Rz obrabianej powierzchni w kierunku prostopadłym do śladów obróbki oraz zostały wykonane zdjęcia pod mikroskopem narozży płytek, na podstawie których zmierzono zużycie głównej powierzchni przyłożenia oraz pomocniczej powierzchni przyłożenia. Zaprezentowano również wygląd każdej z płytek po przeprowadzonych badaniach. Na koniec sformułowano wnioski na temat dynamiki zużycia płytek biorących udział w badaniu, a także stosowalności ich podczas toczenia polimerobetonu.

### **1. Wstęp**

Polimerobeton (odlew mineralny) to wieloskładnikowy materiał kompozytowy, w którym wypełniaczem najczęściej są nieorganiczne ziarna kruszyw, natomiast spoiwo stanowią żywice polimerowe [1, 2, 4, 6, 7, 13]. Polimerobeton jest wykorzystywany do produkcji różnych produktów, takich jak prefabrykaty urządzeń sanitarnych, konstrukcje odporne na korozję, zbiorniki kwasowe, studzienki, drenaże, barierki autostrad, materiały naprawcze lub części maszyn, takie jak prowadnice, stoły lub łoża obrabiarek [11]. Coraz bardziej powszechne zastosowanie odlewów mineralnych w codziennym funkcjonowaniu wymusza stosowanie bardziej dokładnych form do ich wykonania. W zależności od wymagań dotyczących osiągniętej precyzji, tolerancji wymiarowych, chropowatości

powierzchni odlewy mineralne można wykonywać w formach drewnianych, plastikowych, metalowych, żeliwnych lub kombinowanych [6]. Z tego względu w celu uzyskania odpowiednich parametrów warstwy wierzchniej elementy wykonane z odlewu mineralnego, po wyjęciu z formy należy poddać obróbce skrawaniem. Niejednorodność materiału jakim jest polimerobeton sprawia, że zużycie narzędzia skrawającego następuje bardzo dynamicznie. W strukturze materiału kompozytowego jakim jest polimerobeton występują bardzo twarde kruszywa oraz miękki materiał wiążący (żywica polimerowa). Oprócz różnic w twardości materiałów składających się na kompozyt, istnieje znaczna różnica w sposobie oddzielania materiału podczas obróbki (pękanie, tworzenia wióra itd.) oraz znaczne różnice w sposobie przepływu energii cieplnej powstającej podczas procesu skrawania pomiędzy poszczególnymi materiałami wchodzącymi w skład polimerobetonu. Taka struktura materiału skrawanego stanowi o bardzo skomplikowanych warunkach, w jakich pracuje narzędzie obróbkowe. Stąd potrzeba określenia i zbadania mechanizmu zużycia narzędzi skrawających podczas obróbki polimerobetonu.

W procesie skrawania powierzchnie robocze narzędzia pozostają w kontakcie z przemieszczającym się względem nich wiórem oraz powierzchniami materiału obrabianego. Zjawiska występujące na tych powierzchniach powodują zużywanie się narzędzia skrawającego, polegające przede wszystkim na zmianie geometrii narzędzia w jego części roboczej i w konsekwencji utratę zdolności skrawnych narzędzia [3]. Do zjawisk tych należą:

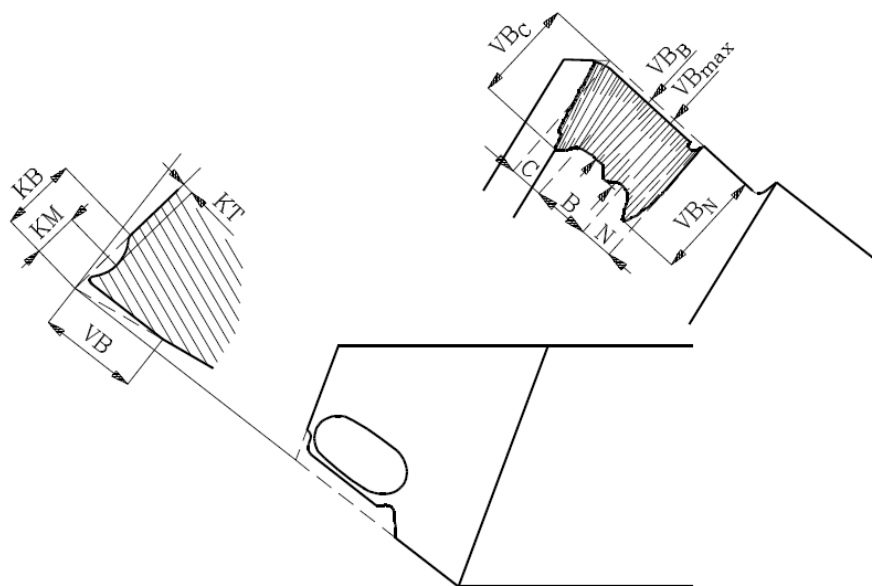
- ścieranie mechaniczne,
- adhezja,
- dyfuzja,
- zjawiska chemiczne (głównie utlenianie).

Udział tych zjawisk w procesie zużycia narzędzi nie jest jednakowy i zależy od warunków obróbki, z których największy wpływ ma prędkość skrawania [3]. Inne postaci zużywania się narzędzi to:

- mikrowykruszenia materiału narzędziowego w okolicy krawędzi skrawającej,
- deformacja plastyczna materiału narzędziowego,
- mikropęknięcia materiału narzędziowego.

Narzędzie może również ulec zniszczeniu poprzez wyłamanie dużej objętości materiału w części roboczej ostrza w wyniku przekroczenia doraźnej lub zmęczeniowej wytrzymałości materiału [3]. Wyżej wymienione procesy powodują, że robocza część ostrza zmienia geometrię tracąc swe zdolności skrawające.

W celu określenia dynamiki zużycia narzędzi skrawających stosuje się wskaźniki, które za pomocą szeregu parametrów opisują zużycie na głównej powierzchni przyłożenia i powierzchni natarcia [3, 9, 10]. Na rysunku 1 przedstawiono wskaźniki zużycia dla noża tokarskiego [8].



Rysunek 1. Wskaźniki zużycia noża tokarskiego [8]

Na głównej powierzchni przyłożenia zużycie występuje wzdłuż czynnej krawędzi skrawającej w postaci startego paska o zmiennej szerokości. Zwiększone zużycie naroża ( $VB_C$ ) jest spowodowane głównie koncentracją naprężeń i wyższą temperaturą w tej strefie krawędzi skrawającej, natomiast wyżłobienie ( $VB_N$ ) jest spowodowane wpływem warstwy wierzchniej, najczęściej utwardzeniem po poprzedniej operacji (np. skorupa odlewnicza) oraz procesami chemicznymi (np. procesem utleniania) [8].

Na powierzchni natarcia zużycie występuje w postaci rowka położonego, w większości przypadków, w pewnej odległości od krawędzi skrawającej ( $KM$  – odległość środka żłóbka od krawędzi skrawającej lub  $KB$  – szerokość żłóbka). Jest to strefa, w której występuje podczas skrawania najwyższa temperatura na powierzchni natarcia [8].

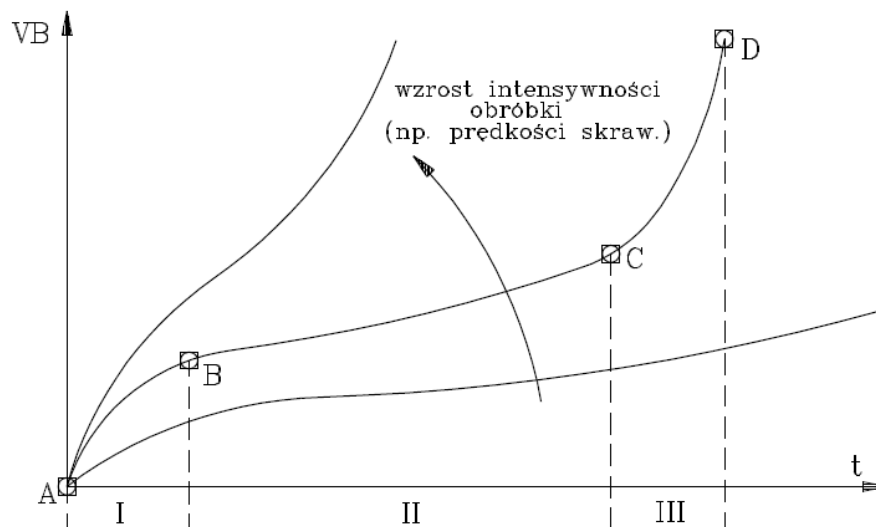
Zużycie na głównej powierzchni przyłożenia występuje praktycznie w każdych warunkach obróbki, natomiast znaczące zużycie na powierzchni natarcia jest charakterystyczne dla wysokich prędkości skrawania. Jako miarę zużycia na głównej powierzchni przyłożenia przyjmuje się szerokość starcia  $VB_B$  w środkowej części czynnej głównej krawędzi skrawającej, natomiast zużycie na powierzchni natarcia opisywane jest najczęściej głębokością rowka  $KT$  [8].

Zużywaniu się ostrza skrawającego towarzyszą takie zjawiska jak:

- pogorszenie gładkości powierzchni obrabianej,
- zmiana wymiarów gabarytowych przedmiotu obrabianego,
- zwiększenie poziomu drgań i hałasu,
- wzrost temperatury skrawania.

Większość z tych zjawisk jest wykorzystywana do aktywnej detekcji zużycia narzędzia np. w zautomatyzowanej produkcji.

Proces zużywania się narzędzia skrawającego jest procesem przebiegającym w okresie trwałości narzędzia z różnym natężeniem. Typowe przebiegi zużycia w czasie przedstawiono na rysunku 2 [8].



Rysunek 2. Typowe przebiegi zużycia narzędzia w czasie [8]

W większości przypadków można wyróżnić trzy charakterystyczne fazy ściernego zużywania się narzędzia [8]:

- I – początkowa, krótkotrwała faza (odcinek AB) spowodowana jest głównie docieraniem się powierzchni narzędzia i usuwaniem nierówności powierzchni powstałych w wyniku ostrzenia,
- II – druga faza (odcinek BC) charakteryzuje się mało intensywnym przyrostem zużycia i stanowi na ogół 90% całkowitego czasu pracy narzędzia,
- III – w trzeciej fazie (odcinek CD) wzrasta gwałtownie  $VB$ , co spowodowane jest wzrostem sił i temperatury podczas obróbki zużytym ostrzem. Wejście narzędzia w ten okres zużycia oznacza jego stopienie.

Praca narzędzia w trzecim okresie zużycia jest nieopłacalna, ponieważ daje niewielkie przyrosty czasu skrawania kosztem dużego zużycia narzędzia i znacznego wzrostu kosztów ostrzenia. Ponadto istnieje realna groźba zniszczenia narzędzia i przedmiotu obrabianego w przypadku wystąpienia katastroficznego zużycia narzędzia [8].

Taki mechanizm zużycia narzędzia skrawającego został opisany w literaturze i dotyczy skrawania materiałów izotropowych. Polimerobeton jako materiał anizotropowy stanowi przedmiot niniejszych badań. W celu określenia dynamiki zużycia płytek skrawających podczas procesu toczenia został wyznaczony wskaźnik zużycia narzędzia skrawającego VB powierzchni przyłożenia (VBgpp) oraz pomocniczej powierzchni przyłożenia (VBppp). Zostały również przeprowadzone badania chropowatości obrabianej powierzchni oraz pomiary składowych siły skrawania.

## 2. Oznaczenia

<b>v<sub>c</sub></b>	prędkość skrawania
<b>f</b>	posuw
<b>a<sub>p</sub></b>	głębokość skrawania
<b>F<sub>x</sub></b>	siła odporowa
<b>F<sub>y</sub></b>	siła posuwowa
<b>F<sub>z</sub></b>	siła obwodowa
<b>F</b>	siła skrawania
<b>R<sub>a</sub></b>	chropowatość powierzchni
<b>R<sub>z</sub></b>	wysokość chropowatości
<b>GPP</b>	główna powierzchnia przyłożenia
<b>PPP</b>	pomocnicza powierzchnia przyłożenia
<b>VB</b>	zużycie narzędzia
<b>VBgpp</b>	zużycie głównej powierzchni przyłożenia
<b>VBppp</b>	zużycie pomocniczej powierzchni przyłożenia

## 3. Materiały oraz metodyka badań

### 3.1. Polimerobeton

Materiałem użytym do badań był polimerobeton oferowany przez firmę RAMPF, dostępny na rynku pod nazwą EPUCRET 140/5 [5]. Jest to materiał stosowany do odlewania małych części maszyn tj. prowadnice, stoły czy łoża, o masie nieprzekraczającej 500 kg. W jego skład wchodzi kruszywo o rozmiarze od kilku mikrometrów do 5mm. W celu przygotowania próbek w pierwszej kolejności dodano do siebie odpowiednie udziały masowe utwardzacza oraz żywicy epoksydowej i dokładnie wymieszano, aż do uzyskania jednolitej konsystencji. Następnie dodano odpowiedni udział masy wypełniacza mineralnego i całość ponownie wymieszano, aż do uzyskania jednolitego wyglądu kompozycji. Tak przygotowaną mieszaninę zalano formę dbając o odpowiednie zagęszczenie wsadu celem uniknięcia powstania wewnątrz próbek pęcherzyków powietrza. Następnie próbka zastygała w formie przez 24h, nabierając przy tym 80-90% twardości, a po wyjęciu próbki z formy całość leżakowała jeszcze przez 14 dni nabierając pełnej twardości. Do badań przygotowano szereg walcowych próbek o wymiarach: średnica Ø40 mm oraz wysokość 60 mm. Na rysunku 3 przedstawiono widok próbki przygotowanej do badań, umieszczonej w uchwycie trójściskowym tokarki CNC.



Rysunek 3. Widok zamontowanej próbki odlewu mineralnego

### 3.2. Płytki skrawające

Badania przeprowadzono dla 5 rodzajów płytek skrawających firmy Sandvik:

- WNGA 060408 S01030A 7015 do obróbki materiałów trudnoobrabialnych,
- WNMG 060408 KF 3005 do wykończającej obróbki toczenia żeliwa,
- WNMG 060408 KR 3205 do zgrubnej obróbki toczenia żeliwa,
- WNMG 060408 PM 4225 do obróbki toczenia stali,
- WNMG 060404 WF 2015 do obróbki toczenia stali nierdzewnej.

W tabeli 1 przedstawiono zestawienie parametrów skrawania zalecanych przez producenta dla poszczególnych płytek.

Tabela 1. Zestawienie parametrów skrawania dla poszczególnych płytek

Parametr	WNGA 060408 S01030A 7015	WNMG 060408 KF 3005	WNMG 060408 KR 3205	WNMG 060408 PM 4225	WNMG 060404 WF 2015
Głębokość skrawania $a_p$ [mm]	0,07 ÷ 0,80	0,20 ÷ 2,00	0,24 ÷ 4,50	0,50 ÷ 4,00	0,30 ÷ 2,00
Posuw wzdłużny $f$ [mm/obr]	0,05 ÷ 0,30	0,08 ÷ 0,25	0,17 ÷ 0,42	0,15 ÷ 0,50	0,05 ÷ 0,25
Prędkość skrawania $v_c$ [m/min]	150 ÷ 250	255 ÷ 280	305 ÷ 390	275 ÷ 425	260 ÷ 305

Płytką WNGA 060408 S01030A 7015 jest płytką przeznaczoną do obróbki materiałów trudnoobrabialnych. Płytki do toczenia żeliwa (WNGA 060408 KF 3005 oraz WNMG 060408 KR 3205) zostały wybrane do badań ze względu na swoje lepsze właściwości obróbcze. Żeliwo można traktować jako materiał niejednorodny. Bardzo często w elementach odlewanych z żeliwa, np. korpusach obrabiarek, znajdują się różnego rodzaju pory, wtrącenia itp., które sprawiają, że obróbka takiego elementu jest skomplikowanym procesem. W takim odlewie również mogą znajdować się wtrącenia mineralne tuż pod powierzchnią, pochodzące z procesu odlewniczego np. z form piaskowych. Płytki WNMG 060408 PM 4225 oraz WNMG 060404 WF 2015 zostały wybrane do badań w celu porównania jakości obróbki polimerobetonu przy użyciu płytek przeznaczonych do obróbki tradycyjnych materiałów konstrukcyjnych jakimi są stale.

### 3.3. Metodyka badań

Badania zostały przeprowadzone na tokarce firmy HAAS o numerze katalogowym SL10, która znajduje się na wyposażeniu Instytutu Obrabiarek i Technologii Budowy Maszyn Politechniki Łódzkiej.

Wykonano procesy toczenia wzdłużnego z następującymi parametrami, które wyznaczono podczas badań wstępnych:

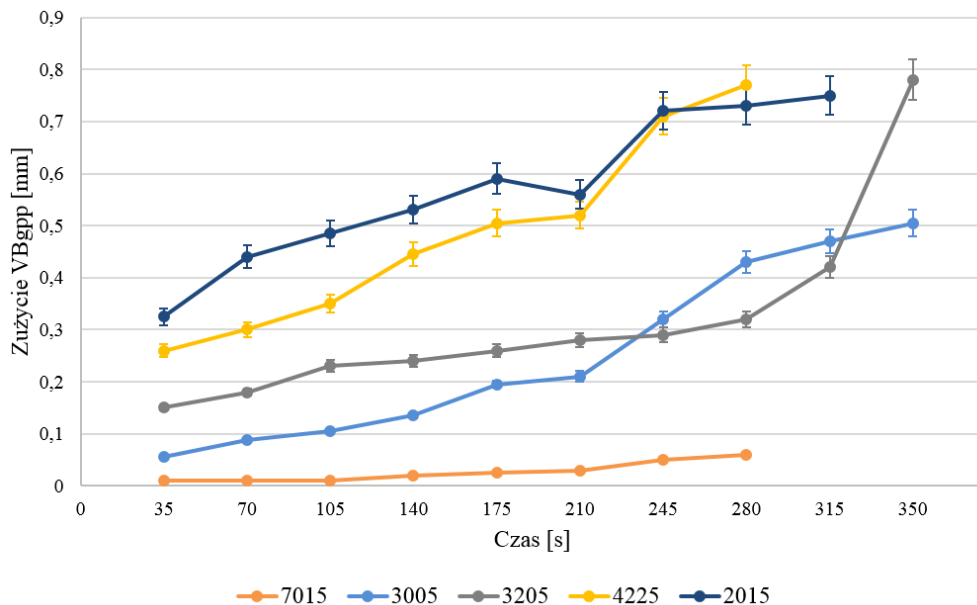
- prędkość skrawania  $v_c = 50$  m/min;
- posuw wzdłużny  $f = 0,2$  mm/obr;
- głębokość skrawania  $a_p = 0,25$  mm.

Podczas procesu skrawania w strefę obróbki podawany był płyn chłodząco – smarujący. Dzięki właściwościom smarnym płyn powodował spadek temperatury obróbki oraz mniejsze zapylenie. Dodatkowo płyn chłodząco-smarujący powodował lepsze odprowadzenie mikrowiórów ze strefy skrawania.

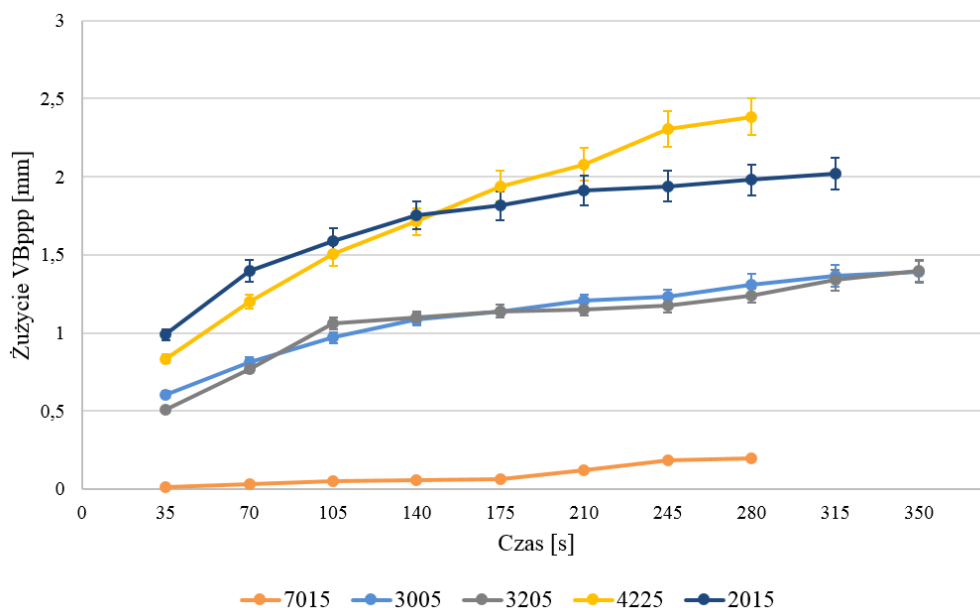
Podczas wykonywania badań dokonywany był zapis składowych siły skrawania w czasie rzeczywistym celem określenia całkowitej siły skrawania. Tor pomiarowy składał się z siłomierza Kistler 9121, wzmacniacza Kistler 5070A oraz rejestratora w postaci karty przetwornika AC dla szyny PCI typ 2855A4 zamontowanej w komputerze klasy PC. Po wykonaniu każdego przejścia obróbczego zostały zmierzone wartości parametrów chropowatość  $R_a$  oraz  $R_z$  obrobionej powierzchni w kierunku prostopadłym do śladów obróbki (zgodnie z normą PN-EN ISO 4287:1999 [12]). Do tego celu został wykorzystany przenośny chropowatościomierz Mitutoyo SJ-210. Zostały również wykonane zdjęcia pod mikroskopem wierzchołów płytek, na podstawie których zmierzono zużycie głównej powierzchni przyłożenia oraz pomocniczej powierzchni przyłożenia po wykonaniu każdego przejścia obróbczego. Dodatkowo zaprezentowano wygląd każdej z płytek po przeprowadzonych badaniach. Każdy z eksperymentów został przeprowadzony 3-krotnie. Wartości średnie oraz ich odchylenia standardowe przedstawione na wykresach prezentują otrzymane wyniki badań dynamiki zużycia płytek skrawających podczas toczenia niejednorodnego materiału na przykładzie polimerobetonu.

#### 4. Wyniki i dyskusja

Podczas skrawania odlewu mineralnego występuje głównie zużycie na pomocniczej powierzchni przyłożenia. Jednakże do oceny wielkości zużycia brano pod uwagę zarówno szerokość zużycia głównej powierzchni przyłożenia  $VB_{gpp}$  (rys. 4), jak i pomocniczej powierzchni przyłożenia  $VB_{ppp}$  (rys. 5). Po każdym przejściu dokonywano pomiaru zużycia poszczególnych płytek. Wyniki tych pomiarów przedstawiono na poniższych rysunkach, dzięki czemu można było przeprowadzić analizę zużycia narzędzi w funkcji czasu.



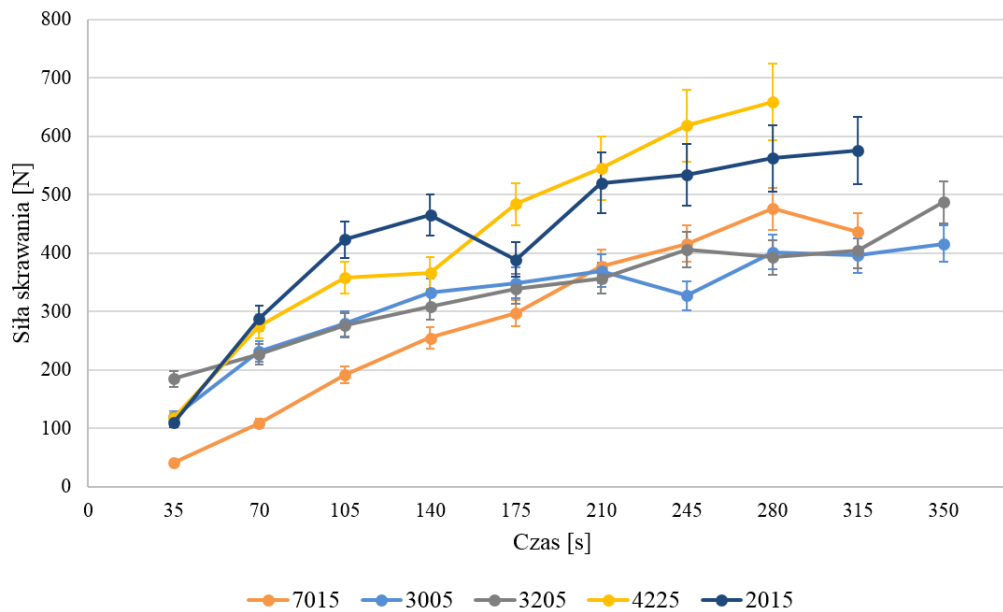
Rysunek 4. Zużycie głównej powierzchni przyłożenia płytek tokarskich w funkcji czasu skrawania



Rysunek 5. Zużycie pomocniczej powierzchni przyłożenia płytek tokarskich w funkcji czasu skrawania

Największe zużycie zaobserwowano dla płytek WNMG 060408 PM 4225 (przeznaczonych do obróbki stali) oraz WNMG 060404 WF 2015 (przeznaczonych do obróbki stali nierdzewnej). Powierzchnie przyłożenia bardzo szybko się zużywały i po 280 sekundach praca tych narzędzi była głośna. Dodatkowo po tym czasie stwierdzono cofnięcie się naroża, czego efektem był spadek rzeczywistej głębokości skrawania, która stanowiła tylko 50% nastawnej głębokości skrawania. Maksymalne zalecane kryterium zużycia narzędzia nie powinno przekroczyć  $VB = 0,3$  mm. Uznano zatem, że przy takiej wartości parametru zużycia VB należy przerwać eksperyment. Można zaobserwować, że powłoka, którą zostały pokryte narzędzia nie była wytrzymała i odporna na ścieranie. Najmniejsze zużycie głównej powierzchni przyłożenia oraz pomocniczej powierzchni przyłożenia uzyskano podczas toczenia narzędziem o oznaczeniu WNGA 060408 S01030A 7015. Przy każdej próbie uzyskiwano niewielkie różnice zużycia (w porównaniu do pozostałych płytek). Niestety naprężenia na powierzchni natarcia narzędzia jakie uzyskano podczas obróbki dawały efekt w postaci zniszczenia narzędzia (wykruszenia naroża), co spowodowało wyeliminowanie płytki z dalszych prób (rysunek 9a).

Podczas każdej próby obróbczej dokonywano pomiaru składowych siły skrawania  $F_x$ ,  $F_y$  oraz  $F_z$  w czasie rzeczywistym. Na tej podstawie wyliczono wartość całkowitej siły skrawania i przedstawiono na rysunku 6 jako wykres zależności wartości średniej siły skrawania uzyskanej podczas 3-krotnego powtórzenia eksperymentu wraz z odchyleniem standardowym w funkcji czasu.

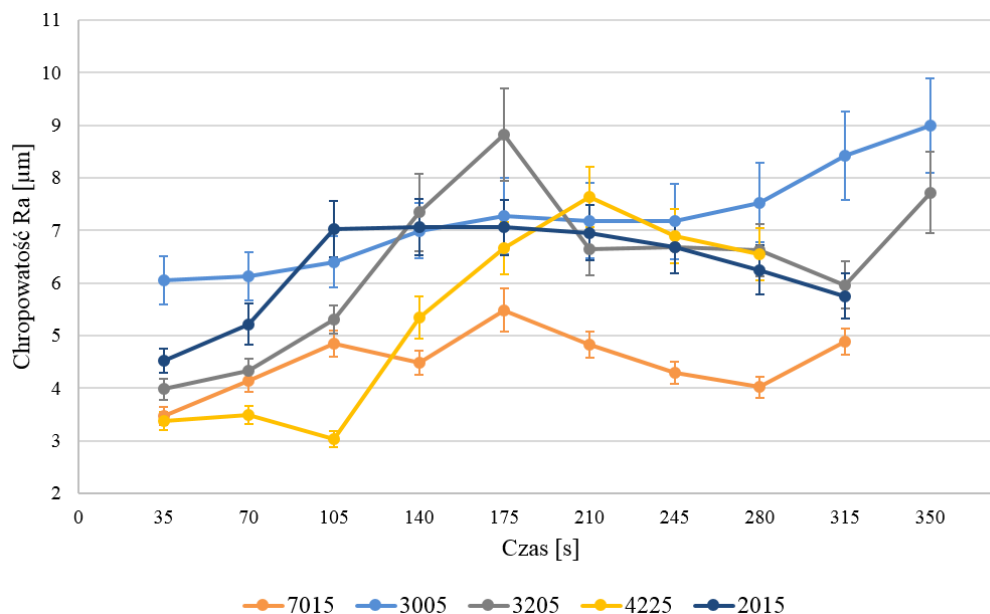


Rysunek 6. Wykres zależności wartości sił skrawania w funkcji czasu

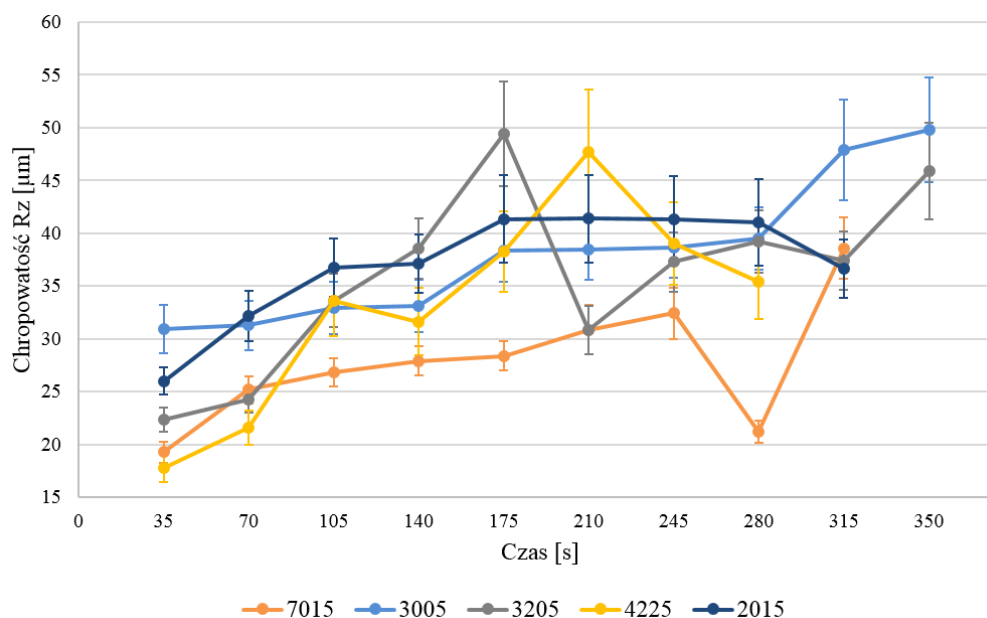
Wartości składowych siły skrawania wpływają w znacznym stopniu na dokładność i jakość powierzchni obrabianej wykonywanych elementów. Duże siły toczenia odlewu mineralnego powodują również szybsze zużycie się narzędzi oraz obrabiarki. Najmniejsze wartości siły otrzymano podczas skrawania płytką o oznaczeniu WNGA 060408 S01030A 7015. Niestety podczas jednego z eksperymentów pomiędzy 280 a 315s płytka uległa zniszczeniu. Dla płytek oznaczonych jako WNMG 060404 WF 2015 oraz WNMG 060408 PM 4225 po 300 sekundach obróbki odlewu mineralnego siły na tyle były wysokie, że podczas pracy obrabiarka wzbudzała się do drgań. Na podstawie przebiegu sił, można zauważyć szybkość zużywania się narzędzi. Małe zużycie płytki WNGA 060408 S01030A 7015 spowodowało, że długo zachowywała ona dobre właściwości skrawne, co przełożyło się na dużo mniejsze siły niż w przypadku pozostałych narzędzi.

Na chropowatość obrabianej powierzchni wpływa wiele czynników. Rodzaj użytego narzędzia, jego geometria, parametry obróbcze oraz rodzaj materiału obrabianego. W tym przypadku niejednorodność materiału polegająca na występowaniu w odlewie mineralnym ziaren kruszyw różnej wielkości powoduje, że uzyskanie powtarzalnego pomiaru na obrabianej powierzchni było skomplikowane. Obrazuje to duży rozrzut wielkości średniej, zaprezentowany za pomocą odchylenia standardowego. Wartości parametrów chropowatości Ra i Rz przedstawiono na rysunkach 7 oraz 8.





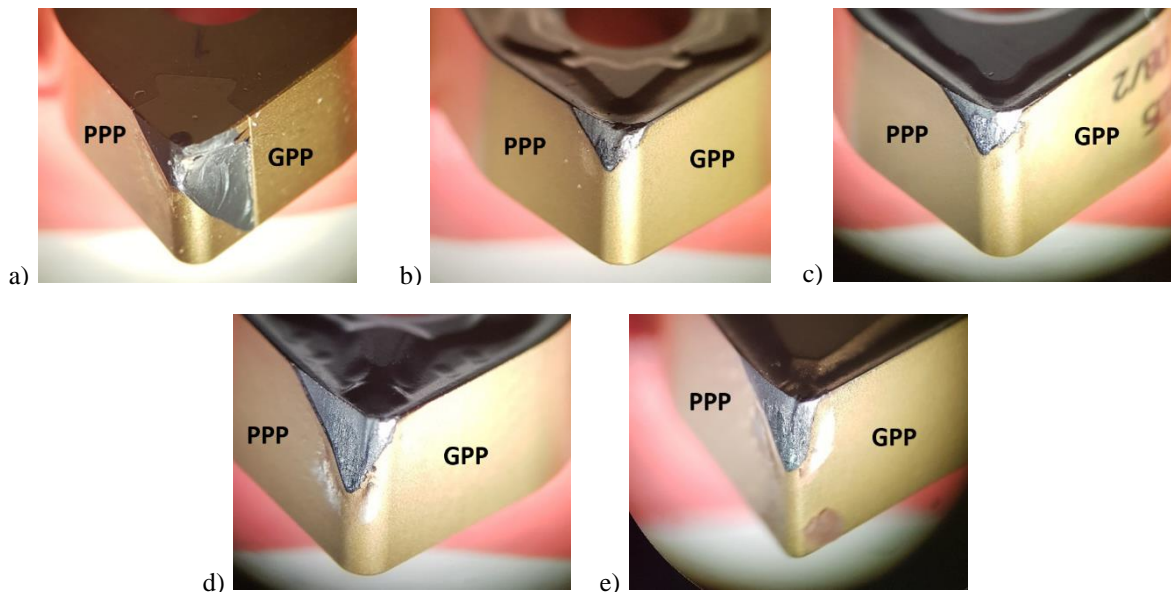
Rysunek 7. Wykres zależności chropowatości powierzchni Ra w funkcji czasu



Rysunek 8. Wykres zależności chropowatości powierzchni Rz w funkcji czasu

Zgodnie z przewidywaniami na podstawie wielkości sił skrawania oraz zużycia narzędzia najlepszą jakość obrobionej powierzchni uzyskano przy zastosowaniu płytki o oznaczeniu WNGA 060408 S01030A 7015. Dla tego narzędzia otrzymano najmniejsze wartości parametru chropowatości Ra i Rz, które były powtarzalne dla każdego z eksperymentów, co prezentuje najmniejsza wartość odchylenia standardowego. Warto zaznaczyć, że w tym przypadku, pomimo zużycia narzędzia wartość chropowatości Ra nieznacznie wzrosła o około 1,5 µm, a chropowatości Rz o około 10 µm w porównaniu z wartościami początkowymi. Dla innych płytek wraz ze wzrostem zużycia narzędzia wzrastała wartość chropowatości powierzchni – dla parametru Ra około trzykrotnie, dla Rz około dwukrotnie. Świadczy to o bardzo szybkim ścieraniu się powierzchni przyłożenia narzędzi. Dlatego też podczas pomiarów chropowatości obrobionej powierzchni uzyskiwano znacznie większy rozrzut mierzonych wartości.

Dodatkowo zostały wykonane zdjęcia pod mikroskopem każdej z płytek po przeprowadzonych badaniach, które zaprezentowano na rysunku 9.



Rysunek 9. Widoki płytek biorących udział w badaniu  
 a) WNGA 060408 S01030A 7015, b) WNMG 060408 KF 3005, c) WNMG 060408 KR 3205  
 d) WNMG 060408 PM 4225, e) WNMG 060404 WF 2015

Na podstawie przeprowadzonych badań można opisać mechanizm zużycia narzędzia w przypadku prowadzenia obróbki skrawaniem materiałów niejednorodnych jakim jest polimerobeton w zakresie warunków skrawania przyjętych podczas testów. Porównując wykresy przebiegu zużycia narzędzia w funkcji czasu dla materiałów izotropowych (rysunek 2) oraz materiałów anizotropowych (rysunek 4 oraz 5) można zauważyć, że brak jest wyraźnego podziału na 3 charakterystyczne fazy ściernego zużycia narzędzia. Można domniemywać, że faza I (docieranie narzędzia) przebiega w czasie od rozpoczęcia procesu obróbkowego i kończy się przed pierwszym punktem pomiarowym (w 35 sekundzie testu), jednakże w celu potwierdzenia tego faktu należałoby przeprowadzić dodatkowe badania w tym przedziale czasowym. Natomiast wraz z biegiem czasu zaciera się wyraźna granica pomiędzy fazą II oraz III, a otrzymane wykresy charakteryzują się względnie liniowymi przebiegami, a co za tym idzie równomiernym przyrostem zużycia narzędzia w czasie obróbki. Nierównomierne, losowe rozłożenie różnej wielkości ziaren (od mikrometrów do milimetrów) w odlewie mineralnym sprawia, że obróbka skrawaniem niejednorodnego materiału jest procesem złożonym i warunki tej obróbki są zmienne w każdej chwili trwania tego procesu. Analizy dotyczące charakteru przebiegu mechanizmu zużycia są więc bardzo utrudnione, a wnioski w tym zakresie uzależnione od rodzaju materiału obrabianego, rodzaju płytki skrawającej oraz parametrów skrawania. Uogólnienia w tym zakresie tematycznym mogłyby być opracowane na podstawie podejścia stochastycznego, jednak wymagałoby to znacznie większej liczby przeprowadzonych testów i pomiarów. Przeprowadzone badania w przedstawionym zakresie mają na celu nakreślenie zarysu mechanizmu zużycia narzędzia skrawającego oraz trendów zmian parametrów wynikowych skrawania (chropowatości powierzchni obrabianej) materiału anizotropowego jakim jest odlew mineralny.

## 5. Podsumowanie

Na podstawie wyników z przeprowadzonych badań można stwierdzić jednoznacznie, że narzędzia przeznaczone do obróbki stali (WNMG 060408 PM 4225) oraz stali nierdzewnej (WNMG 060404 WF 2015) nie powinny być stosowane do toczenia odlewu mineralnego. Podczas użytkowania tych płytek zaobserwowano znaczny wzrost sił skrawania, wzrost wartości parametrów chropowatości  $R_a$  i  $R_z$ , a także przyspieszone zużycie narzędzia.

Ponadto badania wykazały, że spośród analizowanych płytek skrawających najlepsze wyniki uzyskano dla narzędzia o oznaczeniu WNGA 060408 S01030A 7015. W tym przypadku uzyskano najmniejsze wartości chropowatości  $R_a$ , które mieściły się w przedziale od 4 do 5  $\mu\text{m}$ . Przy skrawaniu

pozostałymi narzędziami wartości chropowatości parametru Ra otrzymano w zakresie od 4 do 8  $\mu\text{m}$ . Analizując również wartości zużycia głównej i pomocniczej powierzchni przyłożenia płytki WNGA 060408 S01030A 7015 cechowała się najmniejszymi wartościami zużycia tych powierzchni, które nie przekraczały  $VB = 0,3 \text{ mm}$ . Natomiast w przypadku pozostałych płytek te wartości przekraczały przyjętą granicę zużycia nawet kilkakrotnie.

Wartość sił skrawania jest ważnym wskaźnikiem dynamiki procesu toczenia. W tym przypadku początkowo wartości siły skrawania były najmniejsze dla płytki WNGA 060408 S01030A 7015. Jednakże w drugiej części badań najmniejsze siły skrawania uzyskiwano dla płytek do obróbki żeliwa WNMG 060408 KF 3005 oraz WNMG 060408 KR 3205.

Dokonano porównania mechanizmu zużycia strefy skrawania narzędzia obróbkowego dla materiałów izotropowych oraz polimerobetonu. Różnice w procesie zużycia, które zostały zbadane mają swoje źródło w specyfice materiału kompozytowego oraz we właściwościach poszczególnych składników tego kompozytu. Ze względu na to, że obróbka skrawaniem materiału odlewu mineralnego staje się coraz bardziej powszechna, przeprowadzone badania mogą stać się podstawą do przeprowadzenia procesu doboru właściwych płytek skrawających ze względu na ich trwałość podczas toczenia niejednorodnych materiałów.

Wykonane badania doświadczalne wykazały, że w przypadku toczenia odlewu mineralnego parametrem krytycznym jest trwałość narzędzia. Głównie dotyczy to obrabiarek sterowanych numerycznie. Niezbyt częsta wymiana narzędzi może spowodować duże różnice w kształcie i wymiarach obrabianego detalu. Natomiast częsta wymiana płytek powoduje czasochłonne i kosztowne przestoje produkcyjne.

## Literatura

1. Bruni C., Forcellese A., Gabrielli F., Simoncini M. Effect of lubrication-cooling technique, insert technology and machine bed material on the workpart surface finish and tool wear in finish turning of AISI 420B. *International Journal of Machine Tools & Manufacture* 2006; 46: 1547-1554.
2. Bruni C., Forcellese A., Gabrielli F., Simoncini M. Hard turning of an alloy steel on a machine tool with a polymer concrete bed. *Journal of Materials Processing Technology* 2008; 202: 493-499.
3. Cichosz P. *Narzędzia skrawające*. Warszawa: Wydawnictwa Naukowo-Techniczne, 2007.
4. Cortés F., Castillo G. Comparison between the dynamical properties of polymer concrete and grey cast iron for machine tool applications. *Materials and Design* 2007; 28: 1461-1466.
5. Dane techniczne materiału odlewu mineralnego EPUMENT 140-5 GB ([http://website.epucet.de/uploads/media/EPUMENT\\_140-5\\_GB.pdf](http://website.epucet.de/uploads/media/EPUMENT_140-5_GB.pdf))
6. Erbe T., Król J., Theska R. Mineral casting as material for machine base-frames of precision machines. Twenty-third Annual Meeting of the American Society for Precision Engineering and Twelfth ICPE, October 2008, Portland, Oregon.
7. Haddad H., Al Kobaisi M. Optimization of the polymer concrete used for manufacturing bases for precision tool machines. *Composites: Part B* 2012; 43: 3061-3068.
8. Instrukcja laboratoryjna do ćwiczenia OU-5 „Zużycie narzędzi skrawających” – Instytut Obrabiarek i Technologii Budowy Maszyn, Wydział Mechaniczny Politechniki Łódzkiej (<http://ioitbm.p.lodz.pl/labs/tw/OU-5.pdf>).
9. Jaworski J., Kluz R., Trzepieciński T. Operational tests of wear dynamics of drills made of low-alloy high-speed HS2-5-1 steel. *Eksploatacja i Niezawodność – Maintenance and Reliability* 2016; 18 (2): 271–277.

10. Kuczmaszewski J., Pieško P. Wear of milling cutters resulting from high silicon aluminium alloy cast AlSi21CuNi machining. *Eksploatacja i Niezawodność – Maintenance and Reliability* 2014; 16 (1): 37–41.
11. Niaki M. R., Fereidon A., Ahangari M. G. Mechanical properties of epoxy/basalt polymer concrete: Experimental and analytical study. *Structural Concrete* 2017: 1-8.
12. Polska norma PN-EN ISO 4287:1999 – Struktura geometryczna powierzchni: metoda profilowa.
13. Vrtanoski G., Dukovski V. Design of polymer concrete main spindle housing for CNC lathe. *13th International Scientific Conference on Achievements in Mechanical and Materials Engineering* 2005.