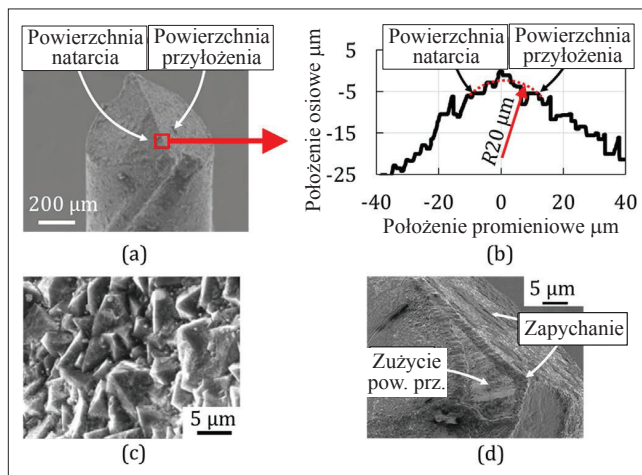


## Ocena zapychania wiertel diamentowych metodami uczenia nadzorowanego z wykorzystaniem obrazów powierzchni narzędzia

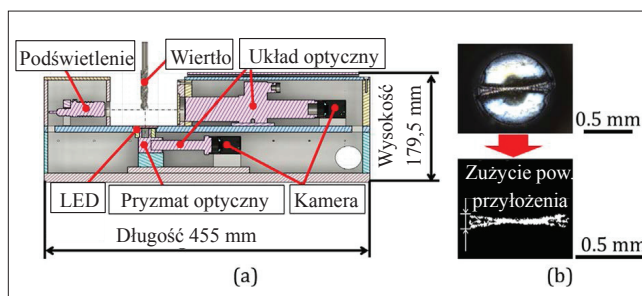
Zapychanie dna wiertel diamentowych stosowanych do obróbki ceramiki zwiększa opory skrawania i może prowadzić do złamania narzędzia. Dotychczas ocena stopnia zapychania była wykonywana wzrokowo przez doświadczonych technologów. Autorzy pracy proponują metodę, która odtwarza tę ekspercką ocenę poprzez analizę obrazów powierzchni narzędzia i klasyfikację opartą na uczeniu nadzorowanym.

W obróbce ceramiki usuwanie materiału odbywa się przez działanie ziaren diamentowych, a powstające drobne wióry mają tendencję do gromadzenia się na dnie wiertła. Przykładowe obrazy narzędzi oraz charakterystyczne formy zużycia i zapychania przedstawiono na rys. 1. Aby umożliwić rejestrację obrazów bezpośrednio na obrabiarce, opracowano kompaktowy układ optyczny do obserwacji powierzchni bocznej i dna wiertła, zapewniający stabilne warunki oświetlenia (rys. 2).

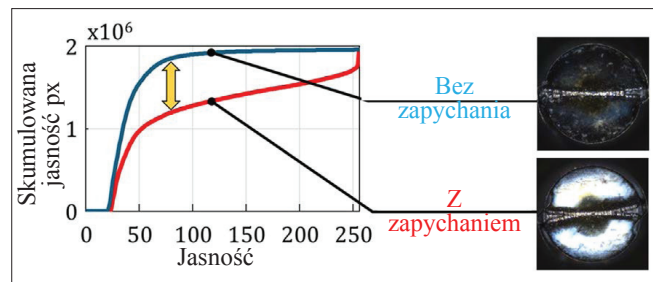
Na podstawie uzyskanych obrazów przygotowano procedurę separacji obszarów zużycia i zapychania, wykorzystując różnice w zmienności jasności.



Rys. 1. Obrazy wiertel diamentowych oraz przykłady zużycia i zapychania: (a) Zdjęcie mikroskopowe w skaningowym mikroskopie elektronowym (SEM) wiertła pokrytego diamentem, (b) Przekrój poprzeczny grzbietu dolnej krawędzi tnącej, (c) Częsteczki diamentu na powierzchni wiertła, (d) Zużyte wiertło z zanieczyszczeniami i śladami zużycia na bokach



Rys. 2. Układ do rejestracji obrazów wiertła na obrabiarce



Rys. 3. Różnice w skumulowanej funkcji rozkładu jasności (CDFL) dla małego i dużego zapychania

Obszary zużycia, charakteryzujące się wyraźnymi liniami ściernymi, identyfikowano filtracją górnoprzestwową, a następnie usuwano je z obrazu, co pozwalało na izolację właściwych stref zapychania. Ponieważ sama powierzchnia zapchana nie zawsze jednoznacznie określa stopień zagrożenia, zastosowano uczenie nadzorowane z wykorzystaniem ocen ekspertów jako danych uczących.

Analizowano trzy typy cech obrazu: histogram zorientowanych gradientów (HoG), skalę punktów charakterystycznych SIFT oraz skumulowaną funkcję rozkładu jasności (CDFL). Szczególnie przydatna okazała się CDFL, która dobrze odzwierciedla różnice między obszarami o niskiej i wysokiej jasności, typowymi odpowiednio dla powierzchni niezatkanych i zatknięch (rys. 3). Wykazano, że cechy HoG i CDFL zapewniają stabilną zależność od stopnia zapychania, co umożliwia budowę odpornego klasyfikatora SVM z jądrem liniowym. Uzyskano wysoką zgodność z ocenami ekspertów, a metoda okazała się odporna na wpływ zużycia powierzchni przyłożenia.

Opracowane podejście pozwala na cyfryzację oceny zapychania, dotychczas wykonywanej wyłącznie wzrokowo, i stanowi krok w kierunku pełnej automatyzacji monitorowania stanu narzędzi w obróbce ceramiki.

### LITERATURA

T. Furuki et al., Robust estimation of chip clogging with supervised learning using tool surface image, *CIRP Annals - Manufacturing Technology* 74 (2025) 453-457, <https://doi.org/10.1016/j.cirp.2025.04.039>