

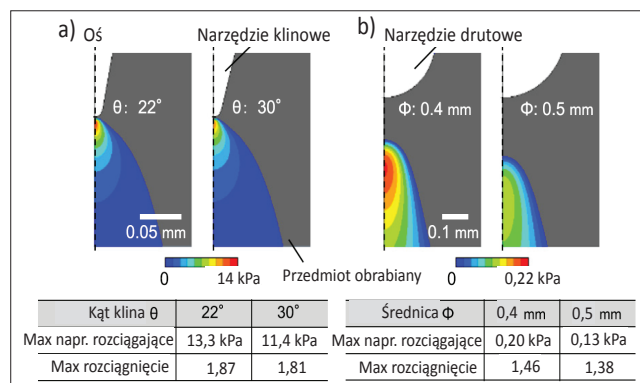
Skrawanie silnie odkształcalnych materiałów miękkich – wpływ odkształcalności materiału i geometrii narzędzia

Hydrożele o dużej wytrzymałości i bardzo małej sztywności znajdują zastosowanie m.in. w biomedycynie, jednak ich obróbka jest trudna ze względu na bardzo duże odkształcenia poprzedzające inicjację pęknięcia. Autorzy analizowali mechanizm skrawania hydrożelu oraz wpływ geometrii narzędzia na ograniczenie tych odkształceń.

Badania doświadczalne przeprowadzono na stanowisku umożliwiającym zagłębianie narzędzia w materiał ze stałą prędkością 300 $\mu\text{m/s}$ i pomiar siły skrawania (rys. 1). Zastosowano narzędzie klinowe i drutowe, a wyniki dla hydrożelu porównano z uzyskanymi dla gumy.

W przypadku gumy wzrost siły podczas zagłębiania narzędzia kończy się gwałtownym spadkiem, związanym z inicjacją pęknięcia, po czym następuje jego propagacja (rys. 2a). Dla hydrożelu, niezależnie od zastosowania narzędzia klinowego czy drutowego, obserwuje się natomiast dwa spadki siły (rys. 2b, c). Pierwszy odpowiada inicjacji pęknięcia wewnątrz materiału, kilka milimetrów pod powierzchnią, drugi zaś jego dotarciu do powierzchni. Przy tym samym narzędziu klinowym pęknięcie w gumie powstaje przy zagłębieniu ok. 0,8 mm, podczas gdy w hydrożelu dopiero po ok. 8 mm, co wynika z bardzo dużej odkształcalności hydrożelu.

Symulacje numeryczne wykazały, że pęknięcie inicjuje się w miejscu występowania maksymalnego naprężenia rozciągającego wewnątrz materiału, a nie



Rys. 3. Naprężenie rozciągające i rozciąganie powierzchniowe dla: (a) narzędzia klinowego, (b) narzędzia drutowego

bezpośrednio przy jego powierzchni. Naprężenie to jest związane z rozciąganiem powierzchni materiału wzdłuż narzędzia. Analiza różnych geometrii wykazała, że mniejszy kąt klina oraz mniejsza średnica drutu zwiększają rozciąganie powierzchni, a tym samym naprężenie rozciągające sprzyjające wcześniejszej inicjacji pęknięcia (rys. 3). W przypadku hydrożelu, wymagającego głębokiego zagłębienia narzędzia, znaczenie ma jednak nie tylko geometria jego ostrza, lecz także kształt całego narzędzia. Przy większym zagłębieniu powierzchnia materiału owija się wokół górnej części drutu, powodując dodatkowe rozciąganie i wzrost naprężenia.

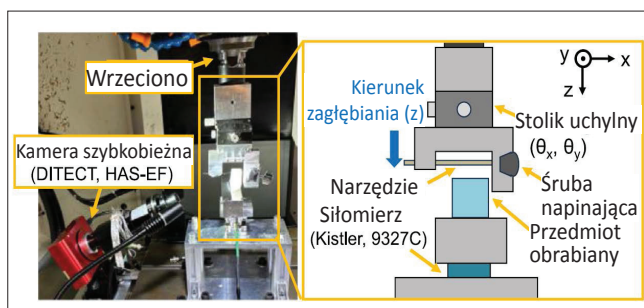
W celu ograniczenia odkształceń poprzedzających skrawanie zaproponowano rozwiązanie hybrydowe: w górnej części klina wykonano podłużne wycięcie zakończone półokrągło. Dolna, klinowa część o małym kącie zwiększa rozciąganie powierzchni, natomiast górna, zaokrąglona część umożliwia owijanie się materiału wokół narzędzia. Rozwiązanie to łączy korzystne właściwości obu geometrii, bez problemu nadmiernego ugięcia cienkiego drutu.

LITERATURA

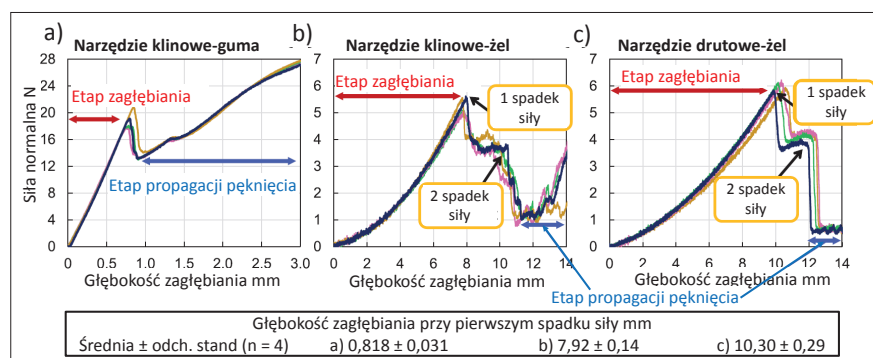
Satake U. et al., Cutting of highly deformable soft materials: Role of material deformability and tool geometry, CIRP Annals – Manufacturing Technology 75 (2026) 125–129, <https://doi.org/10.1016/j.cirp.2026.04.064>

Opracował:

prof. dr hab. Krzysztof Jemielniak



Rys. 1. Schemat stanowiska doświadczalnego



Rys. 2. Przebieg siły normalnej w funkcji zagłębienia narzędzia dla: (a) gumy skrawanej narzędziem klinowym, (b) hydrożelu skrawanego narzędziem klinowym, (c) hydrożelu skrawanego narzędziem drutowym