

Konrad KOWALIK¹, Barbara SYKUT¹, Marek OPIELAK¹, Wojciech MICHAŁEK¹, Andrzej TOMPOROWSKI²

e-mail: k.kowalik@pollub.pl

¹ Zakład Inżynierii Procesowej, Bezpieczeństwa i Ekologii, Instytut Transportu, Silników Spalinowych i Ekologii, Wydział Mechaniczny, Politechnika Lubelska, Lublin² Zakład Systemów Technicznych i Ochrony Środowiska, Instytut Technik Wytwarzania, Wydział Inżynierii Mechanicznej, Uniwersytet Technologiczno-Przyrodniczy, Bydgoszcz

Cięcie serów nożem z powłoką TiN

Wstęp

W przetwórstwie rolno-spożywczym jedną z najczęściej wykonywanych operacji jest cięcie należące do grupy procesów rozdrabniania. Celem cięcia jest uzyskanie produktów o określonym wymiarze i kształcie podyktowanym względami organoleptycznymi i technologicznymi. Procesy cięcia charakteryzują się dużą energochłonnością, na którą wpływ ma wiele czynników m.in. właściwości ciętych materiałów, geometria narzędzia, parametry eksploatacyjne procesu czy tarcie występujące pomiędzy narzędziem a obrabianym materiałem.

Sery są produktami spożywczymi, których cięcie jest procesem wysoce energochłonnym m.in. z powodu dużego tarcia występującego między narzędziem a materiałem. Sery dostarczane są do konsumentów głównie w postaci plastrów, wiórów lub kostek. Ze względu na zawartość tłuszczu w suchej masie sery żółte dzieli się na: śmietankowe (około 50%), pełnotłuste (nie mniej niż 45%), tłuste (40%), półtłuste (nie mniej niż 20%) i chude (mniej niż 10%) [Górska, 2010].

Liczna literatura z zakresu cięcia materiałów spożywczych w tym serów świadczy o ciągłej potrzebie prowadzenia badań nad zmniejszeniem energochłonności tego procesu.

Jedną z metod prowadzących do tego celu jest cięcie drutem. Badania tego sposobu cięcia różnych gatunków serów z różną prędkością cięcia wykazały wzrost energochłonności procesu oraz pogorszenie jakości uzyskanej powierzchni wraz ze wzrostem średnicy narzędzia [Kamyab i in., 1998; Goh i in., 2005].

Badano również cięcie nożem przemieszczającym się jednocześnie prostopadle i równoległe do krawędzi tnącej narzędzia, co powodowało zmniejszenie sił cięcia w porównaniu do cięcia normalnego [Atkins i in., 2004]. Korzystne efekty z punktu widzenia zmniejszenia oporów cięcia serów uzyskano również podczas cięcia pionowego z jednoczesnym poprzecznym ruchem narzędzia z różnymi amplitudami drgań o częstotliwości 40 kHz (cięcie ultrasoniczne) [Arnold i in., 2009].

Zmniejszenie energochłonności procesu cięcia uzyskuje się także przez podwyższenie temperatury narzędzia tnącego lub zmianę temperatury, w której proces jest realizowany. Przeprowadzono także badania cięcia sera o temperaturach -5°C, 5°C i 15°C. Stwierdzono, że wraz ze wzrostem temperatury ciętego materiału następowało zmniejszenie siły cięcia [Brown i in., 2005].

Celem pracy było badanie energochłonności jednostkowej procesu cięcia serów żółtych nożem z powłoką TiN.

Metodyka badań

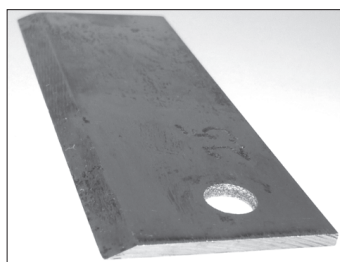
Badania prowadzono w Zakładzie Inżynierii Procesowej, Bezpieczeństwa i Ekologii Wydziału Mechanicznego Politechniki Lubelskiej wykorzystując stanowisko badawcze pn. *Stanowisko do badania oporów cięcia* (Rys. 1) chronione prawem ochronnym na wzór użytkowy.

Do badań wybrano 5 gatunków sera, po jednym z każdej grupy, przyjmując podział na grupy ze względu na zawartość tłuszczu w suchej masie: Hollender 17% – SM Spomlek, Podlaski 26% – Warmia, Salami 40% – SM Mlekovita, Podlaski 45% – OSM Włoszczowa, Śmietankowy 50% – OSM Sierpc.

Z serów wycinano próbki prostopadłościennie o wymiarach 50×20×20 mm, z których podczas badań odcinano górną warstwę o grubości 5 mm. Cięcie realizowano nożami płaskimi o grubości 1,5 mm i kącie ostrza 25° (Rys. 2).



Rys. 1. Widok ogólny stanowiska badawczego



Rys. 2. Kształt noża wykorzystywanego do badań

Jeden z noży pokryty powłoką TiN (azotek tytanu) charakteryzującą się małym współczynnikiem tarcia o metal, drugi zaś – do którego odnoszono wyniki badań wykonano ze stali narzędziowej NC6 przeznaczonej do pracy na zimno.

Cięcie realizowano z prędkościami od 50 do 400 mm·s⁻¹. Układ pomiarowy stanowiska pozwalał na rejestrację wartości sił cięcia z zadaną częstotliwością próbkowania. Na podstawie zapisanego przebiegu siły wyznaczano wartość siły cięcia z zależności:

$$L = \int_s F ds = \sum_i F_i \Delta s \quad [\text{J}] \quad (1)$$

gdzie:

$\sum_i F_i$ – suma zarejestrowanych sił podczas przecinania próbki, [N]
 Δs – drogą jaką pokonuje próbka pomiędzy kolejnymi zarejestrowanymi wartościami siły w przebiegu czasowym, [m].

Energochłonność jednostkową procesu cięcia definiowaną jako pracę potrzebną do przecięcia jednostki pola powierzchni materiału obliczano się z zależności:

$$e_j = \frac{L}{A} \quad [\text{J} \cdot \text{m}^{-2}] \quad (2)$$

gdzie:

L – praca cięcia, [J]

A – pole powierzchni przeciętej próbki, [m²].

Wartość różnic energochłonności procesu cięcia nożem z powłoką TiN oraz nożem ze stali NC6 obliczano z zależności:

$$r = \frac{e_{j(\text{NC6})} - e_{j(\text{TiN})}}{e_{j(\text{NC6})}} \cdot 100 \quad [\%] \quad (3)$$

gdzie:

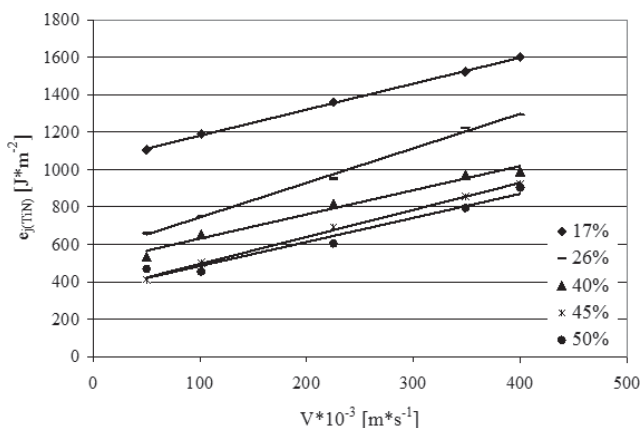
$e_{j(\text{NC6})}$ – energochłonność jednostkowa procesu cięcia nożem ze stali NC6, [J·m⁻²]

$e_{j(TiN)}$ – energochłonność jednostkowa procesu cięcia nożem z powłoką TiN, [$J \cdot m^{-2}$].

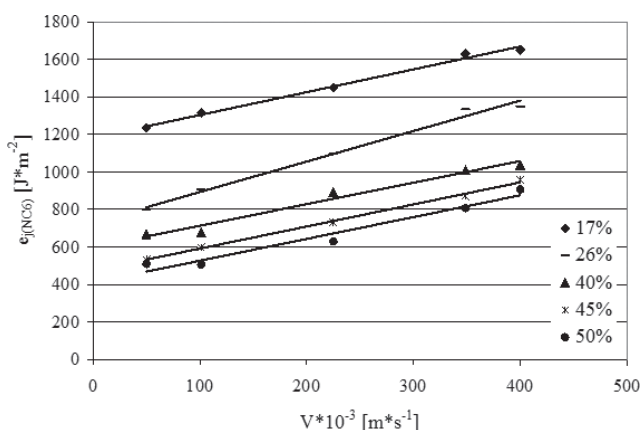
Pole powierzchni przeciętych próbek mierzono wykorzystując stanowisko do komputerowej analizy obrazu.

Wyniki badań

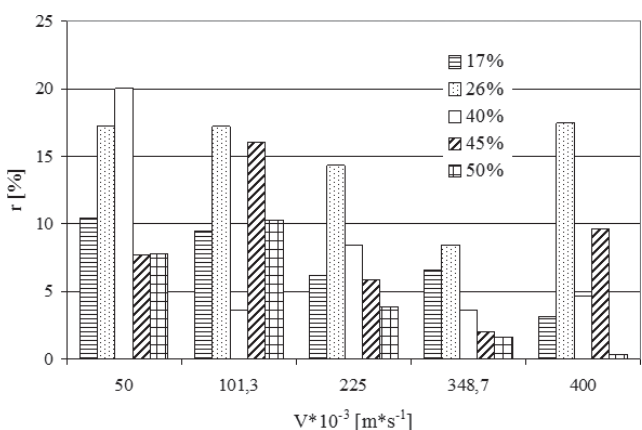
Wyniki badań zaprezentowano na rys. 3÷5, a w tab. 1 podano dane analizy regresji.



Rys. 3. Wpływ prędkości cięcia na energochłonność jednostkową procesu dla serów ciętych nożem z powłoką TiN



Rys. 4. Wpływ prędkości cięcia na energochłonność jednostkową procesu dla serów ciętych nożem bez powłoki



Rys. 5. Wartości różnic energochłonności jednostkowej procesu cięcia serów, wynikające z zastosowania różnych narzędzi

Rys. 3 przedstawia wyniki badań energochłonności jednostkowej procesu cięcia serów nożem z powłoką TiN dla wszystkich przyjętych prędkości.

Wzrost prędkości powodował wzrost energochłonności jednostkowej procesu dla wszystkich ciętych serów. Zmiany te miały charakter li-

niowy. Zauważyć można również różnice w energochłonności procesu podczas cięcia serów o różnej zawartości tłuszczu w suchej masie. Im wyższa była zawartość tłuszczu w suchej masie tym mniejszą energochłonnością charakteryzował się proces.

Na rys. 4 przedstawiono wyniki badań energochłonności procesu cięcia serów nożem ze stali NC6.

Zaobserwowane zmiany i zależności zbliżone są do tych, które występowały podczas cięcia serów nożem z powłoką TiN. W tym przypadku jednak uzyskiwano większą wartość energochłonności jednostkowej procesu.

Wyniki badań poddano analizie regresji, której rezultaty przedstawiono w tab. 1. Zależności przedstawione graficznie na rys. 3 i 4 opisano równaniami podając także współczynnik determinacji R^2 .

Tab. 1. Wyniki analizy regresji

Lp.	Zawartość tł. w s.m., %	Nóż	Równanie regresji	R^2
1	17	TiN	$e_j = 1,3882V + 1042,3$	0,99
2		NC6	$e_j = 1,2165V + 1181,6$	0,99
3	26	TiN	$e_j = 1,8435V + 559,98$	0,99
4		NC6	$e_j = 1,6265V + 729,7$	0,98
5	40	TiN	$e_j = 1,2927V + 501,63$	0,97
6		NC6	$e_j = 1,1466V + 598,39$	0,97
7	45	TiN	$e_j = 1,3272V + 389,6$	0,99
8		NC6	$e_j = 1,178V + 472,96$	0,99
9	50	TiN	$e_j = 1,2851V + 355,8$	0,96
10		NC6	$e_j = 1,1627V + 409,8$	0,96

Korzystając z zależności (3) obliczono różnice wynikające ze stosowania różnych narzędzi. Wartości tych różnic przedstawiono na rys. 5. We wszystkich przypadkach uzyskano wartości dodatnie co oznacza, że cięcie nożem z powłoką TiN charakteryzuje się mniejszą energochłonnością jednostkową.

Wnioski

Zastosowanie na narzędziu tnącym sery powłoki TiN spowodowało zmniejszenie energochłonności jednostkowej procesu dla wszystkich ciętych gatunków.

Zmniejszenie wartości energochłonności jednostkowej procesu wynikające z zastosowania narzędzia pokrytego TiN wynosiło 0,3÷20%.

Zarówno dla noża pokrytego powłoką TiN jak i dla noża bez powłoki uzyskiwano mniejsze wartości energochłonności jednostkowej procesu dla serów o większej zawartości tłuszczu w suchej masie.

Zwiększanie prędkości cięcia powodowało wzrost energochłonności jednostkowej procesu dla wszystkich stosowanych narzędzi oraz ciętych materiałów. Charakter tych zmian był liniowy.

LITERATURA

Arnold G., Leiteritz L., Zahn S., Rohm H., 2009. Ultrasonic cutting of cheese: Composition affects cutting work reduction and energy demand. *Int. Dairy Journal* **19**, nr 5, 314-320. DOI: 10.1016/j.idairyj.2008.11.007

Atkins A. G., Xu X., Jeronimidis G., 2004. Cutting, by 'pressing and slicing', of thin floppy slices of materials illustrated by experiments on cheddar cheese and salami. *J. Mat. Science* **39**, nr 8, 2761-2766. DOI: 10.1023/B:JMSE.0000021451.17182.86

Brown T., James S. J., Purnell G. L., 2005. Cutting forces in foods: experimental measurements. *Journal of Food Engineering* **70**, nr 2, 165-170. DOI: 10.1016/j.jfoodeng.2004.09.022

Goh S. M., Charalambides M. N., Williams J. G., 2005. On the mechanics of wire cutting of cheese. *Engineering Fracture Mechanics* **72**, nr 6, 931-946. DOI: 10.1016/j.engfracmech.2004.07.015

Górska J., 2010. Co to jest ser? *Forum mleczarskie.Raporty*, 2 (01.2013): <http://www.forummleczarskie.pl/RAPORTY/093/3/ser-podzial-rodzaje/>

Kamyab I., Chakrabarti S., Williams J. G., 1998. Cutting cheese with wire. *Journal of Materials Science* **33**, nr 11, 2763-2770