

## ANALIZA WŁAŚCIWOŚCI WARSTWY WIERZCHNIEJ NOŻY KUTRÓW MISOWYCH DO ROZDRABNIANIA MIĘSA W ASPEKCIE ZUŻYWANIA UBYTKOWEGO

*Jan Zwolak*

*Katedra Mechaniki Konstrukcji i Technologii Maszyn, Uniwersytet Rzeszowski*

*Stanisław J. Skrzypek, Janusz Krawczyk*

*Katedra Metaloznawstwa i Metalurgii Proszków, Akademia Górniczo-Hutnicza w Krakowie*

**Streszczenie.** W pracy przedstawiono zagadnienia dotyczące charakterystyki warstwy wierzchniej noży kutra CutMaster 200 w aspekcie ich zużycia ubytkowego. Noże zostały wykonane ze stali nierdzewnej martenzytycznej o symbolu X70CrMoNbV15-2. Charakterystykę warstwy wierzchniej określono, stosując metody badań metalograficznych i rentgenowskie badania strukturalne. Metoda badań rentgenowskich jest metodą nieniszczącą, stąd też może być stosowana w diagnostyce elementów maszyn i narzędzi roboczych, narażonych na zużycie ściernie i pękanie rozdzielcze.

**Słowa kluczowe:** kuter, głowica nożowa, noże robocze, warstwa wierzchnia, zużycie ubytkowe, charakterystyki materiałowe

### Wstęp

Kutrowanie polega na rozdrabnianiu oraz wymieszaniu mięsa z przyprawami i substancjami pomocniczymi, a produktem końcowym jest farsz (Fabian, 2010; Dolata, 2001). Proces rozdrabniania mięsa w kucie misowym odbywa się w jego układzie roboczym przy względnym ruchu trzech elementów roboczych. Elementami tymi są: misa wykonująca ruch obrotowy wokół osi pionowej, masa rozdrabniana w postaci mięsa wypełniająca wnętrze misy oraz głowica nożowa złożona z kilku noży (ilość noży w głowicy może wynosić od 3 do 10) wykonująca ruch obrotowy wokół osi poziomej. Pojemność misy budowanych współcześnie kutrów przemysłowych wynosi od 200 do 750 litrów. Mięso rozdrabniane może być w postaci miękkiej lub też mrożonej. Od stopnia zmrózenia uzależnione są opory rozdrabniania oraz funkcjonalność eksploatacyjna noży. Na funkcjonalność noży oraz na przebieg procesu rozdrabniania wpływają przede wszystkim ich czynniki konstrukcyjne,

materiałowe i technologiczne, a także właściwości fizyko-chemiczne rozdrabnianego mięsa.

Dwa podstawowe problemy technologiczne związane z procesem kutrowania to: przechodzenie produktów zużycia noży i obudowy do rozdrabnianego surowca oraz wzrost temperatury surowca podczas procesu kutrowania. Problem wzrostu temperatury podczas kutrowania opisany jest w wielu opracowaniach naukowych (Fabian, 2010; Dolata, 2001; Vodyanova i in., 2012). Zużycie ścierny noży i innych elementów roboczych stanowi główne źródło migracji cząstek metalu do farszu mięsnego. Badania eksperymentalne i opracowania naukowe, charakteryzujące te zagadnienia, przyczyniają się do poprawy jakości przetwarzanej żywności.

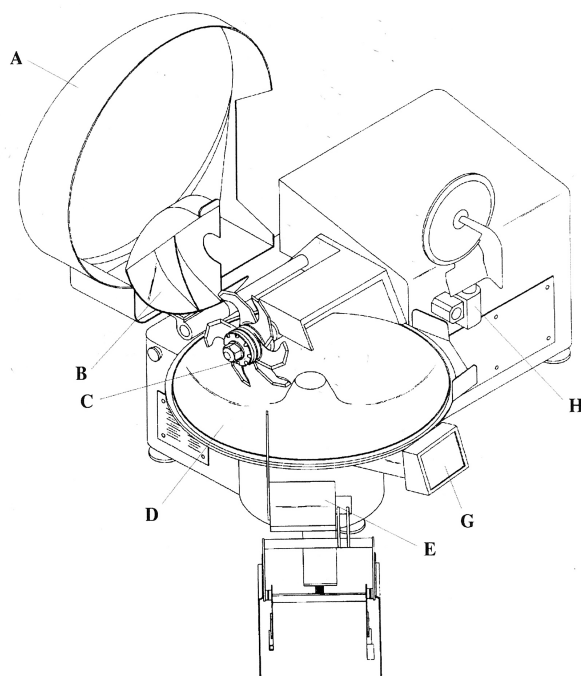
Wśród czynników konstrukcyjnych, w największym stopniu wpływających na trwałość noży i na jakość rozdrabnianego mięsa, jest kształt głównej krawędzi tnącej noży. Krawędź ta najczęściej jest krzywoliniowa, ale stosowane są też noże z krawędzią tnącą, składającą się z kilku odcinków prostych tworzących linię łamaną. Niezależnie od kształtu krawędzi tnącej noża, najbardziej intensywne zużywanie zachodzi w jego końcowej części, gdyż tu, z racji największego promienia obrotu względem osi główicy, pojawia się największa prędkość liniowa oraz największy moment obciążający.

Przyjęty gatunek materiału, z którego mają być wykonane noże, oraz zastosowana technologia ich wykonania, a szczególnie technologia obróbki cieplnej, w największym stopniu wpływają na stan konstytuowanej warstwy wierzchniej, która ma istotny wpływ na trwałość noży, co wiąże się ściśle z intensywnością zużywania ściernego, jak również zużywania ostrzy noży poprzez wykruszenia. Każdy rodzaj zużywania ubytkowego jest procesem niepożądanym z racji tej, że efekty zużycia w postaci mikro-, a nawet i makrocząstek metalu migrują do farszu mięsnego. Największe znaczenie w ograniczeniu do minimum zużywania ubytkowego mają czynniki materiałowe i technologiczne w procesie wytwarzania noży.

Stąd analiza i określenie właściwości warstwy wierzchniej noży oryginalnych stają się niezbędne w celu minimalizowania migracji cząstek metalu do przetwarzanego mięsa. Umożliwi to ustalenie właściwego doboru materiału i właściwej technologii obróbki cieplnej, co łącznie pozwoli uzyskać odpowiednio wysokie parametry stanu warstwy wierzchniej noży w procesie ich wytwarzania; będą one mogły zastąpić już zużyte noże oryginalne.

## **Noże kutrów misowych jako przedmiot badań**

Przedmiotem badań są noże kutra przemysłowego CutMaster 200, które tworzą główlicę nożową. Widok ogólny kutra misowego z główlicą sześcionożową przedstawiono na rysunku 1.



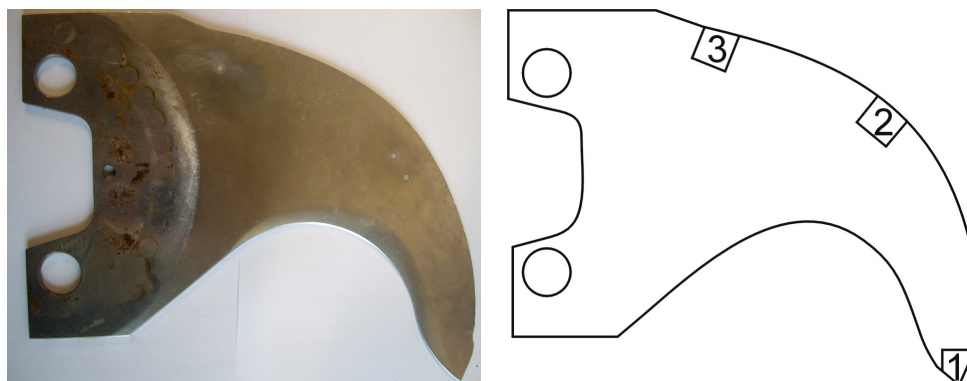
Rysunek 1. Widok ogólny kutra CutMaster 200: A – pokrywa misy, B – pokrywa noży, C – głowica nożowa, D – misa kutra, E – urządzenie załadowcze, G – pulpit sterujący, H – wyrzutnik

Figure 1. General view of CutMaster 200 cutter: A – bowl cover, B – knife cover, C – knife head, D – bowl cutter, E – charging equipment, G – control panel, H – ejector

Źródło: Katalog firmowy CutMaster

### Badania warstwy wierzchniej i mikrostruktury noży

Do badań strukturalnych i wybranych właściwości mechanicznych wybrano jeden z sześciu noży głowicy kutra misowego (rys. 2). Wszystkie noże były w ostatnim dopuszczalnym stadium zużycia ubytkowego. Całkowita różnica masy noża pomiędzy nowym i zużytym (badanym) wynosiła ok. 200 g. Badane noże były płaskie i wykonane z blachy walcowanej na gorąco o grubości 8 mm, wyżarzanej zmiękczająco przy temp. 750° C w czasie 3 godz. Po laserowym wycięciu odpowiedniego kształtu wykonano frezowanie wg szablonu, które nadało odpowiedni, całościowy profil noża. Następnie w operacji szlifowania wstępnego ukształtowano końcową postać noża przedstawioną na rysunku 2, zostawiając naddatek pod szlifowanie ostateczne.



Rysunek 2. Kształt badanego noża z oznaczonymi punktami pomiarowymi  
 Figure 2. The shape of the tested knife with marked measurement points

Źródło: Szelağ i in., (2011)

Następnymi operacjami była obróbka cieplna. Obróbka cieplna noży wykonanych ze stali X70CrMoNbV15-2 polega na objętościowym austenitowaniu do hartowania przy temp. 1020-1060°C w czasie 30 min, hartowaniu i następnym odpuszczaniu przy temp. ok. 650°C przez 2 godziny. Końcowa obróbka cieplna polegała na indukcyjnym hartowaniu i objętościowym odpuszczaniu przy temp. 190°C przez 2 godziny. Po obróbce cieplnej wykonano szlifowanie oraz dogładzanie. Skład chemiczny nierdzewnej stali narzędziowej X70CrMoNbV15-2, zastosowanej do wykonania analizowanego noża, podano w tabeli 1.

Tabela 1

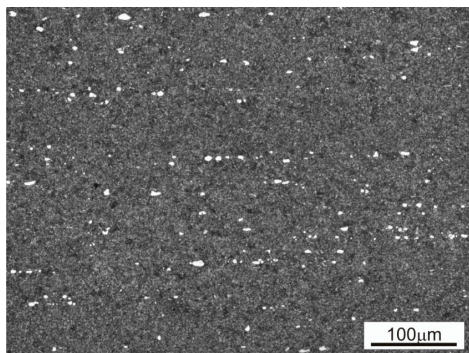
Skład chemiczny narzędziowej stali X70CrMoNbV15-2, z której wykonano nóż

Table 1

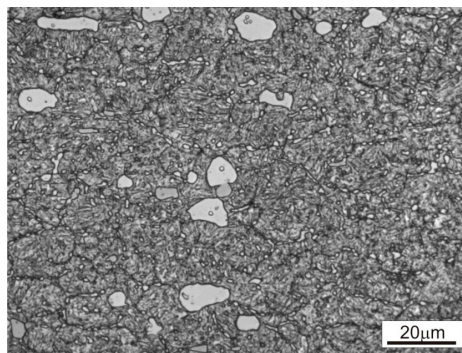
The chemical composition of the X70CrMoNbV15-2 tool steel of the knife

Skład	C	Mn	Si	P	S	Cr	Ni
Chemiczny	0,71	0,39	0,41	0,016	0,001	15,23	0,13
(%) wag.	Mo	Cu	Co	Nb	V	W	Fe
	1,77	0,12	0,02	0,77	0,52	0,06	reszta

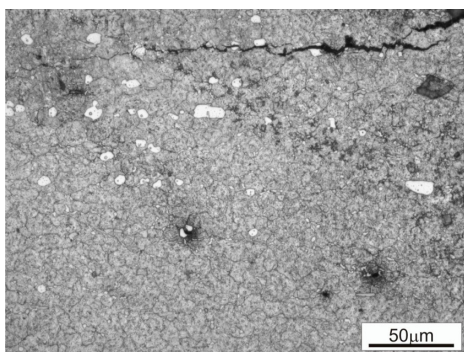
W zaznaczonych miejscach noża (rys. 2) wycięto próbki o wymiarach ok. 20x15 mm, które wykorzystano do badań metalograficznych i rentgenowskich badań strukturalnych. Zgłady metalograficzne wykonano na przekrojach prostopadłych i równoległych do powierzchni noża. Mikrostruktury przy różnych powiększeniach mikroskopowych zamieszczono na rysunkach 3 i 4. Pasmowy układ węglików pierwotnych oraz siatka wydzielenia węglików wtórnych sprzyja zarodkowaniu i rozwojowi pęknięć (rys. 5). Mechanizm zużycia tribologicznego noża obrazuje jego powierzchnia po eksploatacji przedstawiona na rysunku 6.



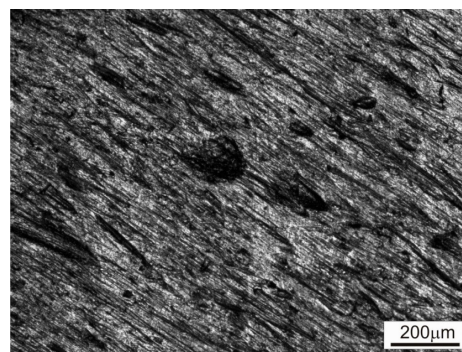
Rysunek 3. Mikrostruktura obszaru 2n, widoczna pasmowość wydzieliń węglkowych  
Figure 3. Microstructure of 2n area, visible strip carbide precipitates



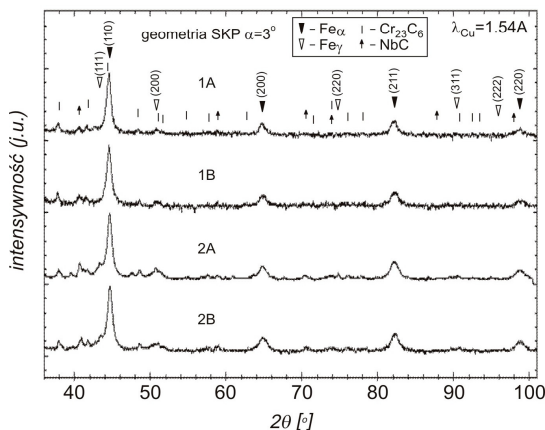
Rysunek 4. Mikrostruktura obszaru 3n, wydzielenia węglków pierwotnych (większe) i węglków wtórnych  
Figure 4. Microstructure of 3n area, separating primary (larger) and secondary carbides



Rysunek 5. Mikrostruktura w obrębie pęknięcia, krawędź z obszaru 3n  
Figure 5. Microstructure within the cracks from the edge of 3n



Rysunek 6. Widok powierzchni roboczej obszaru 2n  
Figure 6. View of the working surface of 2n area



Rysunek 7. Zapisy dyfrakrometryczne wyznaczonych obszarów noża (1 i 2, A i B oznacza odpowiednio stronę czynną i bierną natarcia)

Figure 7. X-Ray diffraction patterns of marked points of the knife (1 and 2, A and B represents working and passive side)

## Rentgenowskie badania strukturalne

Na wyciętych próbkach wykonano zapisy dyfraktometryczne (Skrzypek, 2002; Cullity, 1956) przy użyciu monochromatycznego promieniowania  $\lambda_{CuK\alpha}$  (rys. 7). Otrzymane obrazy dyfrakcyjne są zróżnicowane, co świadczy o zróżnicowanej strukturze, która przed eksploatacją charakteryzowała stan po obróbce cieplnej, a po eksploatacji ujmuje odpowiednie zmiany wywołane warunkami eksploatacji. Zmierzono parametry komórki elementarnej martenzytu, austenitu szczątkowego, ilości austenitu, wielkość krystalitów i stan makroskopowych naprężeń

własnych. Zastosowana metodyka dyfrakcji promieniowania X jest nieniszcząca i obejmowała warstwę wierzchnią o grubości od 5 do 30  $\mu$ m. Zastosowane procedury pomiarowe zostały oparte na autorskich opracowaniach (Skrzypek i in., 2012; Skrzypek, 1996; Skrzypek i in., 2000; Skrzypek i in., 1989), a otrzymane wyniki zamieszczono w tabeli 2.

Tabela 2

Wyniki pomiarów parametrów sieci martenzytu i austenitu  $a_0$ , wielkości krystalitu  $D$ , makronaprężeń własnych i ilości austenitu szczątkowego

Table 2

Results of X-Ray diffraction investigations: measured lattice parameter of martensite and retained austenite, statistical crystalline diameter  $D$ , residual stresses and volume fraction of retained austenite

Obliczona wielkość	1A	1B	2A	2B	3A	3B	4A	4B
Parametr martenzytu $a_0$ (nm)	0,287515	0,287118	0,28729	0,287096	0,287511	0,287259	0,287176	0,287146
Parametr austenitu $a_0$ (nm)	0,359706	0,359463	0,360306	0,361008	0,360213	0,35878	0,359034	0,360516
Rozmiar krystalitu $D$ (nm)	34	28	28	30	26,5	27	34	35
Makronaprężenie własne (MPa)	-1291	-887	-490	-237	-1105	-588	-722	-472
Ilość aust. szcz. (%) obj.	2,3	2,7	10,3	12,4	4,5	9,6	7,1	12

Na podstawie zapisów dyfraktometrycznych, poprzez odpowiednie pomiary pików dyfrakcyjnych, wyznaczono charakterystykę strukturalną przy zastosowaniu odpowiednich metod (Skrzypek, 2002; Cullity, 1956; Skrzypek i in., 2012, 1996, 2000, 1989). Wyniki zamieszczono w tabeli 2.

## **Analiza wyników badań**

Analizę wyników badań noży kutra odniesiono do składu chemicznego stali przedstawionego w tabeli 1. Jest to spowodowane tym, że w przypadku narzędzi roboczych maszyn, mających bezpośredni kontakt z żywnością, należy brać pod uwagę nie tylko właściwości mechaniczne materiału, ale także jego znaczenie biologiczne. Szczególnie odnosi się to do takich pierwiastków, jak: chrom, mangan, molibden, nikiel, niob, wanad. Chrom, jako podstawowy składnik z dużym udziałem procentowym stali nierdzewnej, w nadmiernej ilości w organizmie człowieka staje się silnym alergenem oraz czynnikiem mutagennym.

Wyniki pomiarów parametru sieci krystalograficznej zapisane w tabeli 2 odniesione do martenzytu i do austenitu, w poszczególnych punktach pomiarowych informują o fluktuacjach składu chemicznego, jak i o makroskopowym odkształceniu sprężystym. Wartości pomiarowe krystalitów D, wyznaczone na próbkach pobranych z różnych miejsc głównej krawędzi tnącej noża, wykazały nieznaczne różnice, a ich wielkość wskazuje na silnie drobnokrystaliczny martenzyt.

Na podstawie wyznaczonych parametrów sieciowych martenzytu i austenitu, jak też rozmiaru krystalitów, należy stwierdzić, że struktura materiału badanej części noża jest izotropowa.

Wyznaczone za pomocą dyfraktometrii rentgenowskiej naprężenia własne i ilość austenitu szczątkowego stanowią dobrze dające się uzasadnić współzależności. Otóż największe naprężenia ściskające występują w końcowej części noża, przy najmniejszej ilości austenitu szczątkowego. Wynika to stąd, że ta część noża jest najbardziej obciążona zarówno siłami ściskającymi, jak i zginającymi. Podczas takiego obciążenia zachodzi przemiana fazowa austenitu w martenzyt, a to powoduje wzrost naprężeń własnych, gdyż objętość właściwa martenzytu jest większa aniżeli austenitu.

Przedstawiona na rysunku 3 i 4 mikrostruktura z obszaru głównej krawędzi tnącej charakteryzuje się osnową martenzytyczną z pasmowymi wydzieleniami węglików. Obecność węglików w strukturze materiału powoduje wzrost odporności na zużywanie ściernie noży, ale równocześnie sprzyja inicjacji pęknięć i dalszej ich propagacji w głąb materiału, co zostało przedstawione na rysunku 5.

## **Podsumowanie**

Przeprowadzona charakterystyka warstwy wierzchniej na nożach oryginalnych kutra przemysłowego wzbogaca charakterystykę materiałową, która może się przyczynić do nowych propozycji dokonania zmiany gatunku materiału noży, jak również ułatwić wprowadzenie modyfikacji w technologii obróbki cieplnej. Zmiana gatunku materiału i odpo-

wiednia technologia obróbki cieplnej noży umożliwi eliminację węglików rozmieszczonych w postaci pasm i siatki.

Nowa technologia powinna też zapewniać uzyskanie w warstwie wierzchniej korzystnych naprężeń ściskających, równoważnych naprężeniom pomiarowym w nożach oryginalnych, co wiąże się z odpowiednią ilością i stabilnością mechaniczną austenitu szczątkowego.

## Literatura

- Cullity, B.D. (1956). *Elements of X-ray Diffraction*. Reading, Mass: Addison-Wesley.
- Dolata, W. (2001). Wpływ warunków kutrowania surowców mięsnych i tłuszczowych na jakość farszów i wędlin. *Mięso i Wędliny*, 3, 26-29.
- Fabian, M. (2010). Chłodzenie podczas kutrowania. *Gospodarka Mięsna*, 9, 17-23. Katalog firmowy CutMaster.
- Skrzypek, S.J.; Karp, J.; Chruściel, K. (1989). Improvement and computerization in residual macrostresses measurement by  $\sin^2\psi$  method. *Przegląd Mechaniczny*, 20, 13-16.
- Skrzypek, J.S. (1996). *Mikrostrukturalne zjawiska indukowane nagniataniem zahartowanej stali łożyskowej*. „Technologia Obróbki Przez Nagniatanie”, VI Konf. Nauk.-Tech. Zesp. Inż. Pow., Komitet Budowy Maszyn PAN, Akademia Rol.-Tech. w Bydgoszczy, 197-203.
- Skrzypek, S.J.; Baczański, A., Kusior, E. (2000). Opracowanie i wdrożenie nowej nieniszczącej metody pomiaru naprężeń własnych opartej na geometrii dyfrakcji promieniowania X przy stałym kącie padania. *Problemy Eksploatacji*, 2, 313-333.
- Skrzypek, S.J. (2002). Nowe możliwości pomiaru makro-naprężeń własnych w materiałach przy zastosowaniu dyfrakcji promieniowania X w geometrii stałego kąta padania. *Rozprawy i Monografie*, 108.
- Skrzypek, J.S.; Witkowska, M; Kowalska, J; Chruściel, Krzysztof. (2012). Zastosowanie nieniszczących dyfrakcyjnych metod rentgenowskich do charakteryzowania stanu struktury materiałów (the non-destructive x-ray methods in measuring of some material properties). *Hutnik – wiadomości hutnicze*, 238-246.
- Szeląg, M.; Krawczyk, J.; Bała, P. (2011). Mikrostrukturalne przyczyny zużycia noży w procesie kutrowania. *Prace Szkoły Inżynierii Materiałowej*, 76-80.
- Vodyanova, I. V.; Storro, I.; Olsen, A.; Rustad, T. (2012). Mathematical modelling of mixing of salt in minced meat by bowl-cutter. *Journal of Food Engineering*, 112(3), 144-151.



## **THE SURFACE LAYER PROPERTIES OF BOWL CUTTER KNIVES FOR GRINDING MEAT IN THE ASPECT OF LOSS WEAR**

**Abstract.** The paper presents issues concerning the characterization of the surface layer of the cutter knives CutMaster 200 in terms of their loss wear. Blades are made of X70CrMoNbV15-2 martensitic stainless steel. The characteristic of the surface layer was specified in the metallographic studies and X-ray structural studies. The X-ray method is non-destructive and thus can be used in the diagnosis of components of machines and working tools exposed to abrasive wear and cleavage fracturing.

**Key words:** cutter, knife head, working knives, surface layer, loss wear, materials characterization

**Adres do korespondencji:**

Jan Zwolak; e-mail: j.zwolak@ur.krakow.pl  
Katedra Mechaniki Konstrukcji i Technologii  
Uniwersytet Rzeszowski  
ul. Poznańska 2  
35-084 Rzeszów