

# Analiza mechanizmów zużycia ostrzy piły tarczowej

## Analysis of wear mechanisms of circular saw blades

ANNA ZAWADA-TOMKIEWICZ  
KRZYSZTOF ZIELIŃSKI  
ŁUKASZ ŻURAWSKI\*

DOI: <https://doi.org/10.17814/mechanik.2018.10.155>

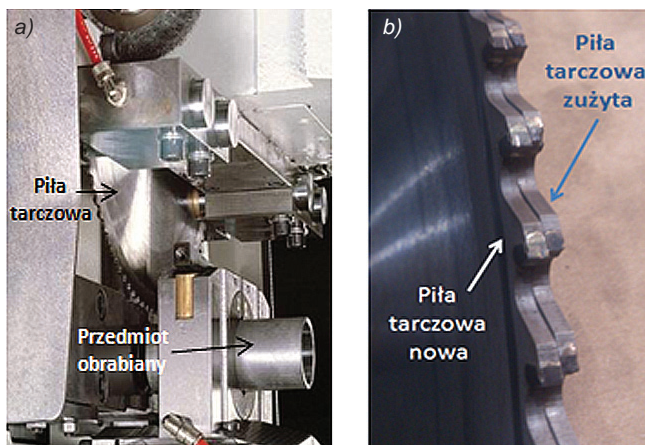
Przedstawiono wyniki badania zużycia ostrzy piły tarczowej w próbach przecinania różnych gatunków stali w warunkach przemysłowych. Próby przeprowadzono na centrum obróbkowym CNC BLM EM 80. Analizie poddano zużycie ostrza podczas przecinania stali C35EC, Pb-30, 16MnCrSPb5 i S355J2+C. Narzędzie (piłę tarczową) mierzono przed obróbką wybranych gatunków stali i po niej. Określono zużycie ostrzy oraz ich podatność na wyłamania.

**SŁOWA KLUCZOWE:** zużycie narzędzia, piła tarczowa, skrawalność

*The work is devoted to the machinability problems of selected grades of steel in the conditions of cutting rods with a circular saw. Selected indicators of machinability of steels were tested in industrial conditions. Attempts to cut steel were carried out on a BLM EM 80 CNC machining center. The analysis covered the tool wear during cutting of C35EC, Pb-30, 16MnCrSPb5, S355J2+C. The tool (circular saw) was measured before and after machining of steel.*

**KEYWORDS:** tool wear, circular saw, machinability

Piły tarczowe są stosowane w przecinarkach tarczowych do przecinania materiału. Narzędzie ma postać tarczy o dużej średnicy i małej grubości. Na rys. 1a przedstawiono przykładowe ustawienie piły względem przedmiotu obrabianego zamocowanego w obrotowej głowicy z zaciskami hydraulicznie szczękami.



Rys. 1. Ustawienie przedmiotu obrabianego względem piły tarczowej (a), widok ostrzy piły nowej i zużytej (b)

Piły tarczowe mogą mieć ostrza ze stali szybko tnącej lub węglików spiekanych. Ostrza są specjalnie zeszlifowane na bocznych powierzchniach (pochylenie pomocniczych powierzchni przyłożenia), których zadaniem jest

zmniejszanie tarcia i ułatwianie dostępu cieczy obróbkowej. Dzięki zastosowaniu ostrzy z węglików spiekanych możliwa jest obróbka wydajnościowa oraz przecinanie materiałów trudnoobrabialnych [1–2].

Piła tarczowa jest narzędziem wielostrzowym, w którym obciążenie pojedynczego ostrza jest cykliczne i ma charakter uderowy. W wyniku procesu cięcia dokonywanego przez kolejne ostrza piły tarczowej następuje stopniowa zmiana kształtu ich krawędzi. Część z ostrzy skrawających ulega starciu, część wyłamaniu i z czasem piła przestaje efektywnie skrawać materiał obrabiany [3].

Na rys. 1b pokazano widok powierzchni przyłożenia ostrzy z węglików spiekanych piły tarczowej nowej i zużytej. Kryterium definiujące trwałość narzędzia odnosi się do sytuacji, w której spada zdolność skrawania ostrzy, wzrasta temperatura skrawania, narastają hałas i drgania oraz zmienia się kształt ostrzy ponad założone kryterium [11].

Wynikiem używania się ostrzy jest starcie powierzchni przyłożenia  $A_0$ , zwłaszcza w narożach, co powoduje ich zaokrąglenie. W wyniku tego naturalnego zużycia następuje zmniejszenie rozwarcia całkowitego ostrza [3]. Zużywanie się ostrzy piły powoduje zwiększenie obciążeń poprzecznych piły, co z kolei wpływa na zwiększenie jej odkształceń i w efekcie może dochodzić do poszerzenia wartości szczeliny rzazu [9].

Dobór prędkości skrawania i posuwu determinuje trwałość każdego z ostrzy i sumaryczną trwałość piły tarczowej. Poza tymi dwoma wielkościami największy wpływ na trwałość mają materiał obrabiany i jego właściwości [8].

Podjęto próbę identyfikacji mechanizmów zużycia ostrzy piły tarczowej, które obejmowały szczyrbałość krawędzi i stopień ostrza, zużycie ścierne i zużycie adhezyjne. Intensywność każdego z tych mechanizmów jest zdeterminowana przez parametry skrawania, parę materiałową ostrze–materiał obrabiany i układ kinematyczny skrawania. W przypadku skrawania przerywanego, charakterystycznego dla piły tarczowej, istotna jest geometria wejścia ostrza w materiał i wyjścia z niego ze względu na zwiększone obciążenie uderowe w tych fazach pracy.

### Metodyka badań

Celem badań było określenie mechanizmów zużycia i uszkodzenia piły tarczowej w procesach przecinania różnych gatunków stali (C35EC, Pb-30, 16MnCrSPb5 i S355J2+C). Badania przeprowadzono w warunkach przemysłowych. Metodykę cięcia stali zaprezentowano w tabl. I.

Po przeprowadzeniu badań skrawania wykonano zdjęcia ostrzy za pomocą mikroskopowego systemu pomiarowego oraz wyznaczono wartości wskaźników zużycia. Analizie zużycia poddano co piąte ostrze czterech pił tarczowych. Metodykę pomiarów zamieszczono w tabl. II.

\* Prof. nadzw. dr hab. inż. Anna Zawada-Tomkiewicz (anna.zawada-tomkiewicz@tu.koszalin.pl), mgr inż. Krzysztof Zieliński (rummel@wp.pl), dr inż. Łukasz Żurawski (lukasz.zurawski@tu.koszalin.pl) – Katedra Inżynierii Systemów Technicznych i Informatycznych, Wydział Mechaniczny Politechniki Koszalińskiej

TABLICA I. Specyfikacja procesu przecinania stali

Narzędzie	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Piła tarczowa Ferro Max Speed firmy Kane-fusa do cięcia materiału pełnego i rur ze stali; ostrza z powlekanego węgla spiekane.</li> <li>• Parametry skrawania (zalecenia producenta): prędkość skrawania 200+300 m/min, posuw 0,05±0,08 mm/ostrze.</li> </ul>	
$D = 315 \text{ mm}, B = 2,5 \text{ mm}, b = 2,3 \text{ mm}, d = 50 \text{ mm}, z = 120 \text{ lub } 100.$	
	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Piła tarczowa zamocowana w maszynie.</li> <li>• Mocowanie: 4/15/80.</li> </ul>	
Przedmiot obrabiany	
Pręty ze stali C35EC, S355J2+C, Pb-30, 16MnScPb5 [5–7] o średnicy $\varnothing 20 \text{ mm}$ .	
Parametry skrawania	
Prędkość skrawania $v_c = 180 \text{ m/min}$ , liczba ostrzy $z = 100$ , efektywny czas skrawania $t = 12 \text{ h}$ ( $8 \text{ m}^2$ ).	

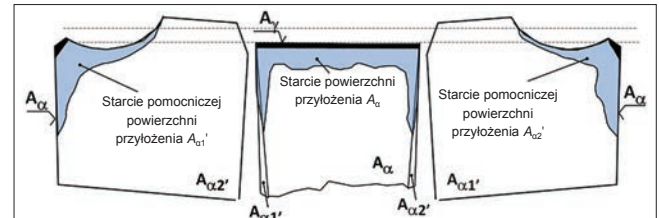
TABLICA II. Specyfikacja pomiarów

Optyczny układ do pomiaru zużycia ostrza	
Zastosowano mikroskopowy system pomiarowy: kamera cyfrowa, obiektyw, układ oświetleniowy, komputer z kartą akwizycji obrazu oraz oprogramowanie do cyfrowego przetwarzania obrazu, identyfikacji i pomiarów wybranych parametrów wymiarowo-kształtowych [10, 12].	
Strategia pomiarowa	
Mierzono kolejno co piąte ostrze. Dla każdego ostrza wykonywano pomiary pomocniczych powierzchni przyłożenia $A_{\alpha 1'}$ oraz $A_{\alpha 2'}$ . Pomiar wymagał wykonania serii zdjęć ( $1 \text{ mm} \times 1 \text{ mm}$ ) i ich połączenia.	
	
Kolejne zdjęcia pomocniczej powierzchni przyłożenia $A_{\alpha 1'}$ podlegają rejestracji i wyznaczone są punkty referencyjne	Kolejne zdjęcia po procesie dopasowania łączone są ze sobą (data fusion) i tworzą obraz powierzchni $A_{\alpha 1'}$

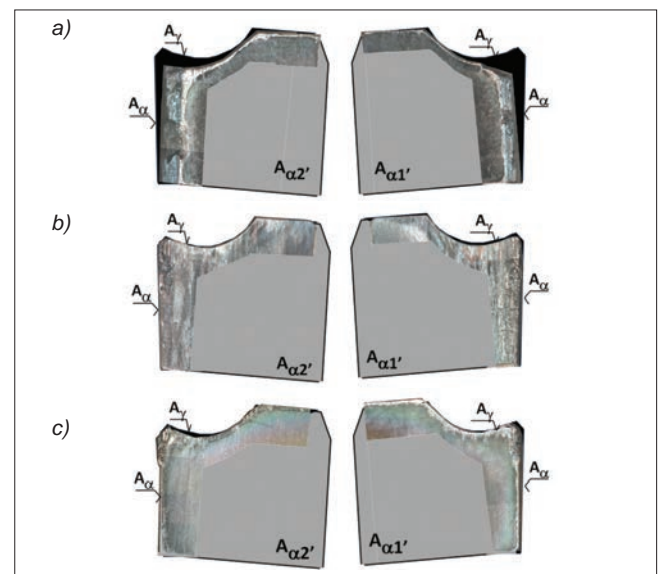
### Mechanizmy zużycia ostrza

Analiza zdjęć powierzchni przyłożenia ostrzy piły tarczowej wskazała na kruche pęknięcie i wyłamanie ostrzy. Nasilenie zjawisk w poszczególnych próbach zastawiono w tabl. III.

Tam, gdzie nie występowało wyłamanie ostrzy, widoczne było bardzo intensywne zużycie ściernie i adhezyjne, charakteryzowane przez kratery, karby, rysy, nacięcia oraz łuskowate ślady zużycia powierzchni przyłożenia od strony krawędzi skrawającej. Widoczne jest to na głównej i na pomocniczych powierzchniach przyłożenia (rys. 2 i 3), gdzie kolorem czarnym zaznaczono skrócenie ostrza.



Rys. 2. Ślady zużycia na głównej i pomocniczych powierzchniach przyłożenia

Rys. 3. Ślady zużycia na pomocniczej powierzchni przyłożenia  $A_{\alpha 1'}$  oraz  $A_{\alpha 2'}$  ostrza piły tarczowej dla stali: a) C35EC, b) S355J2+C, c) 16MnScPb5 i Pb-30

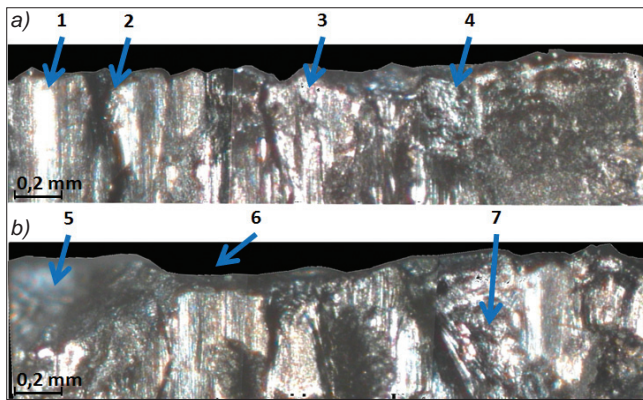
Zużycie w postaci zaokrąglenia krawędzi skrawającej i tępienie ostrzy było zauważalne dla wszystkich niewyłamanych ostrzy i miało głównie charakter ścierny. Tworzył się też lokalnie narost na ostrzu (rys. 3b i c).

W rysach i w okolicy krawędzi skrawającej obserwowano zmiany temperaturowe oraz utleniony, nalepiony materiał obrabiany. Identyfikacja śladów utleniania i mechanizmu zużycia korozyjnego była utrudniona ze względu na rozległe zalepienie powierzchni ostrza materiałem obrabianym. Mechanizm zmęczeniowy był identyfikowany przez występowanie kolejno zużycia i adhezji. Obecność mikropęknięć miała swój udział w szczybieniu krawędzi w warunkach zmiennej siły skrawania podczas cykli cięcia piły tarczowej.

### Szczerbatość krawędzi i stępienie ostrza

Pod wpływem okresowego obciążenia powierzchni ostrza w warunkach przerywanego cięcia piłą tarczową na krawędzi skrawającej były inicjowane zmęczeniowe mikropęknięcia, które stopniowo lub gwałtownie rozwijały się, doprowadzając do mikrowykruszeń i wykruszeń materiału ostrza (rys. 4b–5). Zaobserwowano również wyszczerbienie na powierzchni równoległej do głównej krawędzi skrawającej. Wyszczerbienie krawędzi jest szczególnie duże w przypadku pojawienia się narostu BUE i nalepień BUL materiału obrabianego.





Rys. 4. Ślady zużycia głównej powierzchni przyłożenia ostrza piły tarczowej dla materiału obrabianego: a) C35EC, b) S355J2+C

### Zużycie adhezyjne

Zużycie adhezyjne występuje na styku narzędzia i przedmiotu obrabianego. W wyniku wzajemnego przemieszczania się fragmenty powierzchni narzędzia i przedmiotu obrabianego znajdują się w krótkotrwałym kontakcie w zakresie mikronierówności i podczas wychodzenia z kontaktu następuje przenoszenie materiału z jednej powierzchni na drugą.

Przy prędkości skrawania przyjętej w prezentowanych badaniach przepływ materiału obrabianego miał charakter nieregularny, a lokalne mikrozgrzelines między materiałem narzędzia i przedmiotem obrabianego tworzyły się cyklicznie podczas cięcia i jednocześnie były ścinane ze względu na względny ruch ślizgowy w interfejsie narzędzie–przedmiot obrabiany.

W przypadku skrawania stali ostrzem piły tarczowej z węgla spiekanego ścinanie następuje głównie w stali, z dużo mniejszym prawdopodobieństwem – w ostrzu. Mechanizm ten często określa się jako wrywanie lub ścieranie. Zużycie to zostało zidentyfikowane przez występowanie płytkich kraterów na powierzchni przyłożenia ostrza skrawających (rys. 4a–4).

### Zużycie ściernie

Zużycie ściernie narzędzi wynika z obecności w materiale obrabianym wtrąceń twardszych niż narzędzie. Mechanizm zużywania obejmuje niszczenie materiału narzędzia przez działanie trące wtrąceń fazy twardej znajdującej się w materiale i wiórze (twardych węglików, tlenków i azotków).

Mechanizm zużycia ściernego polega na wytworzeniu lokalnego plastycznego odkształcenia warstw powierzchniowych narzędzia skrawającego, gdzie materiał jest popychany przez twardą cząstkę i gdzie następuje płuzenie w bardziej miękkiej osnowie materiału ostrza (rys. 4a–1, 2). Jeśli wtrącenia są sferyczne, to w materiale narzędzia pozostają rowkowe ślady. Jeśli wtrącenia są bardzo ostre, mogą powodować mikroskrawanie i efekt docierania lub szlifowania [3].

Zużycie ściernie było obserwowane na ostrzach zużywających się ściernie oraz na ostrzach, które wcześniej uległy wykruszeniu lub wyłamaniu.

### Podsumowanie

W zależności od gatunku stali ostrza piły tarczowej zużywały się w różny sposób. Jednak za każdym razem następowało starcie na pomocniczych powierzchniach przyłożenia.

W tabl. III pokazano nasilenie zjawisk dla badanych gatunków stali. Wynika z niej, że:

- Duża zawartość węgla w stali C35EC sprzyjała szybkiemu zużyciu się ostrzy w pile tarczowej, a wiele ostrzy uległo wyłamaniu. W przypadku gatunków stali z mniejszą zawartością węgla, w zależności od zawartości, na ostrzach tworzył się narost, a starte ostrza były zalepione materiałem obrobionym. Tworzący się narost stanowił ochronę dla ostrzy i dzięki temu szerokość starcia na powierzchniach przyłożenia była mniejsza.
- Średnią wartość zużycia  $VB$  ostrzy piły tarczowej uzyskano dla stali S355J2+C. Zużycie ściernie ostrzy spowodowane było dodatkiem krzemu i chromu w stali. Mała zawartość węgla powodowała natomiast, że na ostrzach występował narost oraz były mocno pozalepiane materiałem obrabianym.
- Najmniejsze było zużycie ściernie ostrzy piły tarczowej dla stali Pb-30 oraz 16MnCrSPb5; nie następowało także ich wyłamywanie.

Zużycie ściernie na krawędzi ostrza oraz powierzchni przyłożenia wszystkich ostrzy było duże. Było to wynikiem stosowania dużej prędkości skrawania i małej grubości warstwy skrawanej.

Duże zużycie pomocniczych powierzchni przyłożenia wynikało z właściwości ściernych materiału obrabianego i obecności dodatków stopowych. Wykruszenia na krawędzi i wyłamania ostrzy były spowodowane dużym obciążeniem ostrzy, a także twardością materiału obrabianego i obecnością twardych wtrąceń.

TABLICA III. Ocena nasilenia zjawiska zużycia ostrzy piły tarczowej

Rodzaj stali	Wyłamania ostrzy		Starcie na pomocniczej powierzchni przyłożenia		Narost BUE oraz nalepiania BUL
C35EC	10%	***	3 mm	***	–
S355J2+C	5%	*	1,5 mm	**	**
Pb-30	< 1%	*	1 mm	*	*
16MnCrSPb5	< 1%	*	1 mm	*	*

Legenda: \*\*\* duże nasilenie zjawisk, \*\* średnie nasilenie zjawisk, \* małe nasilenie zjawisk

### LITERATURA

1. Cichosz P. „Narzędzia skrawające”. Warszawa: WNT, 2006.
2. Grzesik W. „Podstawy skrawania materiałów konstrukcyjnych”. Warszawa: WNT, 2010.
3. Hughes J., Sharman A., Ridgway K. “The effect of cutting tool material and edge geometry on tool life and workpiece surface integrity”. *Proc Inst Mech Eng Part B J Eng Manuf* (2006).
4. Materiały informacyjne firmy Kanefusa.
5. PN-EN ISO 683-2:2018-08. Stale do obróbki cieplnej, stale stopowe i stale automatowe – Część 2: Stale stopowe do hartowania i odpuszczania.
6. PN-EN 10087:2000. Stal automatowa – Warunki techniczne dostawy półwyrobów, prętów i walcówki walcowanych na gorąco.
7. PN-EN 10277:2018-09. Wyroby stalowe o powierzchni jasnej – Warunki techniczne dostawy.
8. Tavodova M. i in. “Analysis of the wear of saw blade teeth and the proposal of methods of increasing their wear resistance”. *MM Science Journal*. (2016): s. 1287–1291.
9. Wasilewski R. „Dokładne i oszczędne przecinanie drewna piłami tarczowymi”. Gdańsk: Wydawnictwo Politechniki Gdańskiej 2011.
10. Wierucka I., Zawada-Tomkiewicz A., Łukianowicz Cz. „Ocena przydatności wybranych optycznych systemów pomiarowych w procesie wytwarzania i eksploatacji części maszyn”. *Mechanik*. 7 (2013): s. 538–543.
11. Zawada-Tomkiewicz A., Storch B. „Zużycie ostrza z uwzględnieniem warunków cieplnych”. *Mechanik*. 8 (2011): s. 140–151.
12. Zawada-Tomkiewicz A., Żurawski Ł. „Obrabiarki, narzędzia i procesy obróbki skrawaniem. Ćwiczenia laboratoryjne”. Koszalin: Wydawnictwo Uczelniane Politechniki Koszalińskiej, 2015.