

Zwiększenie odporności na zużycie ściernie noży kombajnowych

The increasing wear resistance of cutting picks



Prof. dr hab. inż. Krzysztof Krauze*)



Mgr inż. Kamil Mucha*)

Treść: W artykule przedstawiono problemy związane z zużyciem ściernym noży kombajnowych podczas mechanicznego urabiania skał trudno urabianych oraz sposoby jego ograniczenia. Omówione zostały czynniki, które mają największy wpływ na ten proces. Przedstawiono sposoby zwiększania odporności na ścieranie korpusów, jak i ostrzy noży. Omówiono metody związane z napawaniem części roboczej korpusu noża, zabezpieczenie dodatkowym pierścieniem węglkowym części atakującej noża oraz zastosowanie obróbki cieplnej. Przedstawiona została metoda prowadzenia badań stanowiskowych noży w aspekcie szybkości ich zużycia, pozwalająca na ocenę ich trwałości oraz wyniki badań noży promieniowych i stycznno-obrotowych.

Abstract: This paper presents the problems associated with the abrasive wear of cutting picks during mechanical cutting of hard rock, and ways of reducing it. The factors that have the greatest impact on this process have been discussed herein. The paper also describes the methods of increasing resistance to abrasion bodies of picks. The methods connected with cladding of the working part of the pick, securing with an additional sintered carbide ring and applying heat treatment have been shown. One can find the presented method of conducting the laboratory researches of picks in terms of the speed of their wear and the evaluation of their durability and the results of the researches of the radial and tangential-rotary picks.

Słowa kluczowe:

zużycie ściernie, technologie napawania, pierścienie węglkowe, obróbka cieplna, noże promieniowe, noże stycznno-obrotowe

Key words:

abrasive wear, technologies of cladding, sintered carbide rings, heat treatment, radial picks, tangential-rotary picks

1. Wprowadzenie

Urabianie mechaniczne w górnictwie podziemnym jest obecnie najczęściej stosowanym sposobem, zarówno pozyskiwania urobku, jak i drażenia wyrobisk udostępniających i przygotowawczych. Polega ono na bezpośrednim oddziaływaniu narzędziem lub zespołem narzędzi skrawających na caliznę skalną. Dostarczona w ten sposób energia zostaje wykorzystana na pokonanie wewnętrznych sił spójności skały. Najbardziej powszechne jest urabianie skał poprzez frezowanie kombajnami oraz struganie strugami realizowane narzędziami skrawającymi [3,4].

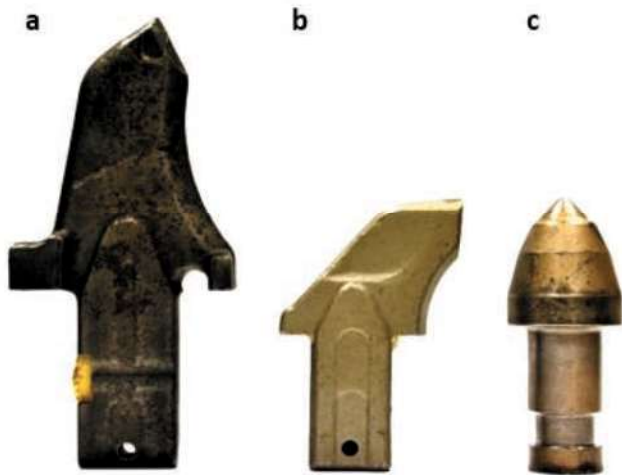
Obecne kierunki rozwoju mechanicznych metod urabiania związane są przede wszystkim z problematyką urabiania skał trudno urabialnych o właściwościach ściernych. Do urabiania skał związanych wykorzystuje się noże stycznno-obrotowe,

promieniowe oraz coraz rzadziej noże stycznne płaskie (rys. 1) [3,5].

Narzędzie skrawające podczas eksploatacji jest elementem będącym bezpośrednio w kontakcie z urabianą calizną. W wyniku procesu urabiania w strefie styku narzędzia ze skrawanym materiałem dochodzi do jego zużycia, najczęściej poprzez ścieranie. Powoduje to zmiany zarówno kształtu geometrycznego noża, jak i ubytek jego masy. Szczególnie zmiana kształtu i ubytek masy części roboczej skutkuje wypadnięciem ostrza, a tym samym utratą zdolności skrawających. Innym zagadnieniem jest uszkodzenie mechaniczne noża wynikające z niewłaściwej eksploatacji lub jego wykonania [1,3].

Postęp zużycia noża jest bardzo skomplikowanym zjawiskiem, dlatego nie można wyróżnić jednej grupy czynników, mającej główny wpływ na postęp jego zużycia. Najważniejszymi parametrami mającymi wpływ na zużycie narzędzi są parametry:

*) AGH w Krakowie



Rys. 1. Przykłady narzędzi skrawających: a – nóż styczny płaski, b – nóż promieniowy, c – nóż styczno – obrotowy
Fig. 1. Examples of cutting tools: a) tangent pick, b) radial pick, c) tangential-rotary pick

- geologiczne i fizykomechaniczne właściwości skał (zwarłość skały, stan nasycenia skały wodą, skład mineralogiczny, struktura masywu skalnego, kierunek i wartość naprężeń głównych występujących w górotworze),
- związane z materiałem i konstrukcją ostrza (skład i struktura materiału na wkładkę),
- związane z parametrami procesu skrawania (prędkość skrawania i posuwu, głębokość urabiania),
- związane z warunkami procesu skrawania (sposób, natężenie i rodzaj chłodzenia) [3].

Na jednostkowe zużycie noży i wydajność urabiania bardzo duży wpływ ma również ścierność skały (rys. 2) [2]. Dlatego bardzo ważny jest skład mineralogiczny urabianej skały, gdyż ma to wpływ na działanie ścierne skały na ostrze. Dotyczy to przede wszystkim procentowej zawartości ziaren kwarcu. Celem ułatwienia analizy zagadnienia, w wielu krajach wprowadzono tak zwany wskaźnik ścierności F , który pozwala prognozować wpływ wybranych parametrów skały na intensywność tępienia się ostrza. Prosta do zastosowania zależność na określenie wartości tego wskaźnika zaproponował Schimazek w postaci wzoru:

$$F = Qd_k R_c \cdot \frac{N}{cm} \quad (1)$$

gdzie:

Q – zastępcza (przeliczeniowa), procentowa zawartość kwarcu, %

d_k – średnia średnica ziaren kwarcu, cm

R_c – wytrzymałość skały na jednoosiowe ściskanie, MPa przy czym

$$Q = \sigma_o + 0,33\sigma_m \% \quad (2)$$

gdzie:

σ_o – procentowa zawartość kwarcu w danej skale, %

σ_m – procentowa zawartość innych, ściernych minerałów, % [3].

W przypadku noży styczno-obrotowych ich kształt oraz mocowanie w uchwycie ma zapewnić symetryczne zużycie ostrza i jego części roboczej (korpusu). Wtedy następuje skrawanie długości noża przy zachowaniu jego możliwości urabiania. Granicą jego wykorzystania jest całkowite zużycie symetryczne lub niesymetryczne ostrza. Często występuje również zjawisko wypadania wkładki z węglika, gdy korpus noża ulega szybszemu zużyciu niż samo ostrze. Obniża to bardzo trwałość noża i zwiększa koszty jego eksploatacji (częst-



Rys. 2. Wpływ ścierności skały i jej wytrzymałości na wydajność urabiania [2]

Fig. 2. Influence of the abrasion of the rock and its resistance to cutting productivity [2]

sza wymiana noży, częstsze postoje kombajnu, zmniejszenie wydobywania). Stąd też zachodzi konieczność zabezpieczenia powierzchni roboczej noża przed jej nadmiernym zużyciem poprzez wykorzystanie materiałów trudnościeralnych [5,7].

Dla zwiększenia trwałości noży prowadzi się wiele badań nad opracowaniem nowych materiałów, zarówno na ostrza, jak i korpusy tych narzędzi. Ostrza aktualnie najczęściej wykonuje się z węglików spiekanych, ale trwają również próby nad zastosowaniem ostrzy z kompozytów diamentowych lub wiskersów (kompozyty włókniste) [2]. Na korpusy noży stosuje się stale o dużej udarności, wytrzymałości i odporności na ścieranie, które dodatkowo mogą być poddane procesowi nawęglania i obróbce cieplnej [3,4].

W celu ograniczenia zużycia wykonuje się również zabezpieczenie zewnętrznej powierzchni stożkowej korpusu noża warstwą odporną na ścieranie, wykonaną metodą napawania lub też stosuje się pierścienie z węglików spiekanych, zabezpieczające korpus noża.

2. Możliwości zwiększenia odporności na ścieranie części roboczej noży kombajnowych

Właściwości ściernie skał mają bardzo duży wpływ na zużycie noży kombajnowych. Dlatego korpusy noży wykonuje się głównie ze stali o dużej odporności na ścieranie, udarności i wytrzymałości. Są to zazwyczaj stale o podwyższonej zawartości manganu, molibdenu, chromu, niklu oraz boru. Zależnie od przeznaczenia narzędzia, używa się do ich wykonania stale typu 12HN3A, 40H, 40HN, 36 HNM czy 35 HGS [3,4].

Natomiast ostrza noży zbrojone są powszechnie wkładkami z węglików spiekanych najczęściej na osnowie kobaltu. Uzyskuje się wtedy nóż, którego ostrze wykazuje dużą trwałość, jeżeli równolegle część robocza korpusu noża zabezpieczy węgiel przed wypadnięciem. Stąd stosuje się wiele metod ograniczających szybkość zużycia się korpusu noża, a tym samym i gubienie węglików [3,7].

W celu zwiększenia odporności na ścieranie korpusy noży dodatkowo mogą być poddawane procesowi nawęglania, celem poprawienia odporności warstwy wierzchniej lub obrabiane cieplnie. Zastosowanie obróbki cieplnej dla stali, z których wytwarza się korpusy noży, polegającej na hartowaniu oraz odpuszczaniu, prowadzi do uzyskania twardości powyżej 45 HRC, a więc większej odporności na ścieranie [8,9].

Zwiększenie odporności na ścieranie noży kombajnowych jest również realizowane za pomocą napawania części roboczej noża. Polega ono na zabezpieczeniu zewnętrznej powierzchni stożkowej noża kombajnowego warstwą odporną na ścieranie (rys. 3). Aktualnie mogą być stosowane technologie takie jak: łukowa, płomieniowa, przetopieniowa, plazmowa, HVOF, nanoHVOF, laserowa (deponowanie, hartowanie, stopowanie). Metody te umożliwiają zwiększenie twardości powierzchni części roboczej noża, znaczne podniesienie ich trudnościeralności, a tym samym zmniejszają jego szybkość zużycia i wydłużają czas eksploatacji noży [9,12].



Rys. 3. Nóż promieniowy i nóż stycznno-obrotowy ze wzmocnionymi korpusami metodą napawania
Fig. 3. Radial pick and tangential-rotary pick with strengthened bodies by the use of cladding

Innym sposobem jest wykonanie na części atakującej korpusu noża dodatkowego pierścienia z węgliku spiekanego (rys. 4), dzięki któremu noże te charakteryzują się 2-3 krotnie zwiększoną odpornością na zużycie w stosunku do noży standardowych [11].



Rys. 4. Nóż stycznno-obrotowy z dodatkowym pierścieniem z węgliku spiekanego
Fig. 4. Tangential-rotary pick with the additional ring made of sintered carbide

Noże typu CAP (rys. 5) dzięki unikalnemu kształtowi spieku (węgliku) ułatwiają penetrację przy jednoczesnym obniżeniu energochłonności procesu skrawania. Dzięki skuteczniejszemu ograniczeniu powierzchni styku skała – metal, doskonale sprawdzają się w warunkach podwyższonej abrazyjności skał [11].



Rys. 5. Nóż stycznno-obrotowy z obniżonym korpusem i z węglikiem spiekany typu CAP
Fig. 5. Rotary-tangential pick with lowered body and sintered carbide of the type CAP

Noże typu XT grade (rys. 6) dzięki nietypowej strukturze spieku, charakteryzują się zwiększoną odpornością na zużycie oraz większą wytrzymałością i odpornością na obciążenia dynamiczne w porównaniu do noży wytwarzanych przy użyciu konwencjonalnych technik. Dedykowane wszędzie tam, gdzie ze względu na bardzo wysoką abrazyjność lub wytrzymałość na ściskanie skał, proces urabiania mechanicznego jest nieopłacalny bądź w ogóle niemożliwy do prowadzenia za pomocą klasycznych narzędzi skrawających [11].



Rys. 6. Nóż typu XT grade, zaprojektowany i opatentowany przez firmę Sandvik
Fig. 6. XT grade type pick, designed and patented by the Sandvik company

3. Badania procesu zużycia ściernego noży kombajnowych

Zużycie ściernie to zjawisko niszczenia warstwy wierzchniej ciał współpracujących w procesie tarcia w wyniku skrawającego, bruzdzącego i ścinającego oddziaływania nierówno-

ści powierzchni, cząstek ciał obcych lub produktów zużycia. Warunkiem koniecznym występowania zużycia ściernego w procesie tarcia jest większa twardość ciała powodującego zużycie od twardości ciała zużywanego [10].

Szybkość zużycia się noży kombajnowych można określić poprzez badania eksploatacyjne (empiryczne) lub laboratoryjne. Jednakże, mając na względzie zmienność warunków pracy noży w rzeczywistych skałach, do oceny ich trwałości preferuje się badania laboratoryjne. Wtedy istnieje możliwość zagwarantowania stałych parametrów kinematycznych procesu skrawania oraz własności urabianej calizny.

Na podstawie badań eksploatacyjnych (empirycznych) użytkownik może jedynie ocenić jakość noża oraz liczbę zużytych noży w odniesieniu do liczby pozyskanego urobku. Najczęściej podaje się ilość zużytych (wymienionych) noży na 1000 Mg urobku lub ekwiwalentnie do jego objętości. Jednak wyniki te odnoszą się do określonego miejsca i czasu pozyskiwania minerału i mogą być inne przy zmianie własności urabianej calizny. Dlatego chcąc zachować własności urabianej calizny oraz parametry procesu skrawania (prędkość posuwu v_p , obroty organu n), należy tego typu badania przeprowadzać w warunkach laboratoryjnych [5,6].

Pomiar szybkości zużycia ściernego noży kombajnowych ma na celu prognozowanie ich trwałości i musi być realizowany zawsze w tych samych warunkach, tak by wyniki były wiarygodne, powtarzalne i porównywalne. Szybkość zużycia ściernego definiuje się jako łączny ubytek masy noża (noży) do objętości uzyskanego urobku. Dodatkowo wskazanym jest również określenie charakteru zużycia się badanych noży [5].

Przyjęte wymagania dotyczące badania szybkości zużycia noży kombajnowych skutkują koniecznością przyjęcia odpowiedniej procedury realizacji pomiarów. Stąd też wskazane jest urabianie poprzez frezowanie sztucznej lub naturalnej próbki skalnej o stałych własnościach, nożem lub nożami przy stałych parametrach skrawania (v_p , n). Wtedy pomiar masy noży przed i po urabianiu pozwala określić ich ubytek w odniesieniu do masy urobionej próbki. Do tego celu potrzebne jest stanowisko laboratoryjne, na którym możliwe jest urabianie próbki skalnej poprzez frezowanie i pomiar parametrów procesu skrawania [5,6,7].

Takie stanowisko jest w dyspozycji KMGPiTAGH (rys.7) i składa się z dwóch podzespołów: napędu organu urabiającego i układu posuwu bloku przeznaczanego do urabiania. Elementem roboczym jest specjalna tarcza z wymiennymi uchwytami noży kombajnowych [5,6].

Wynikami badań laboratoryjnych są ubytki masy poszczególnych noży zamocowanych w uchwytach na tarczy roboczej. Noże przed i po badaniach są ważone z dokładnością do 1g. Stosunek ubytku masy noża do urobionej próbki skały jest

parametrem określającym szybkość jego zużycia i pozwala ocenić nóż pod względem jego trwałości. Równoległe możliwe jest prowadzenie badań różnych noży w aspekcie szybkości ich zużycia oraz oceny ich trwałości [5,6].

Dodatkowo celem tych badań jest również identyfikacja oraz poszerzenie zakresu zastosowania danych narzędzi skrawających poprzez dobór ich parametrów konstrukcyjnych, materiałowych i kinematycznych.

4. Ocena zużycia noży z warstwą napawaną po ich eksploatacji w warunkach dołowych

Na rys. 8 i rys. 9 zamieszczono zdjęcia dwóch noży styczo-obrotowych i dwóch promieniowych, których powierzchnię części roboczej zabezpieczono napoiną trudnościeralną oraz jednego, którego korpus poddano jedynie obróbce cieplnej. Noże oznaczone literą a są nożami z napoiną trudnościeralną, przygotowane do urabiania. Natomiast noże oznaczone literami b oraz c , to noże już używane, po dwóch dobach stosowania na organie urabiającym kombajnu szybowego. Łatwo zauważyć, że powierzchnia korpusu noża z warstwą ochronną na części roboczej jest mniej zużyta niż noża poddanego tylko obróbce cieplnej [13].

Zabezpieczenie powierzchni roboczej korpusu noża warstwą ochronną nie wywołuje negatywnego wpływu na własności mechaniczne, wytrzymałościowe, twardość oraz strukturę materiału rodzimego noża. Parametry korpusu noża w części roboczej nie ulegają pogorszeniu w trakcie wykonywania warstwy ochronnej i zachowują swoje własności mechaniczne, takie jak udarność, wytrzymałość na rozciąganie oraz granicę plastyczności. W tym przypadku do napawania używane są wyłącznie materiały dopuszczone do stosowania w wyrobiskach dołowych zakładów górniczych [11,13].

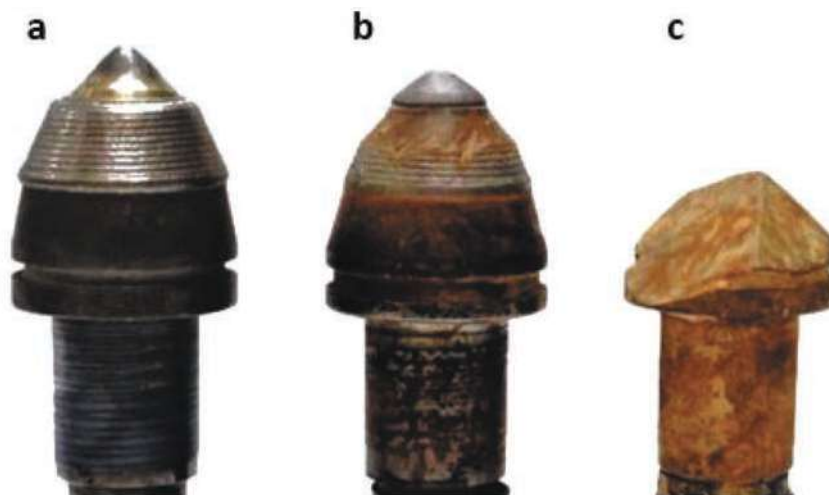
Opisane wcześniej noże z napoiną trudnościeralną są jednym z przykładów zwiększenia jego trwałości. Uzyskuje się to dzięki zastosowaniu różnego rodzaju napoin, które mają dużą twardość i są trudnościeralne. Zastosowanie określonego rodzaju napoiny zależy również od rodzaju materiału rodzimego i miejsca jej pracy [13].

5. Podsumowanie

Problem zużycia ściernego narzędzi skrawających, stosowanych do zbrojenia organów maszyn do eksploatacji surowców mineralnych, ma duży wpływ zarówno na wydajność, jak i koszty całego procesu. Koszty te związane są ze skróceniem dyspozycyjnego czasu maszyny oraz wzrostem energochłon-

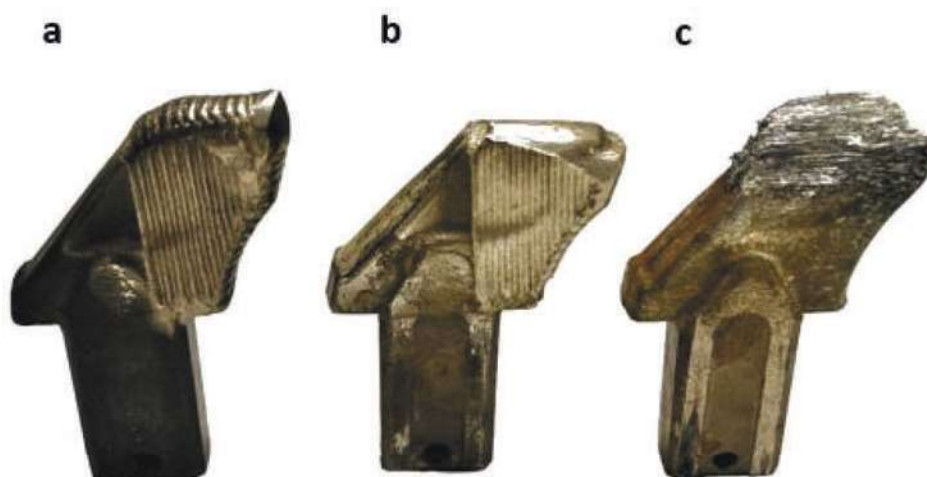


Rys. 7. Stanowisko do badania właściwości noży kombajnowych
Fig. 7. Testing stand for the examination of the quality of cutting picks



Rys. 8. Zużycie noża stycznno-obrotowego napawanego i nienapawanego a) nowy nóż zabezpieczony warstwą ochronną, b) nóż zabezpieczony warstwą ochronną po dwóch dobach pracy, c) nóż niezabezpieczony warstwą ochronną po dwóch dobach pracy

Fig. 8. Abrasive wear of the tangential-rotary pick with and without cladding surface layer: a) a new pick with cladding surface layer, b) a pick with cladding surface layer after two days of tests, c) a pick without cladding surface layer after two days of tests



Rys. 9. Zużycie noża promieniowego napawanego i nienapawanego a) nowy nóż zabezpieczony warstwą ochronną, b) nóż zabezpieczony warstwą ochronną po dwóch dobach pracy, c) nóż niezabezpieczony warstwą ochronną po dwóch dobach pracy

Fig. 9. Abrasive wear of the radial pick with and without cladding surface layer: a) a new pick with cladding surface layer, b) a pick with cladding surface layer after two days of tests, c) a pick without cladding surface layer after two days of tests

ności. Z tego powodu celowe jest dalsze prowadzenie badań dla zwiększenia trwałości noży urabiających i obniżenia kosztów ich wytworzenia.

Literatura

1. Jonak J.: Urabianie skał głowicami wielonarzędziowymi. Wydawnictwo Naukowe „Śląsk”. Katowice 2002.
2. Jonak J., Podgórski J.: Numeryczne badania skrawania skał anizotropowych dyskiem asymetrycznym. Politechnika Lubelska, Lublin 2012.
3. Kotwica K.: Zastosowanie wspomaganie wodnego w procesie urabiania skał narzędziami górniczymi. Wydawnictwa AGH, Kraków 2012.
4. Kotwica K.: Effect of selected working conditions of cutting picks on their wear during the mining of hard rocks. *Mechanics and control*, Vol. 29 No.3 2010.
5. Krauze K., Boloż Ł., Wydro T.: Parametric factors for the tangential – rotary picks quality assessment. *Archives of Mining Sciences*, Vol. 60, No. 1, s. 265-281.
6. Krauze K., Boloż Ł., Wydro T.: Ocena jakości noży stycznno-obrotowych na podstawie badań laboratoryjnych. *Materiały konferencyjne Łędziny 2012*, s. 31 – 41.
7. Krauze K.: Urabianie skał kombajnami ścianowymi. Wydawnictwo Naukowe „Śląsk”, Katowice 2002.
8. Klimpel A., Dziubiński J.: Napawanie i natryskiwanie cieplne. WNT, Warszawa 1985.
9. Klimpel A.: Technologie napawania i natryskiwania cieplnego. Wydawnictwo Politechniki Śląskiej. Gliwice 1999.
10. Larsen-Basse J., Perrott C. M.: Abrasive wear of tungsten carbide – cobalt composites. *Materials Science and Engineering*, Vol. 13, iss. 2, s. 83–91.
11. Materiały informacyjne firmy Sandvik Mining and Construction
12. Materiały informacyjne firmy Plasma System S.A.
13. Opracowanie dokumentacji technicznej organu urabiającego kombajnu szybowego dla potrzeb głębienia szybu w strefie zmrożonej. Kraków 2014 – praca badawcza niepublikowana.