

*Łukasz Herezy**

BADANIA WŁAŚCIWOŚCI MECHANICZNYCH STALI DO PRODUKCJI DYSKOWYCH NARZĘDZI URABIAJĄCYCH DLA GÓRNICTWA**

1. Wprowadzenie

W ostatnich latach polskie kopalnie węgla kamiennego na nowo zainteresowały się dyskami (nazywanymi również narzędziami dyskowymi, krążkami), jako narzędziami alternatywnymi do noży konwencjonalnych (styczno obrotowych i promieniowych). Dyski, jako narzędzia urabiające znalazły szerokie zastosowanie przede wszystkim w kombajnach pełnoprzekrojowych oraz w głowicach wiercących.

W Polsce w latach 70. i 80. XX wieku narzędzia te były stosowane ze względu na odmienny charakter pracy w stosunku do noży konwencjonalnych. Pierwsze próby zastosowania tego rodzaju narzędzia urabiającego odbyły się w KWK „Komuna Paryska”. Po kilkunastu latach prób wdrożenia dysków skończyło się na wycofaniu ich w roku 1990, mimo licznych zalet.

O zaniechaniu wykorzystywania ich w kopalniach przesądziły bardzo istotne wady wpływające na maszynę urabiającą (kombajn ścianowy).

Pod wpływem poszukiwań nowych rozwiązań w urabianiu calizny węglowej powrócono do narzędzi dyskowych. Katedra Maszyn Górniczych Przeróbczych i Transportowych Akademii Górniczo-Hutniczej wraz z Zabrzezańskimi Zakładami Mechanicznymi opracowały i wykonały frezujący organ urabiający wyposażony w narzędzia dyskowe (rys. 1).

Próby zastosowania nowej konstrukcji organu odbywały się najpierw na stanowisku badawczym w Akademii Górniczo-Hutniczej, a następnie w jednej z kopalń Jastrzębskiej Spółki Węglowej [1, 3, 4, 6, 8, 9].

* Katedra Górnictwa Podziemnego, Pracownia Eksploatacji Złóż, Akademia Górniczo-Hutnicza

** Praca wykonana w ramach badań statutowych 11.11.100.27



Rys. 1. Badania właściwości mechanicznych stali do produkcji dyskowych narzędzi urabiających dla górnictwa

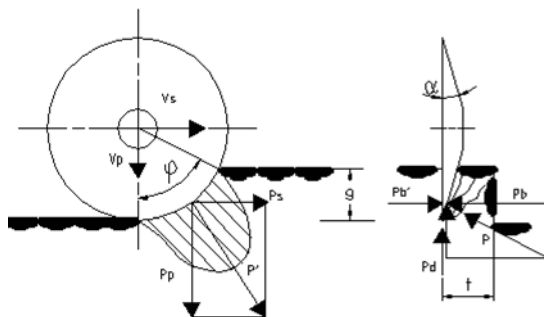
Źródło: opracowanie własne

2. Zasada pracy narzędzia dyskowego, wymagania konstrukcyjne i materiałowe

Zasada pracy dysku wymusiła poszukiwania materiału i obróbki cieplnej na jego wykonanie. W dotychczasowych doświadczeniach występowało bardzo często wyłamywanie lub zaginanie ostrza, co miało wpływ na cały proces urabiania calizny.

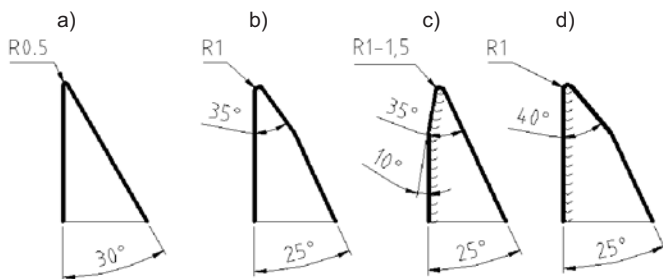
Według autorów prac [5, 7, 10] uważa się, że: *Dyskowy element urabiający* [rys. 2 z niniejszej pracy] *ma prędkość skrawania v_s i prędkość posuwu v_p , zagłębia się w caliznę na głębokość skrawu g i w związku z tym, że jest osadzony obrotowo na sworzniu, wykonuje ruch obrotowy wokół swojej osi z prędkością kątową ω . W wyniku tych ruchów dysk wywiera nacisk σ na skałę na obwodzie odpowiadającym kątowi ϕ . W wyniku tego nacisku występuje opór skały P_ϕ , który rozkłada się na siłę posuwową P_p i siłę P_s , będącą oporem toczenia dysku.*

Bazą dla wymagań materiałowych są badania prowadzone od 1975 r., w KWK „Kommuna Paryska”. Według [4, 5] uważa się, że: *W pierwszych próbach dyski wykonane były ze stali łożyskowej i miały twardość w granicach 55÷62HRC* [rys. 3a z niniejszej pracy]. *Dyski te ulegały szybkiemu zużyciu w skutek wykruszania i wyłamywania się ostrzy. W roku 1976 w KWK „Silesia” zostały wypróbowane dyski wykonane ze stali ulepszonych cieplnie, o twardości ostrza 40÷50HRC* [rys. 3b z niniejszej pracy] *i zmienionej konstrukcji.*



Rys. 2. Badania właściwości mechanicznych stali do produkcji dyskowych narzędzi urabiających dla górnictwa

Źródło: [5]



Rys. 3. Badania właściwości mechanicznych stali do produkcji dyskowych narzędzi urabiających dla górnictwa

Źródło: opracowanie własne

Dyski tej konstrukcji stosowane były w badaniach w roku 1983. Trwałość ich nie przekraczała 700 t węgla/dysk. Pod koniec 1983 roku wprowadzono do badań dyski z utwardzoną do ok. 55HRC krawędzią skrawającą [rys. 3c z niniejszej pracy], i ulepszonym do twardości 35÷45HRC korpusem. Trwałość ich wynosiła ok. 1200 t węgla/dysk. W 1984 wprowadzono dyski z napawaną częścią klinową, która miała twardość 850÷1100HV [rys. 3d z niniejszej pracy]. Trwałość ich dochodziła do 4000 t węgla/dysk”.

Potwierdzeniem obserwacji zachowania się dysków w ruchu były badania przeprowadzone przez pracowników Katedry Maszyn Górniczych, Transportowych i Przerobczych Akademii Górniczo-Hutniczej [6].

W przeprowadzonych w 1983 roku próbach, na stalach wyszczególnionych w tabeli 1 stwierdzono, iż najlepiej spisywały się stale 36HNM, NZ3, NC10 i ŁH15SG. Wynikało z nich, że stal 36HNM i NZ3 mają największą trwałość (nie uległy uszkodzeniom), a stale NC10 i ŁH15SG mniejszą (uległy wykruszeniu), natomiast stale St6 i St5 wykazały małą przydatność na narzędzia dyskowe do urabiania calizny węglowej.

Na podstawie dostępnej literatury przyjęto kryteria, według których wybrano do rozważań stal z grupy chromowo-niklowo-molibdenowej [2, 6].

TABELA 1

**Badania właściwości mechanicznych stali
do produkcji dyskowych narzędzi urabiających dla górnictwa**

Lp.	Materiał (stal)	Obróbka cieplna	Czas pracy	Rodzaj uszkodzenia
1	St 6	Hartowanie bez odpuszczania	1 skraw	Wykruszenie ostrza
2	St 6	Hartowanie z odpuszczaniem	0,8 skrawu	Stępienie ostrza
3	St 5	Hartowanie bez odpuszczania	1 skraw	Wykruszenie ostrza
4	36HNM	Hartowanie z odpuszczaniem	6 skrawów	Ślady zużycia
5	NZ 3	Hartowanie z odpuszczaniem	8 skrawów	Ślady zużycia
6	NC 10	Hartowanie z odpuszczaniem z napawanym ostrzem	7 skrawów	Ślady zużycia
7	ŁH15SG	Hartowanie z odpuszczaniem	8 skrawów	Ślady zużycia

Ostatecznie do badań użyto stal 34HNM. Jest to stal konstrukcyjna stopowa do ulepszenia cieplnego. Stal ta charakteryzuje się dobrymi właściwościami mechanicznymi oraz posiada szeroki zakres temperaturowy obróbki cieplnej. Wykorzystuje się ją na elementy bardzo obciążone takie jak, np. wały do turbin siłowni wiatrowych.

3. Badania

Badania laboratoryjne miały wykazać, który z wariantów obróbki cieplnej będzie pozwalał na uzyskanie jak najlepszych właściwości mechanicznych wybranego wcześniej gatunku stali 34HNM (PN-89/H-84030/04).

W celu przeprowadzenia obróbki cieplnej przygotowano cztery próbki.

- Próbki nr 1, 2 o wymiarach $\varnothing 170 \times 50$ mm zostały wycięte z pręta kutego o średnicy 170 mm.
- Próbki nr 3, 4 o wymiarach $170 \times 135 \times 50$ mm zostały wycięte z kutego wału stosowanego do siłowni wiatrowych.

Przygotowane próbki na początku badań zostały poddane obróbce cieplnej, a jej parametry zamieszczone zostały w tabeli 2.

Następnie z obrobionych cieplnie próbek zostały wycięte próbki do badań właściwości mechanicznych, takich jak:

- uderność.
- wytrzymałość mechaniczna:
- granica plastyczności.
- wytrzymałość na rozciąganie.
- przewężenie.
- wydłużenie.
- mikrotwardość.

Dodatkowo wykonana została próba hartowności – próba Jominiego.

TABELA 2

**Badania właściwości mechanicznych stali
do produkcji dyskowych narzędzi urabiających dla górnictwa**

Nr próbki	Hartowanie [°C]	Odpuszczanie [°C]	Nawęglanie [°C]	Rm [MPa]	A5 [%]	Z [%]	Udarność [J]			Twardość HRC
							Po-przeczna	Wzdłużna	Skośna	
1	860/2,5 h olej	550/4 h powietrze		1340	3,1	11,1	19,7	24,04	21,7	42
2	860/2,5 h olej	620/4 h powietrze		1110	4,3	17,7	47	59	49	37
3	860/2,5 h olej	550/4 h powietrze	930/6 h z piecem	1230	13,4	49	71	86	80	42
4	860/2,5 h olej	620/4 h powietrze	930/6 h z piecem	974	17	59,6	115	145	128	37
5	Próbki wycięte z dysku pracującego w warunkach kopalnianych Stal 34HM, normalizowana, hartowana i odpuszczana						12	16	14	42÷44

Badania niszczące wykonywane były zgodnie z normami:

- Udarność: PN-79/H-04371, wykonana na młocie wahadłowym typu PSW-300 MFL-system (producent RFN- Mannheim, zakres obciążenia 300 J, dokładność wskazania 0,1 J, temperatura otoczenia +20°C. Karb wykonany był w kształcie litery V).
- Wytrzymałość na rozciąganie – PN-91/H-04310, wykonana na maszynie wytrzymałościowej typu ZD-40 (producent DDR, zakres obciążenia 200 kN/400 kN, dokładność wskazania 1 kN/2 kN, temperatura badania +20°C).
- Mikrotwardość mierzona metodą Hanemmana (metodą nieznormalizowaną), badanie wykonano na mikroskopie Neofot II.
- Próba hartowności Jominiego – DIN50191, temperatura cieczy chłodzącej +19°C, temperatura otoczenia +20°C.

Dodatkowo zostały wykonane badania składu chemicznego próbek, ze względu na duże rozmiary elementów (możliwość segregacji pierwiastków stopowych), z których zostały wycięte próbki nr 1, 2, 3, 4.

4. Podsumowanie części badawczej

W tabeli 2 zestawione zostały najbardziej istotne właściwości mechaniczne. W wyniku porównania tych właściwości, została dobrana obróbka cieplna, po której zostaną uzyskane właściwości plastyczne i wytrzymałościowe, które będą w odpowiedniej korelacji ze sobą. W tabeli 2 zostały umieszczone również wartości udarności i twardości dla noża

dyskowego wykorzystywanego do urabiania calizny węglowej. Z powodu niemożliwości wycięcia większej liczby próbek dokonano tylko badań udarności i twardości.

Jak wynika z przedstawionych wyników, wartość udarności dla próbek obrabianych cieplnie podczas badań jest w każdym przypadku większa od udarności próbek wyciętych z dysku eksploatowanego w kopalni. Wartość twardości materiału z dysku pracującego w kopalni jest zbliżona do twardości stali 34HNM, ulepszanej cieplnie w temperaturze hartowania 860°C i odpuszczania 550°C. Natomiast w stosunku do ulepszania cieplnego w temperaturze 860°C i odpuszczania 620°C, wartość jest mniejsza (wartości zależą od temperatury odpuszczania). W wyższych temperaturach odpuszczania ilość defektów struktury ulega zmniejszeniu i powoduje zmniejszenie naprężeń po hartowaniu.

W wyniku ulepszania cieplnego uzyskano we wszystkich przypadkach strukturę sorbityczną.

Pod wpływem ulepszania cieplnego miała zostać uzyskana twarda powierzchnia zewnętrzna z miękkim rdzeniem, który nie byłby podatny na kruche pękanie. Cechę tę uzyskano dla próbki nr 3.

Uzyskane właściwości plastyczne i wytrzymałościowe, znacznie odbiegają od siebie nawet po tej samej obróbce cieplnej, mimo tego, że są to próbki z tego samego gatunku stali (34HNM). Różnice we właściwościach mechanicznych nie są spowodowane różnicą w składzie chemicznym, ponieważ zawartość pierwiastków stopowych mierzona jest w setnych częściach procenta, co nie ma wpływu na właściwości materiału.

Po porównaniu wyników wywnioskowano, iż właściwości plastyczne są o wiele lepsze dla próbek 3 i 4 wyciętych z dużej odkuwki. Spowodowane to zostało wycięciem próbek wzdłużnie do kierunku walcowania.

Dla próbek 1 i 2 właściwości plastyczne są gorsze, ponieważ próbki do badań wytrzymałościowych zostały wycięte poprzecznie do kierunku kucia i kierunku pasm. Jednak właściwości wytrzymałościowe są wyższe dla próbek 1 i 2 od wartości dla próbek 3 i 4. Wynika to z tego, iż kosztem właściwości plastycznych (wydłużenie, przewężenie) maleją wytrzymałościowe (wytrzymałość na rozciąganie, granica plastyczności).

Czas hartowania próbek ulepszanych cieplnie został tak dobrany, aby na końcach noża dyskowego (ostrzu) nie nastąpił rozrost ziarna. Nadmierny rozrost ziarna spowodowałby osłabienie ostrza, a to mogłoby spowodować jego wykruszanie podczas pracy.

Próbka nr 3 charakteryzuje się najlepszą współzależnością między właściwościami mechanicznymi a plastycznymi w stosunku do pozostałych trzech próbek.

Materiał badany z noża dyskowego używanego do urabiania calizny był poddany wyżarzaniu normalizującemu (normalizowanie), w celu uzyskania struktury drobnoziarnistej, a następnie został zahartowany i odpuszczony do twardości 42÷44 HRC. Próbki do badań mikroskopowych z noża dyskowego eksploatowanego zostały wycięte w trzech charakterystycznych miejscach. Próbka 1 została wycięta w miejscu, gdzie nastąpiło wyłamanie ostrza noża dyskowego. Wyłamanie spowodowane zostało zablokowaniem się dysku na trzpieniu, który został odkształcony w trakcie pracy. Próbka 2 została wycięta w miejscu, gdzie ostrze noża dyskowego odkształciło się plastycznie. Odkształcenie to spowodowane było najprawdopodobniej natrafieniem dysku w caliznie węglowej na bardzo twardą skałę (przerost). Próbka 3 wycięta została z miejsca gdzie ostrze noża dyskowego nie uległo zmianom. Wskazuje to na prawidłową pracę tej części ostrza dysku. Po zablokowaniu się dysku na trzpieniu ta część ostrza nie brała udziału w urabianiu calizny węglowej [2].

5. Wnioski

Obróbka cieplna stali powinna zapewniać jak najlepszą korelację między właściwościami wytrzymałościowymi a właściwościami plastycznymi. Na podstawie zestawienia danych po badaniach niszczących można wywnioskować, iż najlepszą współzależność między właściwościami wytrzymałościowymi i plastycznymi uzyskano po obróbce cieplnej, jakiej poddano próbkę 3 (tab. 2).

Czas obróbki cieplnej powinien być tak dobrany, aby na ostrzu noża dyskowego nie nastąpił rozrost ziarna, ponieważ nadmierny rozrost spowoduje jego osłabienie. Hartowanie nie powinno być hartowaniem na wskroś.

Podczas hartowania istnieje możliwość powstania mikropęknięć na ostrzu noża dyskowego w wyniku szoku termicznego. Mikropęknięcia w miarę pracy noża dyskowego mogą się rozprzestrzeniać i spowodować wykruszenie.

Strefa zahartowana od powierzchni zewnętrznej noża dyskowego powinna być większa od odległości punktu Bielajewa.

Ewentualne nawęglanie, jeżeli byłoby wykonywane, trzeba by było przeprowadzić w taki sposób, aby warstwa nawęglona miała grubość minimalną 1,5 mm, a maksymalną 3 mm. W celu uzyskania jak najlepiej nawęglonej warstwy nawęglanie powinno przeprowadzić się w atmosferach ochronnych.

Powinno zapewnić się również jak najlepszą współpracę między sworzniem a nożem dyskowym tak, aby nie następowało blokowanie obrotu dysku wokół własnej osi, ponieważ powoduje to nagrzanie się dysku do takiej temperatury, przy której następuje przemiana struktury sorbitycznej w strukturę martenzytyczną.

LITERATURA

- [1] Caban W., Żak E.: Organy urabiające, elementy złączne oraz urabiające do urabiania calizny węglowej metodą odłupywania tocznego. *Mechanizacja i Automatyzacja Górnictwa*, nr 5 (192), maj 1985
- [2] Herezy Ł., Osuch W.: Dobór materiału i obróbki cieplnej na noże do urabiania węgla. Konferencja zorganizowana z okazji 55-lecia Studenckiego Koła Naukowego Metaloznawców „Inżynieria materiałowa wczoraj, dziś i jutro”, Kraków, maj 2005
- [3] Klich A.: Niekonwencjonalne techniki urabiania skał. Katowice, Wydawnictwo Naukowe „Śląsk”, 1998.
- [4] Krauze K.: Frezujące organy ślimakowe wyposażone w narzędzia dyskowe. *Maszyny Górnicze*, nr 100, grudzień 2004
- [5] Krauze K.: Urabianie skał kombajnami ścianowymi. Katowice 2000
- [6] Krauze K., Koziol M., Czapla K., Świderek W.: Wyniki z badań organu ślimakowego ścianowego wyposażonego w dyski niesymetryczne. III konferencja Kierunki mechanizacji „Problemy urabiania i przeróbki skał”, Kraków, listopad 1982
- [7] Krauze K.: Zastosowanie dyskowych narzędzi urabiających w kombajnach ścianowych dla poprawy efektywności urabiania węgla. Konferencja Naukowo-Techniczna „Drażnienie i utrzymanie wyrobiska korytarzowych i komorowych w kopalniach na dużych głębokościach”, Kokotek koło Lublińca, październik 1983
- [8] Krauze K.: Zastosowanie dyskowych noży urabiających w nowoczesnych głowicach urabiających kombajnów chodnikowych. *Kierunki mechanizacji: zbiór referatów*, listopad 1983
- [9] Łyp J.: Osiągnięcia KWK Janina w zakresie sortymentów grubych poprzez zastosowanie do urabiania węgla organów wyposażonych w dyskowe elementy urabiające. *Mechanizacja i Automatyzacja Górnictwa*, nr 11 (240), listopad 1989
- [10] Matyja S.: Badania nad możliwością zastosowania do kombajnów dyskowych elementów urabiających. *Mechanizacja i Automatyzacja Górnictwa*, nr 8 (93), sierpień 1976