

# Porównanie właściwości ostrzy skrawających ze stali szybko tnących wytworzonych metodami konwencjonalnymi i w procesie metalurgii proszków

## Comparison of properties of cutting edges made of HSS obtained by conventional methods and in powder metallurgy process

MACIEJ JAN KUPCZYK  
JĘDRZEJ KOMOLKA \*

DOI: <https://doi.org/10.17814/mechanik.2017.10.121>  
English version available on: [www.mechanik.media.pl](http://www.mechanik.media.pl)

Przedstawiono fragmenty badań właściwości technologicznych i eksploatacyjnych ostrzy skrawających wykonanych z konwencjonalnej i spiekanej stali szybko tnącej o podobnym składzie chemicznym. Badania miały charakter porównawczy i dotyczyły m.in. oceny składu chemicznego, twardości struktury i trwałości podczas skrawania stali do ulepszenia.

**SŁOWA KLUCZOWE:** ostrza skrawające, stal szybko tnąca, właściwości technologiczne i eksploatacyjne

*Selected fragments of investigations of technological and functional properties of cutting edges made of conventional and sintered high speed steel with similar chemical composition are presented. Investigations of technological and functional properties have comparative character and concern among other things estimation of chemical composition, hardness, structure and durability during toughening steel machining.*

**KEYWORDS:** cutting edges, high-speed steel, technological and functional properties

Konwencjonalna stal szybko tnąca wciąż znajduje szerokie zastosowanie w produkcji narzędzi skrawających pracujących przy umiarkowanych prędkościach skrawania. Dzieje się tak pomimo dynamicznego rozwoju innych materiałów na ostrza skrawające. Głównymi zaletami stali szybko tnących są znaczna wytrzymałość na zginanie i skręcanie w porównaniu z innymi materiałami narzędziowymi oraz stosunkowo niski koszt wytworzenia. Ze względu na osiągnięcie kresu poprawy właściwości eksploatacyjnych ostrzy skrawających z konwencjonalnych stali szybko tnących zaczęto stopniowo zastępować je narzędziami ze spiekanych stali szybko tnących, stosowanymi głównie w warunkach produkcji wielkoseryjnej i masowej ze względu na wyższy koszt ich wytwarzania [1÷5].

Korzystne efekty zastosowania metalurgii proszków w miejsce klasycznej metody hutniczej do wytwarzania ostrzy skrawających ze stali szybko tnących upatrywano w tym, że metalurgia proszków daje większą swobodę w doborze składu chemicznego wyrobu, w który można praktycznie dowolnie ingerować, łącząc składniki nierozpuszczające się wzajemnie, ze skrajnie różnymi temperaturami topnienia, będące materiałami o różnych wiązaniach chemicznych.

Porównanie właściwości konwencjonalnej i spiekanej stali szybko tnącej i określenie zakresu ich stosowalności wydaje się tylko pozornie proste i oczywiste. Na właściwości ostrzy ze stali szybko tnących wpływa nie tylko bardziej lub mniej równomierne rozłożenie węglików w ich strukturze – na co często zwraca się uwagę w literaturze.

Ze wstępnych badań własnych wynika, że to w znacznym stopniu odmienna morfologia powierzchni różnicuje właściwości tribologiczne i w związku z tym ma równie, jeżeli nie bardziej znaczący wpływ na właściwości eksploatacyjne ostrzy skrawających. Odmienna morfologia powierzchni sprawia, że ostrza skrawające z konwencjonalnej i spiekanej stali szybko tnącej mają inną trwałość w warunkach skrawania na sucho i w obecności płynu chłodząco-smarującego oraz odmiennie zachowują się w zależności od prędkości skrawania i to w wielu przypadkach niekoniecznie na korzyść dużo droższej spiekanej stali szybko tnącej. Stąd istnieje potrzeba jasnego określenia uzasadnionego zakresu stosowalności obu odmian stali szybko tnących. Jest to przedmiotem niniejszego artykułu.

### Materiał zastosowany w badaniach

■ **Materiał na ostrza skrawające.** Do wykonania wielostrzowych płytek skrawających użyto dwóch rodzajów stali szybko tnących o podobnym składzie chemicznym:

- konwencjonalną stal szybko tnącą HS6-5-2 w postaci kutej i walcowanej;
- spiekaną stal szybko tnącą PM6-5-2.

Wybór tych gatunków stali szybko tnących podyktowany był ich powszechnym stosowaniem.

Płytki skrawające z konwencjonalnej stali szybko tnącej wykonano z wyrobów hutniczych w postaci kęsów, natomiast płytki skrawające ze spiekanej stali szybko tnącej wykonano z płaskownika. W stanie dostawy oba rodzaje stali były w stanie zmiękczone.

Po przygotowaniu półfabrykatów wycięto płytki skrawające za pomocą elektrodrażarki drutowej Classic 2 firmy Agiecut. Uzyskano w ten sposób płytki skrawające typu SNUN w kształcie prostopadłościennym, z kątem wierzchołkowym  $\epsilon_r = 90^\circ$  i o wymiarach: długość boku płytki  $l = 9,525 \pm 0,08$  mm, grubość płytki  $s = 3,18$  mm i odległość między wierzchołkiem płytki a okręgiem wpisanym  $m = 1,644 \pm 0,13$  mm. Płytki o tej geometrii są przeznaczone do obróbki stali do ulepszenia cieplnego, stopów żarowytrzymałych, stali nierdzewnych i miękkich stali o niskiej zawartości węgla. Po wycięciu płytki szlifowano wykończeniowo oraz polerowano i uzyskano chropowatość  $Ra = 0,1$   $\mu\text{m}$ .

Oczekiwane właściwości stali HS6-5-2 i PM6-5-2 uzyskano po obróbce cieplnej polegającej na hartowaniu i odpuszczaniu. W celu uzyskania wysokiej twardości ok. 65 HRC przyjęto temperaturę austenitizowania  $1150^\circ\text{C}$ , a temperaturę odpuszczania  $560^\circ\text{C}$ . Właściwie dobrana temperatura odpuszczania umożliwia wystąpienie zjawiska twardości wtórnej. Tak przygotowane ostrza zachowują zdolność do skrawania w podwyższonej temperaturze bliskiej temperaturze odpuszczania materiału ostrza [2, 3].

\* Prof. dr hab. inż. Maciej Jan Kupczyk ([maciej.kupczyk@put.poznan.pl](mailto:maciej.kupczyk@put.poznan.pl)), mgr inż. Jędrzej Komolka ([jedrzej.komolka@gmail.com](mailto:jedrzej.komolka@gmail.com)) – Instytut Technologii Mechanicznej Politechniki Poznańskiej

Na rys. 1 przedstawiono przebieg obróbki cieplnej. Do tego celu użyto pieca próżniowego SECO/WARWICK typu 6.0VPT-4022/24IQHV z systemem wysokiej próżni.



Rys. 1. Przebieg obróbki cieplnej płytek ze stali szybko tnącej w piecu próżniowym SECO/WARWICK typu 6.0VPT-4022/24IQHV: linia czerwona – temperatura; linia seledynowa – ciśnienie

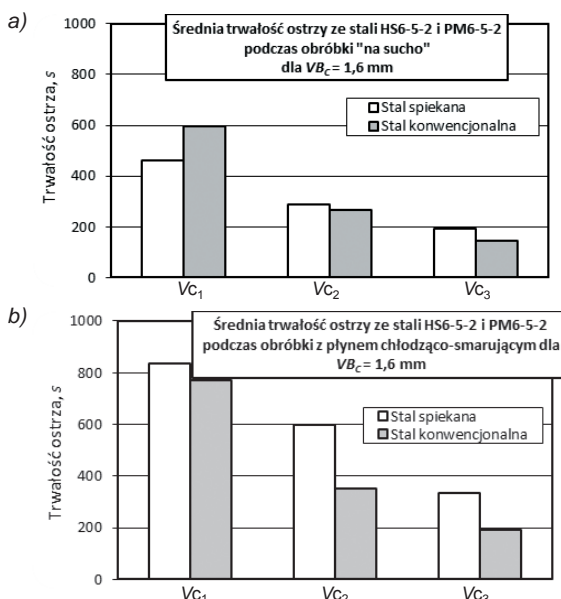
■ **Materiał obrabiany.** W badaniach zastosowano materiał obrabiany w postaci wałków o średnicy  $\varnothing 110$  mm o długości 350 mm ze stali do ulepszenia cieplnego 40HM-T o twardości 30 HRC.

### Badania jakości eksploatacyjnej

Badania zużycia i trwałości ostrzy skrawających prowadzono w procesie toczenia wzdłużnego stali 40HM-T ulepszonej cieplnie do twardości  $26 \pm 2$  HRC. Wymienne płytki skrawające mocowano w uchwycie hR 110.16-220. Po zamocowaniu płytki skrawającej w uchwycie uzyskano następującą geometrię: kąt wierzchołkowy  $\kappa_r = 75^\circ$ , kąt przyłożenia  $\alpha_0 = 6^\circ$ , kąt naroża  $\epsilon_r = 90^\circ$ , kąt natarcia  $\gamma_0 = -6^\circ$ , kąt pochylenia  $\lambda_s = -6^\circ$ .

Przyjęto następujące warunki obróbki:

- prędkość skrawania  $v_{c1} = 34$  m/min,  $v_{c2} = 43$  m/min,  $v_{c3} = 60$  m/min,
- posuw  $f = 0,204$  mm/obr,



Rys. 2. Średnia trwałość ostrzy z konwencjonalnej i spiekanej stali szybko tnącej przy obróbce stali 40HM-T: a) bez płynu chłodząco-smarującego, b) z płynem chłodząco-smarującym

- głębokość skrawania  $a_p = 0,75$  mm,
- toczenie na sucho lub w obecności płynu chłodząco-smarującego w postaci półsyntetycznej emulsji Statoil Toolway S455N produkcji norweskiej.

Przedmiotem badań były płytki skrawające ze stali szybko tnących wytworzonych:

- konwencjonalnie (HS6-5-2),
- w procesie metalurgii proszków (PM6-5-2).

Na podstawie uzyskanych krzywych zużycia wyznaczono trwałość ostrzy skrawających dla wskaźnika stępienia  $VB_c = 1,6$  mm. Wyniki przedstawiono na rys. 2.

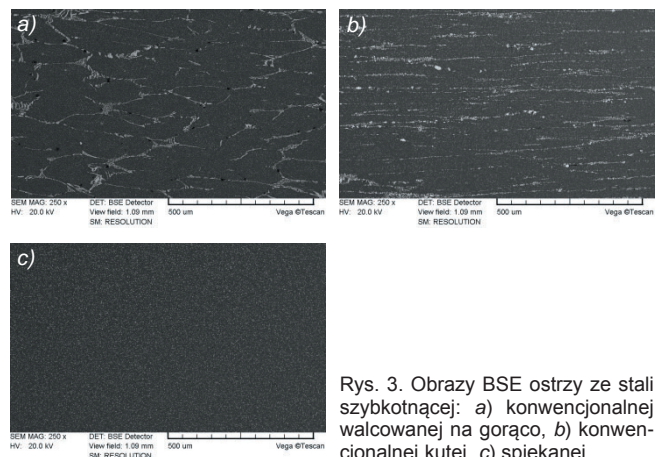
### Badania weryfikacyjne

Badania weryfikacyjne miały na celu znalezienie przyczyn odmiennego zachowania się płytek skrawających z konwencjonalnej i spiekanej stali szybko tnącej w trakcie toczenia stali do ulepszenia cieplnego 40HM-T.

Do pomiaru twardości metodą Vickersa zastosowano twardościomierz PICODENTOR HM500 firmy Fischer. Jak wykazały pomiary, twardość ostrzy ze stali spiekanej jest nieznacznie większa (5%) i odpowiadała danym firmy Sandvik [3].

Rzeczywisty skład chemiczny ostrzy skrawających sprawdzono za pomocą spektrometru fluorescencji rentgenowskiej – Fischerscope X-ray XDV-SDD Fisher. Średnie wartości zawartości pierwiastków stopowych nie odbiegały istotnie od podanych w odpowiednich normach.

Przy pomocy mikroskopu skaningowego Tescan Vega 5135 wykonano serię zdjęć ostrzy z konwencjonalnej i spiekanej stali szybko tnącej (rys. 3).



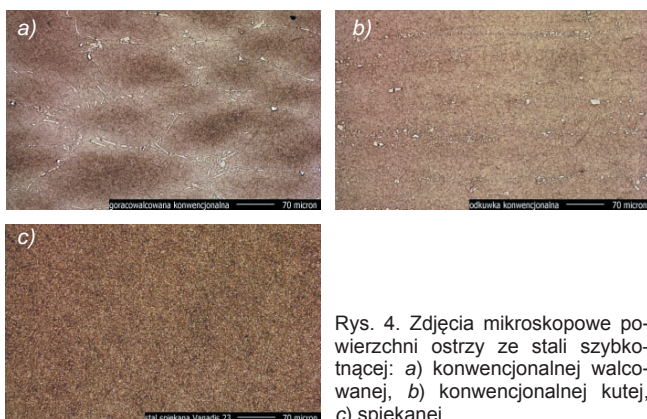
Rys. 3. Obrazy BSE ostrzy ze stali szybko tnącej: a) konwencjonalnej walcowanej na gorąco, b) konwencjonalnej kutej, c) spiekanej

Zdjęcia potwierdziły dużo bardziej równomierne rozmieszczenie węglików w osnowie w przypadku stali spiekanej.

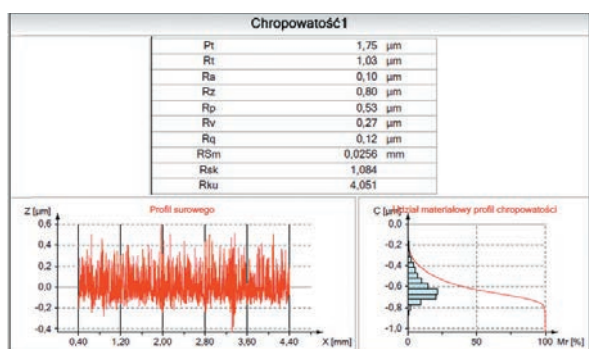
W konwencjonalnej stali szybko tnącej zakupionej w Szwecji, pomimo dobrego przekucia w celu rozbicia siatki węglików, można było zauważyć, że węgliki nie są równomiernie rozłożone i tworzą miejscami pasmowe skupiska, co jest typowym objawem występującym w przypadku stali szybko tnących poddanych walcowaniu, kuciu wydłużającemu lub kuciu wydłużającemu z pośrednim spęczaniem.

Za pomocą mikroskopu metalograficznego Neophot 32 wykonano serię zdjęć ostrzy z konwencjonalnej i spiekanej stali szybko tnącej.

Obrazy z mikroskopu wskazują na istotną różnicę w morfologii powierzchni konwencjonalnej i spiekanej stali szybko tnącej. Powierzchnię stali spiekanej tworzą ziarna o ostrych krawędziach, natomiast po walcowaniu i kuciu powierzchnia nie ma takiej topografii (ziarna są „zlane”, tworzą bardziej ciągłą powierzchnię) pomimo tego, że obie powierzchnie mają podobną chropowatość  $Ra = 0,1 \mu\text{m}$ .



Rys. 4. Zdjęcia mikroskopowe powierzchni ostrzy ze stali szybko tnącej: a) konwencjonalnej walcowanej, b) konwencjonalnej kutej, c) spiekanej



Rys. 5. Wyniki pomiarów chropowatości powierzchni płytek skrawających ze stali szybko tnącej konwencjonalnej

Na podstawie zmierzonych parametrów topografii powierzchni określono objętość olejową powierzchni ostrzy skrawających z konwencjonalnej kutej, konwencjonalnej walcowanej na gorąco i spiekanej stali szybko tnącej. Wartości objętości olejowej powierzchni obliczono z zależności:

$$V_o = R_{vk}(100 - M_{r2}) / 2000 \text{ mm}^3/\text{cm}^2$$

gdzie:  $V_o$  – objętość olejowa powierzchni,  $R_{vk}$  – wgłębienie powierzchni,  $M_{r2}$  – udział materiałowy dla dolnej granicy rzędzenia profilu chropowatości.

Parametr  $R_{vk}$  opisuje wgłębienia powierzchni. Jest on miarą zdolności eksploatowanych powierzchni ostrza do utrzymywania smaru w istniejących wgłębieniach.

Na podstawie wykresów topografii powierzchni uzyskano następujące wartości objętości olejowej dla stali: spiekanej –  $0,7206 \text{ mm}^3/\text{cm}^2$ , konwencjonalnej kutej –  $0,4237 \text{ mm}^3/\text{cm}^2$ , konwencjonalnej walcowanej na gorąco –  $0,2856 \text{ mm}^3/\text{cm}^2$ .

Wyniki badań wskazują, że pomimo wręcz identycznej chropowatości płytek skrawających z konwencjonalnej i spiekanej stali szybko tnącej, wynoszącej  $R_a = 0,1 \mu\text{m}$ , różnią się one znacznie pod względem objętości olejowej powierzchni. Powierzchnia spiekanej stali szybko tnącej charakteryzuje się blisko dwukrotnie większą objętością olejową od kutej konwencjonalnej stali szybko tnącej i przeszło dwuipółkrotnie większą od walcowanej na gorąco konwencjonalnej stali szybko tnącej.

W celu dokonania pełnej interpretacji badań właściwości eksploatacyjnych ostrzy skrawających podczas toczenia stali do ulepszenia cieplnego przeprowadzono dodatkowo pomiary współczynnika tarcia suchego oraz mieszanego w obecności płynu chłodząco-smarującego. Warunki zastosowane podczas badań tribologicznych przedstawiono w tabl. I.

TABLICA I. Warunki badań tribologicznych

Material pary trącej	<ul style="list-style-type: none"> <li>stal konwencjonalna HS6-5-2</li> <li>spiekana PM6-5-2</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>próbka</li> <li>przeciwpróbka</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>stal 40HM-T</li> </ul>
Prędkość obwodowa	27,6 m/min
Obciążenie $F$	300/400/500/600 N
Czas $t$	<ul style="list-style-type: none"> <li>1200 s dla tarcia suchego</li> <li>2400 s dla tarcia mieszanego</li> </ul>
Tarcie (metoda ślizgowa)	<ul style="list-style-type: none"> <li>suche</li> <li>w obecności emulsji</li> </ul>

W tabl. II podano średnie wartości współczynnika tarcia suchego i mieszanego.

TABLICA II. Wartości współczynnika tarcia suchego i mieszanego

Obciążenie, N	Rodzaj stali szybko tnącej		
	Kuta	Walcowana	Spiekana
Współczynnik tarcia suchego			
300	0,090	0,070	0,165
Współczynnik tarcia mieszanego			
300	0,028	0,028	0,024
400	0,046	0,044	0,032
500	0,061	0,065	0,040
600	0,075	0,083	0,053

Badania tribologiczne potwierdziły wyniki trwałości ostrzy podczas toczenia na sucho, wartości  $V_o$  oraz obserwacje obrazów SE z mikroskopu skaningowego.

## Wnioski

Ostrza skrawające ze stali spiekanej wykazują nieco lepsze właściwości technologiczne (np. nieznacznie większą średnią twardość i dużo bardziej równomierny rozkład węglików – brak niekorzystnej pasmowości powstającej podczas kucia lub walcowania).

Ostrza skrawające ze spiekanej stali szybko tnącej podczas skrawania z płynem chłodząco-smarującym zachowały znacznie większą trwałość od ostrzy z konwencjonalnej stali szybko tnącej ze względu na większą objętość olejową powierzchni, wpływającą na mniejszą wartość współczynnika tarcia o materiał obrabiany.

W warunkach skrawania na sucho ostrza skrawające z konwencjonalnej stali szybko tnącej charakteryzowały się dla najmniejszej z zastosowanych prędkości skrawania ( $v_c = 34 \text{ m/min}$ ) większą trwałością od stali spiekanych ze względu na korzystniejszą morfologię powierzchni (brak ziaren o ostrych krawędziach, co wpłynęło na mniejszą wartość współczynnika tarcia suchego).

**Autorzy składają podziękowanie dr. inż. R. Majchrowskiemu z PP i dr. inż. M. Jenkowi z UZ za udostępnienie aparatury.**

## LITERATURA

- Harlin P., Olsson M. „Abrasive wear resistance of starch consolidated and sintered high speed steel”. *Wear*. 267 (2009): s. 1482–1489.
- Kupczyk M.J. „Inżynieria powierzchni – narzędzia skrawające”. Poznań: Wydawnictwo Politechniki Poznańskiej, 2015.
- Materiały firmy Sandvik.
- Mesquita H.A., Barbosa C.A. „Evaluation of as-hipped PM High Speed Steel for production of large-diameter cutting tools”. *Mater. Sci. Forum*. 416–418 (2003): s. 235–240.
- Mesquita R.A., Barbosa C.A. „High-speed steels produced by conventional casting, spray forming and powder metallurgy”. *Mater. Sci. Forum*. 496–499 (2005): s. 244–250.