

doc.dr inż. Kazimierz PLUCIŃSKI, dr inż. Jan GĄSIENICA-SAMEK
Wojkowska Akademia Techniczna w Warszawie

OCENA SKRAWALNOŚCI METALI PRZY TOCZENIU ZA POMOCĄ WSKAŹNIKA WYDAJNOŚCI WŁAŚCIWEJ SKRAWANIA

1. Wstęp

Jednym z podstawowych problemów związanych z teorią i praktyką obróbki skrawaniem jest brak jednoznacznego i wygodnego wskaźnika charakteryzującego skrawalność materiałów obrabianych.

Do określenia skrawalności materiałów stosuje się różne wskaźniki jak na przykład: ekonomiczną prędkość skrawania, temperaturę, siłę, jakość powierzchni obrobionej, rodzaj wiórów. Charakteryzują one materiał obrabiany w sposób zawężony do pewnej określonej własności.

2. Wydajność właściwa skrawania

Wskaźnikiem o szerszych niż wyliczone powyżej cechach techniczno-ekonomicznych jest wydajność właściwa skrawania zawierająca w sobie informacje o ilościach zeskrawanego materiału na jednostkę mocy i czasu, a więc na jednostkę pracy.

Wydajność właściwą skrawania V określa się z zależności

$$V = \frac{V_s}{t_s \cdot N_{WR}} \quad / \text{cm}^3 / \text{kW} \cdot \text{min} /, \quad / 1 /$$

gdzie:

V_s - objętość zeskrawanego materiału, cm^3 ;

t_s - czas skrawania, min;

N_{WR} - średnia moc skrawania, kW.

Objętość V_s przy toczeniu można wyznaczyć z wymiarów przedmiotu przed i po obróbce

$$V_s = 7,85 \cdot 10^{-4} \cdot (D^2 - d^2) \cdot l, \quad / \text{cm}^3 / \quad / 2 /$$

gdzie:

D - średnica przedmiotu przed obróbką, mm;

d - średnica przedmiotu po obróbce, mm;

l - długość toczenia, mm.

Czas skrawania t_g wyznacza się za pomocą czasomierza włączonego w momencie rozpoczęcia i wyłączzonego w chwili zakończenia skrawania.

Moc na wrzecionie N_{WR} jest jedną z charakterystyk dynamicznych obrabiarki, która powinna być podana przez producenta. Z uwagi na brak tych cech w danych charakterystycznych obrabiarek, należy określić ją przy użyciu dostępnej aparatury /1/.

2.1. Normowana wydajność właściwa skrawania.

Dla uzyskania jednoznacznego wskaźnika skrawalności V należy ustalić warunki jego określania oraz uwzględnić błędy przypadkowe to znaczy zastosować rachunek statystyczny.

Opracowanie statystyczne najwygodniej wykonać metodą Studenta dla próbki o małej liczności otrzymując normowaną wydajność właściwą skrawania

$$V = \bar{v} \pm t_{\alpha} \cdot s_{\bar{v}},$$

/3/

gdzie:

\bar{v} - średnia arytmetyczna wydajność próbki;

$s_{\bar{v}}$ - dyspersja dla średniej V ;

t_{α} - stała Studenta zależna od współczynnika istotności i liczby stopni swobody.

Warunki określenia V mogą być ustalone dla:

1 - pewnych grup materiałów na przykład

- stale konstrukcyjne;
- żeliwa;
- stopy metali nieżelaznych;

2 - rodzajów obróbki

- obróbka zgrubna;
- obróbka średniokładna;
- obróbka wykańczająca.

2.2. Uogólniona wydajność właściwa skrawania.

Wydajność właściwa skrawania jest cechą charakteryzującą jednozna-

oznie materiał obrabiany zależną jednak od parametrów obróbki, a przede wszystkim posuwu /p/, głębokości /g/ i prędkości skrawania /v/ według zależności potęgowej

$$V = C_V \cdot g^a \cdot p^b \cdot v^c, \quad /4/$$

gdzie:

C_V , a, b, c - współczynniki stałe dla określonych materiałów pary roboczej, geometrii ostrza i innych niewymienionych parametrów procesu skrawania.

3. Opór właściwy skrawania.

Wielkością związaną funkcyjnie z wydajnością właściwą skrawania V jest opór właściwy skrawania k_g . Umożliwia to wyznaczenie go bez dodatkowych badań, co jest korzystne ekonomicznie, z wzoru

$$k_g = \frac{k}{V} \quad /N/mm^2/, \quad /5/$$

gdzie:

k - współczynnik stały zależny tylko od przyjętych jednostek dla V i k_g .

Współczynnik k wyznacza się z równania wymiarowego

$$V \cdot k_g = \left[\frac{cm^3}{kW \cdot min} \cdot \frac{N}{mm^2} \right] = k = 60\ 000 \quad /6/$$

Ostatecznie wzór /5/ dla przyjętych powyżej jednostek dla V i k_g przyjmuje postać

$$k_g = \frac{60\ 000}{V} \quad /N/mm^2/ \quad /7/$$

3.1. Normowany opór właściwy skrawania

Uwzględniając statystykę zastosowaną do znalezienia V normowanego otrzymuje się

$$k_g = \bar{k}_g \pm \Delta k_g \quad /8/$$

$$k_s = \frac{k_{s \max} + k_{s \min}}{2} = \frac{60\ 000}{v_{\min}} + \frac{60\ 000}{v_{\max}} = \frac{30\ 000/v_{\max} + v_{\min}/}{v_{\max} \cdot v_{\min}} \quad /a/$$

oraz

$$\Delta k_s = \frac{k_{s \max} - k_{s \min}}{2} = \frac{30\ 000 / v_{\max} - v_{\min} /}{v_{\max} \cdot v_{\min}} \quad /b/$$

Wstawiając /a/ i /b/ do /8/ otrzymuje się wartość oporu właściwego skrawania z uwzględnieniem rozrzutu

$$k_s = \frac{30\ 000}{v_{\max} \cdot v_{\min}} \left[/ v_{\max} + v_{\min} / \pm / v_{\max} - v_{\min} / \right] \quad /N/mm^2/ \quad /9/$$

3.2. Uogólniony opór właściwy skrawania.

Przekształcając zależność /4/ na uogólnioną wydajność właściwą można uzyskać uogólniony opór właściwy skrawania

$$k_s = C_k \cdot g^{-a} \cdot p^{-b} \cdot v^{-c}, \quad /N/mm^2/ \quad /10/$$

gdzie:

$$C_k = \frac{k}{C_v}$$

4. Przykład.

Dla zobrazowania metodyki wyznaczenia wakażnika wydajności właściwej skrawania, oporu właściwego skrawania oraz zależności funkcyjnej podano wyniki badań dla stali gatunku 20HNM z wytopu o regulowanej zawartości siarki dodanej w celu polepszenia obrabialności.

4.1. Stanowisko badawcze.

Próby skrawalności prowadzono na tokarce produkcyjnej TPC40, wyposażonej w układy pomiarowe:

- drogi toczenia;
- mocy pobieranej przez silnik;
- czasomierz.

Przed przystąpieniem do badań skrawalności określono charakterystykę sprawnościową tokarki przy użyciu oprzyrządowania według rys.1, otrzymując zależność mocy na wrzecionie N_{WR} od mocy pobieranej przez silnik N dla wykorzystywanej prędkości obrotowej 280 obr/min

$$N_{WR} = -0,9683 + 0,8864 N, \quad /kW/ \quad /11/$$

gdzie:

N - moc pobierana przez silnik, kW.

a. Układ do pomiaru drogi toczenia.

Długość toczenia określono za pomocą zestawu składającego się z:

- przetwornika obrotowo-impulsowego GPEB-50 produkcji PZO;
- elektronicznego wskaźnika cyfrowego EWC-2, produkcji Zakładów Aparatury Elektronicznej.

Koło zębate osadzone na wałku przetwornika współpracuje z zębatką zamocowaną do łoża tokarki, przekazując impulsy zliczane we wskaźniku.

b. Czasomierz.

Czas skrawania mierzono czasomierzem produkcji węgierskiej Elektrocas, typ TS1.

c. Walizka pomiarowa mocy.

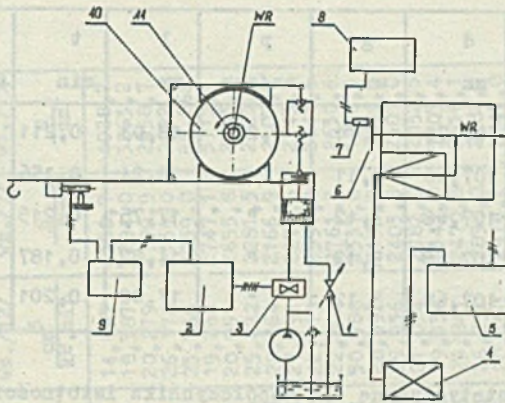
Do pomiaru mocy pobieranej przez silnik zastosowano walizkę pomiarową produkcji czechosłowackiej, firmy Metra-Blansko.

d. Narzędzie.

Toczenie prowadzono nożem bocznym NNBt 20 x 20, wyposażonym w płytkę z węglików spiekanych S20 z ujemnym kątem natarcia $\gamma = -5^\circ$.

4.2. Normowany wskaźnik wydajności właściwej skrawania.

Dla uzyskania V przeprowadzono próby 5-krotnego skrawania pręta przy stałych parametrach /tabl.1/.



Rys.1. Stanowisko pomiarowe do określania charakterystyk sprawnościowych obrabiarek o obrotowym ruchu roboczym: 1 - dźwitek; 2 - stabilizator momentu; 3 - wzmacniacz elektrohydrauliczny; 4 - silnik; 5 - walizka pomiarowa; 6 - tarcza dająca impulsy związane z prędkością obrotową wrzeciona; 7 - nadajnik fotoelektryczny; 8 - wskaźnik cyfrowy; 9 - mostek tensometryczny; 10 - bęben hamulcowy; 11 - przewód chłodzący.

Tablica 1.

Wyniki próby skrawania stali 20HNM

Lp.	N_{WR} kW	D mm	d mm	g mm	p mm/obr	l mm	t min	v m/min	V_{cm^3} kW/min
1	3,29	113,92	107,70	3,11	0,27	18,03	0,211	105,14	28,119
2	3,30	"	107,66	3,11	"	13,24	0,156	105,24	28,018
3	3,27	"	107,68	3,12	"	17,75	0,215	105,15	27,419
4	3,28	"	107,68	3,12	"	14,82	0,187	105,14	26,241
5	3,28	"	107,68	3,12	"	17,02	0,201	105,14	28,037

Opracowanie statystyczne dla współczynnika istotności 0,25 dało normowaną wydajność właściwą skrawania

$$v = 27,567 \pm 0,983 \quad /cm^3/kW.min/$$

4.3. Normowany opór właściwy skrawania

Uwzględniając wzór /9/ oraz znalezione V otrzymano opór właściwy skrawania

$$k_g = 2179,3 \pm 77,7 \quad /N/mm^2/$$

4.4. Uogólniona wydajność właściwa skrawania.

Otrzymanie zależności funkcyjnej wymaga przeprowadzenia większej liczby prób przy zmiennych parametrach g, p, v. W tabl.2 podano wyniki doświadczeń, po opracowaniu których /2/ uzyskano równanie

$$V = 6,242 \cdot g^{-0,0063} \cdot p^{0,2889} \cdot v^{0,3698} \quad /cm^3/kW \cdot min/ \quad /12/$$

Współczynnik korelacji wynosi

$$R = 0,848$$

Tabl.2 została uzupełniona wartościami obliczeniowymi V /wg wzoru/12//.

4.5. Uogólniony opór właściwy skrawania.

Zgodnie z wzorem /10/ i przy uwzględnieniu współczynników wzoru /12/ zależność na uogólniony opór właściwy skrawania przyjmuje postać

Tablica 2.

Wyniki prób skrawania dla uzyskania uogólnionej zależności $V = g/g, p, v$ dla stali 20 HNM

Lp.	N_{WR} kW	D mm	d mm	l mm	t min	g mm	p $\frac{mm}{obr}$	v $\frac{m}{min}$	V wz./1/ $\frac{cm^3}{kW \cdot min}$	V wz./12/ $\frac{cm^3}{kW \cdot min}$	k_g wz./7/ $\frac{N}{mm^2}$	k_g wz./13/ $\frac{N}{mm^2}$
1	1,68	113,92	107,68	3,97	0,186	3,12	0,13	52,71	13,791	14,893	4350,7	4028,7
2	2,31	"	107,68	7,52	0,194	3,12	0,27	52,65	18,215	18,387	3294,0	3263,2
3	2,82	"	107,68	10,80	0,194	3,12	0,38	52,54	21,429	20,279	2799,9	2958,7
4	4,39	"	107,66	20,47	0,181	3,13	0,33	104,76	28,051	26,174	2159,0	2292,4
5	3,29	"	107,66	15,16	0,189	3,13	0,27	105,15	26,561	23,746	2259,0	25,268
6	2,03	"	107,66	7,37	0,181	3,13	0,13	105,72	21,841	19,264	2747,1	3113,6
7	2,47	"	107,72	10,76	0,208	3,10	0,13	132,64	22,592	20,951	2655,8	2863,8
8	4,13	"	107,70	19,07	0,190	3,11	0,27	131,89	26,298	25,822	2281,5	2323,6
9	5,58	"	107,70	26,70	0,187	3,11	0,38	131,42	27,689	28,464	2166,9	2107,9
10	5,17	"	107,70	21,21	0,168	3,11	0,27	164,03	26,425	27,991	2270,6	2143,5
11	3,06	"	107,66	11,88	0,183	3,13	0,13	165,06	23,100	22,715	2597,4	2641,5
12	2,08	"	109,78	10,88	0,175	2,07	0,13	165,74	21,730	22,808	2761,2	2630,6
13	4,81	"	109,84	30,50	0,177	2,04	0,38	164,17	25,674	30,988	2337,0	1936,3
14	3,73	"	109,84	26,05	0,178	2,04	0,38	132,07	28,118	28,592	2133,9	2098,5
15	2,75	"	109,86	18,00	0,187	2,03	0,27	132,50	24,964	25,936	2403,5	2307,0
16	1,72	"	109,86	8,79	0,169	2,03	0,13	133,10	21,567	21,034	2782,0	2852,5
17	1,64	"	109,86	7,47	0,181	2,03	0,13	109,97	17,948	19,334	3343,0	3103,4
18	2,29	"	109,86	13,49	0,173	2,03	0,27	109,58	24,286	23,847	2470,6	2516,1
19	2,92	"	109,86	14,58	0,172	2,03	0,38	105,26	20,704	26,292	2898,0	2282,1
20	1,98	"	109,86	10,09	0,177	2,03	0,38	52,72	20,575	20,360	2916,2	2947,0
21	1,58	"	109,84	7,10	0,192	2,04	0,27	52,83	16,773	18,459	3577,2	3250,4
22	1,07	"	109,84	4,04	0,199	2,04	0,13	52,97	13,597	14,960	4412,7	4010,6
23	1,08	107,42	105,22	12,10	0,188	1,10	0,13	157,13	21,865	22,452	2741,6	2672,3
24	1,75	"	105,24	22,95	0,179	1,09	0,27	156,52	26,663	27,692	2250,3	2166,7
25	2,31	"	105,26	34,37	0,188	1,08	0,38	156,12	28,540	30,539	2102,3	1964,7
26	1,79	"	105,20	26,46	0,183	1,11	0,38	125,44	29,930	28,160	2004,7	2130,6
27	1,35	"	105,26	19,00	0,183	1,08	0,27	125,75	27,734	25,541	2163,4	2349,2
28	0,82	"	105,24	9,15	0,185	1,09	0,13	126,18	21,951	20,704	2733,4	2898,0
29	1,07	"	105,26	15,17	0,184	1,08	0,27	100,30	27,787	23,492	2159,3	2554,1

$$k_g = 9612,3 g^{0,0063} \cdot p^{-0,2389} \cdot v^{-0,3698} \quad /N/mm^2/ \quad /13/$$

W tabl.2 podano wartości k_g obliczone z wzorów /13/ i /7/.

5. Wnioski.

Podsumowując przedstawiony materiał można wyciągnąć następujące ogólne wnioski:

1. Normowana wydajność właściwa skrawania może być przyjęta jako wskaźnik skrawalności z uwagi na:
 - znaczenie ekonomiczno-energetyczne;
 - dużą dokładność i stosunkowo małe rozrzuty;
 - łatwość i szybkość prowadzenia prób;
 - prostotę i dostępność aparatury;
 - możliwość przejścia na opór właściwy skrawania i z uwzględnieniem przekroju warstwy skrawanej na siły skrawania.
2. Zależność funkcyjna wydajności właściwej skrawania pozwala na dobór warunków /g, p, v/ z uwzględnieniem maksymalnej ilości zeskrwanego materiału przy minimalnym zużyciu energii elektrycznej przez obrabiarkę.

Literatura

1. Pluciński K.: Analiza wybranych wskaźników procesu skrawania metali z uwagi na optymalizację efektów energoekonomicznych. WAT, 1977, Warszawa.
2. Pluciński K.; Gąsienica-Samek J.: Matematyczne opracowanie wyników doświadczeń przy skrawaniu. WAT, 1979, Warszawa.
3. Pluciński K., Gąsienica-Samek J., Maciocha A.: Opracowanie metody badania stali konstrukcyjnej. Praca dla Huty Warszawa /niepublikowana/. WAT, 1981, Warszawa.
4. Biernawski W.: Teoria obróbki metali skrawaniem. PWN, Warszawa 1956.
5. Vieregge G.: Zerspannung der Eisenwerkstoffe. Verlag Stahleisen. Duessel dorf 1956.

Kazimierz PLUCIŃSKI, Jan GAŚSIENICA-SAMEK

THE EVALUATION OF THE MACINABILITY OF METALS DURING
TURNING BY MEANS OF THE CHARACTERISTIC CUTTING
PERFORMANCE INDEX

Summary

The evaluation of the machining properties of materials during turning is suggested by means of the characteristic cutting performance index. The formula is given chaining these values with the 20 HNM steel are presented.

Material	Tool	Speed (m/min)	Feed (mm/rev)	Depth of Cut (mm)	Surface Finish (Ra)	Tool Wear (mm)
St 20	SKH 9	100	0.1	1.0	0.8	0.5
St 20	SKH 9	150	0.15	1.0	0.7	0.6
St 20	SKH 9	200	0.2	1.0	0.6	0.7
St 20	SKH 9	250	0.25	1.0	0.5	0.8
St 20	SKH 9	300	0.3	1.0	0.4	0.9
St 20	SKH 9	350	0.35	1.0	0.3	1.0
St 20	SKH 9	400	0.4	1.0	0.2	1.1
St 20	SKH 9	450	0.45	1.0	0.1	1.2
St 20	SKH 9	500	0.5	1.0	0.1	1.3
St 20	SKH 9	550	0.55	1.0	0.1	1.4
St 20	SKH 9	600	0.6	1.0	0.1	1.5
St 20	SKH 9	650	0.65	1.0	0.1	1.6
St 20	SKH 9	700	0.7	1.0	0.1	1.7
St 20	SKH 9	750	0.75	1.0	0.1	1.8
St 20	SKH 9	800	0.8	1.0	0.1	1.9
St 20	SKH 9	850	0.85	1.0	0.1	2.0
St 20	SKH 9	900	0.9	1.0	0.1	2.1
St 20	SKH 9	950	0.95	1.0	0.1	2.2
St 20	SKH 9	1000	1.0	1.0	0.1	2.3