

OBRÓBKA SKRAWANIEM

Ćwiczenie nr **6**

DOBÓR NARZĘDZI I PARAMETRÓW SKRAWANIA DO FREZOWANIA

opracowali:
dr inż. Joanna Kossakowska
mgr inż. Maciej Winiarski

POLITECHNIKA WARSZAWSKA
INSTYTUT TECHNIK WYTWARZANIA

ZAKŁAD AUTOMATYZACJI, OBRABIAREK
I OBRÓBKI SKRAWANIEM



Dobór parametrów dla frezowania

Wytyczne dobru parametrów obróbkowych dla frezowania:

- Dobór narzędzia. W katalogu narzędzi należy odszukać narzędzie, które z punktu widzenia technologii umożliwi zrealizowanie konkretnej obróbki (np. frezowanie płaszczyzny). Określa się podstawowe wymiary narzędzia (głównie średnicę **D**) oraz liczbę ostrzy (**z**).
- Dobór parametrów skrawania. Do wybranego narzędzia dobieramy określony typ (przewidziany przez producenta) płytek skrawających. Uwzględniając materiał przewidziany do obróbki z katalogu dobiera się materiał z którego są wykonane płytki skrawające i ewentualnie materiał, którym są pokrywane. Określa się podstawowe parametry skrawania (**v_c** i **f_z**) zalecane przez producenta płytek do obróbki danego materiału.
- Określenie parametrów obróbkowych dla obrabiarki. Na podstawie dobranych parametrów skrawania należy określić parametry obróbkowe dla obrabiarki (prędkość obrotową wrzeciona **n** i prędkość posuwową **v_f**)
- Określenie parametrów technologicznych obróbki. Opierając się na założonej wydajności objętościowej obróbki (**Q**) dobieramy głębokość frezowania (**a_p**) i szerokość frezowania (**a_e ≤ D**)
- Określenie mocy skrawania. Opierając się na wcześniej dobranych parametrach i korzystając z materiałowego współczynnika oporu skrawania (**k_c**) należy obliczyć moc skrawania (**P_c**), a następnie (uwzględniając sprawność napędu) niezbędną moc napędu wrzeciona (**P_{mot}**). Moc ta nie może przekroczyć mocy nominalnej (**P_N**) napędu wrzeciona obrabiarki. Jeżeli **P_{mot} > P_N** należy odpowiednio zmniejszyć głębokość (**a_p**) lub/i szerokość frezowania (**a_e**), ewentualnie (w uzasadnionych przypadkach) prędkość posuwową (**v_f**)

Parametry frezarki Arrow 500	
Przemieszczenie wzdłużne X [mm]	510
Przemieszczenie poprzeczne Y [mm]	510
Przemieszczenie pionowe Z [mm]	510
Moc WR [kW]	5.5
Zakres prędkości obrotowych [obr/min]	60-6000
Max. posuwy robocze X, Y, Z [m/min]	12
Przesuwy szybkie X, Y, Z [m/min]	20
Max. średnica narzędzia [mm]	80

Zależności teoretyczne:

Prędkość obrotowa wrzeciona:

$$n = \frac{v_c * 1000}{D * \pi} \text{ [min}^{-1}\text{]}$$

gdzie:

v_c [m/min] prędkość skrawania

D [mm] średnica narzędzia

Prędkość posuwowa:

$$v_f = f_z * z * n \text{ [mm/min]}$$

gdzie:

f_z [mm/z] posuw na ostrze (zęb)

z –liczba ostrzy (zębów) narzędzia

n [min⁻¹] prędkość obrotowa wrzeciona

Wydajność objętościowa frezowania:

$$Q = \frac{a_e * a_p * v_f}{1000} \text{ [cm}^3\text{/min]}$$

gdzie:

a_e [mm] szerokość frezowania

a_p [mm] głębokość frezowania

v_f [mm/min] prędkość posuwowa

Po wstępnym doborze parametrów skrawania należy obliczyć zapotrzebowanie na moc skrawania (P_C) i sprawdzić (z uwzględnieniem sprawności napędu) czy nie przewyższa ona mocy nominalną napędu wrzeciona (P_N)

Warunek konieczny:

$$P_{\text{mot}} \leq P_N$$

Moc skrawania:

$$P_c = \frac{a_p * a_e * v_f * k_c}{60 * 10^6} \text{ [kW]}$$

gdzie:

a_e [mm] szerokość frezowania

a_p [mm] głębokość frezowania

v_f [mm/min] prędkość posuwowa

k_c [N/mm²] współczynnik materiałowy określający opór skrawania

Opór właściwy skrawania

$$k_c = h_m^{-m_c} * k_{c1.1} \text{ [N/mm}^2\text{]}$$

h_m [mm] średnia grubość wióra

$$h_m = f_z \sqrt{a_e / D} \text{ [mm]}$$

m_c wykładnik

$k_{c1.1}$ [N/mm²] współczynnik oporu skrawania przy $a_e=1$ mm i $a_p=1$ mm

Przykładowe wartości współczynnika $k_{c1.1}$

MATERIAŁ (DIN)	$k_{c1.1}$ [N/mm ²]	m_c
Stal konstrukcyjna (14NiCr14)	1524	0.24
Stal narzędziowa (X210CrW12)	2230	0.23
Stal nierdzewna (X5CrNiMo17122)	1957	0.20
Żeliwo (GG30)	1229	0.28

Moc z uwzględnieniem sprawności mechanicznej napędu wrzeciona:

$$P_{mot} = \frac{P_c}{\eta} \text{ [kW]}$$

gdzie:

P_c [kW] moc skrawania

η współczynnik sprawności napędu ($\eta=0.75-0.80$)

Przykład 1:

Zadanie polega na doborze (z katalogu narzędzi) narzędzia spełniającego wymagania obróbki, doborze parametrów skrawania (v_c i f_z), oraz parametrów technologicznych obróbki (a_e i a_p) tak aby uzyskać założoną wydajność obróbki (Q)

Obrabiarka:

Moc nominalna napędu wrzeciona: $P_N=5.5$ kW

Zakres prędkości obrotowych wrzeciona $n=150-6000$ min⁻¹

Zakres prędkości posuwowych: $v_f=0-12000$ mm/min

Maksymalna średnica narzędzia: $D_{max}=80$ mm

Materiał obrabiany:

Stal 45 w stanie ulepszonym 32HRC ($k_{c1.1} = 1524$ N/mm² i $m_c=0.24$)

Zakładana wydajność obróbki

$Q \approx 100$ cm³/min

Narzędzie:

Z katalogu firmy Ingersoll dobrana została głowica frezarka typ 5N6R080R00 i płytki skrawające o symbolu SHET1504AJTN

Średnica głowicy $D = 80$ mm

Liczba ostrzy $z = 7$

Zalecana prędkość skrawania $v_c = 220$ m/min i posuw na ostrze $f_z = 0.25$ mm/z

Obliczenie parametrów obróbkowych dla obrabiarki:

Wymagana prędkość obrotowa wrzeciona:

$$n = \frac{220 * 1000}{80 * \pi} = 875 \text{ min}^{-1} \text{ przyjęto } n = 850 \text{ min}^{-1}$$

Wymagana prędkość posuwowa narzędzia:

$$v_f = 0.25 * 7 * 850 = 1487.5 \text{ mm} / \text{min} \text{ przyjęto } v_f = 1450 \text{ mm/min}$$

Obliczenie objętościowej wydajności frezowania:

Uwzględniając planowaną objętościową wydajność frezowania $Q=100$ cm³/min zakłada się głębokość frezowania $a_p = 1.5$ mm i szerokość frezowania $a_e = 48$ mm (60%D)

$$Q = \frac{1.5 * 48 * 1450}{1000} = 104.4 \text{ cm}^3 / \text{min} \approx 100 \text{ cm}^3 / \text{min}$$

Sprawdzenie mocy skrawania:

$$h_m = 0.25 \sqrt{\frac{48}{80}} = 0.2 \text{ mm}$$

$$k_c = 0.2^{-0.24} * 1524 = 2242 N / mm^2$$

$$P_c = \frac{1.5 * 48 * 1450 * 2242}{60 * 10^6} = 3.9 kW$$

$$P_{mot} = \frac{3.9}{0.75} = 5.2 kW < P_N = 5.5 kW$$

$P_{mot} \leq P_N$ czyli O.K.

Przykład 2:

Zadanie polega na określeniu maksymalnej wydajności skrawania (Q) jaka jest możliwa do uzyskania na konkretnej obrabiarce dla założonego narzędzia i materiału obrabianego.

Obrabiarka:

Moc nominalna napędu wrzeciona: $P_N = 22 \text{ kW}$

Zakres prędkości obrotowych wrzeciona $n = 150\text{--}4500 \text{ min}^{-1}$

Zakres prędkości posuwowych: $v_f = 0\text{--}20000 \text{ mm/min}$

Maksymalna średnica narzędzia: $D_{\max} = 80 \text{ mm}$

Materiał obrabiany:

Stal 45 w stanie ulepszonym 32HRC ($k_{c1.1} = 1524 \text{ N/mm}^2$ i $m_c = 0.24$)

Narzędzie:

Z katalogu firmy Ingersoll dobrana została głowica frezarka typ 5N6R080R00 i płytki skrawające o symbolu SHET1504AJTN

Średnica głowicy $D = 80 \text{ mm}$

Liczba ostrzy $z = 7$

Zalecana prędkość skrawania $v_c = 220 \text{ m/min}$ i posuw na ostrze $f_z = 0.25 \text{ mm/z}$

Obliczenie maksymalnej mocy skrawania:

$$P_c = P_{\text{mot}} * \eta = 22 * 0.75 = 16.5 \text{ kW}$$

Obliczenie parametrów obróbkowych dla obrabiarki:

Wymagana prędkość obrotowa wrzeciona:

$$n = \frac{220 * 1000}{80 * \pi} = 875 \text{ min}^{-1} \text{ przyjęto } n = 850 \text{ min}^{-1}$$

Wymagana prędkość posuwowa narzędzia:

$$v_f = 0.25 * 7 * 850 = 1487.5 \text{ mm/min} \text{ przyjęto } v_f = 1500 \text{ mm/min}$$

Obliczenie maksymalnej głębokości skrawania a_p :

Zakładamy szerokość frezowania głowicą (ok. 60%D) $a_e = 50 \text{ mm}$

$$h_m = 0.25 \sqrt{50/80} = 0.2 \text{ mm}$$

$$k_c = 0.2^{-0.24} * 1524 = 2242 \text{ N/mm}^2$$

$$a_p = \frac{P_c * 60 * 10^6}{a_e * v_f * k_c} = \frac{16.5 * 60 * 10^6}{50 * 1500 * 2242} = 6 \text{ mm}$$

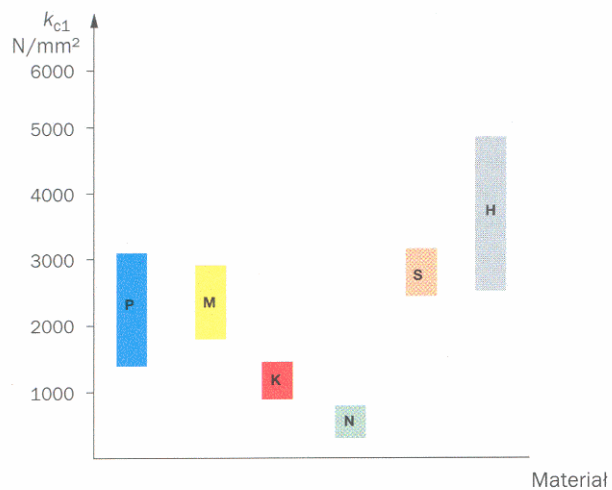
Obliczenie objętościowej wydajności frezowania:

$$Q = \frac{6 * 50 * 1500}{1000} = 450 \text{ cm}^3 / \text{min}$$

Dane materiałowe

(na podstawie Poradnika Obróbki Skrawaniem, Sandvik Coromant)

Opór właściwy skrawania dla poszczególnych grup materiałów



P- stal

M- stal nierdzewna

K – żeliwo

N – aluminium

S – stopy żaroodporne

H – stal hartowana

Kody MC dla stali

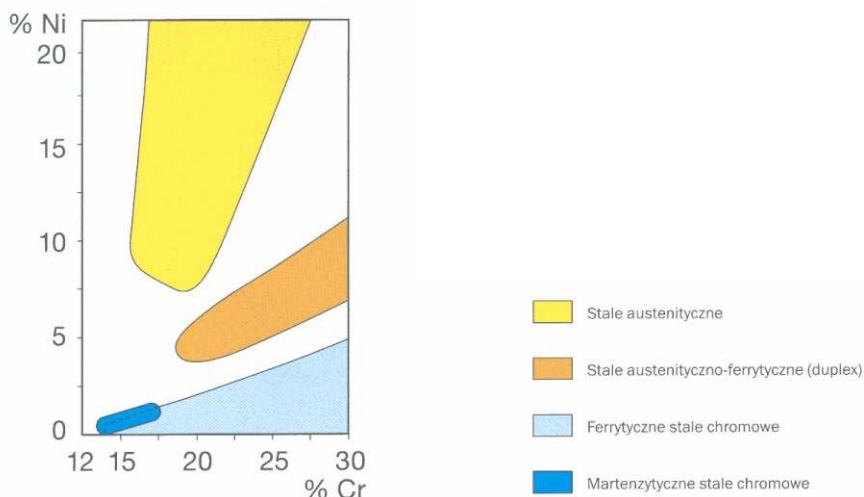
Stale, pod kątem skrawalności, dzieli się na: stale niestopowe, wysokostopowe oraz spiekowe.

Kod MC	Grupa materiałowa	Podgrupa materiałowa	Proces wytwarzania	Obróbka cieplna	Twardość nominalna	Opór właściwy skrawania, k_{c1} (N/mm ²)	m_c	
P1.1.Z.AN	1	1	≤0.25% C	Z kuta/walcowana/ ciagniona na zimno	AN wyżarzana	125 HB	1500	0.25
P1.1.Z.HT	1	1		Z HT hartowana+ odpuszczana		190 HB	1770	0.25
P1.2.Z.AN	1	2	>0.25... ≤0.55% C	Z kuta/walcowana/ ciagniona na zimno	AN wyżarzana	190 HB	1700	0.25
P1.2.Z.HT	1	2		Z HT hartowana+ odpuszczana		210 HB	1820	0.25
P1.3.Z.AN	1	3	wysokowęglowa, >0,55% C	Z kuta/walcowana/ ciagniona na zimno	AN wyżarzana	190 HB	1750	0.25
P1.3.Z.HT	1	3		Z HT hartowana+ odpuszczana		300 HB	2000	0.25
P1.4.Z.AN	1	4	stal automatowa	Z kuta/walcowana/ ciagniona na zimno	AN wyżarzana	220 HB	1180	0.21
P1.5.C.HT	1	5	całkowita zawartość węgla (staliwo)	C odlew	UT nieobrobiona	150 HB	1400	0.25
P1.5.C.AN	1	5		C HT hartowana+ odpuszczana		300 HB	2880	0.25
P2.1.Z.AN	2	1	≤0.25% C	Z	AN	175 HB	1700	0.25
P2.2.Z.AN	2	2	>0.25... ≤0.55% C	Z kuta/walcowana/ ciagniona na zimno	AN	240 HB	1950	0.25
P2.3.Z.AN	2	3	wysokowęglowa, >0,55% C	Z	AN	260 HB	2020	0.25
P2.4.Z.AN	2	4	stal automatowa	Z	AN	225 HB		
P2.5.Z.HT	2	5	całkowita zawartość węgla (hartowana i odpuszczana)	Z kuta/walcowana/ ciagniona na zimno	HT hartowana+ odpuszczana	330 HB	2000	0.25
P2.6.C.UT	2	6	całkowita zawartość węgla (staliwo)	C odlew	UT nieobrobiona	200 HB	1600	0.25
P2.6.C.HT	2	6		C HT hartowana+ odpuszczana		380 HB	3200	0.25
P3.0.Z.AN	3	0	grupa główna	Z kuta/walcowana/ ciagniona na zimno	AN wyżarzana	200 HB	1950	0.25
P3.0.Z.HT	3	0		Z HT hartowana+ odpuszczana		380 HB	3100	0.25
P3.0.C.UT	3	0		C odlew	UT nieobrobiona	200 HB	1950	0.25
P3.0.C.HT	3	0		C HT hartowana+ odpuszczana		340 HB	3040	0.25
P3.1.Z.AN	3	1	stal szybkotnąca (HSS)	Z kuta/walcowana/ ciagniona na zimno	AN wyżarzana	250 HB	2360	0.25
P3.2.C.AQ	3	2	stal manganowa	C odlew	AQ wyżarzana/hartowa- na i wyżarzana	300 HB	3000	0.25
P4.0.S.NS	4	0	grupa główna	S metalurgia proszków	NS nie określono	150 HB		

Kody MC dla stali nierdzewnej

Kod MC	Grupa materiałowa	Podgrupa materiałowa	Proces wytwarzania	Obróbka cieplna	Twardość nominalna	Opór właściwy skrawania, k_{c1} (N/mm ²)	m_c
P5.0.Z.AN	5	0 grupa główna	Z	AN wyżarzana	200 HB	1800	0.21
P5.0.Z.HT	5		Z	HT hartowana+odpuszczana	330 HB	2300	0.21
P5.0.Z.PH	5		Z	PH utwardzana wydzieleniowo	330 HB	2800	0.21
P5.0.C.UT	5		C	UT nieobrobiona	250 HB	1900	0.25
P5.0.C.HT	5		C	HT hartowana+odpuszczana	330 HB	2100	0.25
P5.1.Z.AN	5	1 stal automatowa	Z	AN wyżarzana	200 HB	1650	0.21
M1.0.Z.AQ	1	0 grupa główna	Z	AQ wyżarzana/hartowana i wyżarzana	200 HB	2000	0.21
M1.0.Z.PH	1		Z	PH utwardzana wydzieleniowo	300 HB	2400	0.21
M1.0.C.UT	1		C	UT nieobrobiona	200 HB	1800	0.25
M1.1.Z.AQ	1	1 obrabialność ulepszona (jak SANMAC)	Z	AQ	200 HB	2000	0.21
M1.1.Z.AQ	1		Z	AQ	200 HB	1800	0.21
M1.1.Z.AQ	1		Z	AQ	200 HB	1800	0.21
M1.1.Z.AQ	1		C	AQ	200 HB	1800	0.25
M1.3.Z.AQ	1	3 stabilizowana Ti	Z	AQ	200 HB	1800	0.21
M1.3.C.AQ	1		C	AQ	200 HB	1800	0.25
M2.0.Z.AQ	2	0 grupa główna	Z	AQ	200 HB	2300	0.21
M2.0.C.AQ	2		C	AQ	200 HB	2150	0.25
M3.1.Z.AQ	3	1 >60% ferrytu (reguła praktyczna N<0,10%)	Z	AQ	230 HB	2000	0.21
M3.1.C.AQ	3		C	AQ	230 HB	1800	0.25
M3.2.Z.AQ	3		Z	AQ	260 HB	2400	0.21
M3.2.C.AQ	3		C	AQ	260 HB	2200	0.25

Identyfikacja grup materiałowych



Kody MC dla żeliwa

Z punktu widzenia obrabialności, żeliwa są sklasyfikowane następująco: ciągliwe, szare, sferoidalne, o zwartym graficie (CGI) oraz sferoidalne hartowane izotermicznie (ADI). Nieco wyższe twardości charakteryzują żeliwo sferoidalne oraz ADI.

Kod MC	Grupa materiałowa	Podgrupa materiałowa	Proces wytwarzania	Obróbka cieplna	Twardość nominalna	Opór właściwy skrawania, k_{c1} (N/mm ²)	m_c
K1.1.C.NS	1	1 o niskiej wytrzymałości	C	NS	200 HB	780	0.28
K1.2.C.NS		2 o wysokiej wytrzymałości	C	NS	260 HB	1020	0.28
K2.1.C.UT	2	1 o niskiej wytrzymałości	C	UT	180 HB	900	0.28
K2.2.C.UT	2	2 o wysokiej wytrzymałości	C	UT	245 HB	1100	0.28
K2.3.C.UT		3 austenityczne	C	UT	175 HB	1300	0.28
K3.1.C.UT	3	1 ferrytyczne	C	UT	155 HB	870	0.28
K3.2.C.UT	3	2 ferrytyczno/perlityczne	C	UT	215 HB	1200	0.28
K3.3.C.UT		3 perlityczne	C	UT	265 HB	1440	0.28
K3.4.C.UT		4 martenzytyczne	C	UT	330 HB	1650	0.28
K3.5.C.UT		5 austenityczne	C	UT	190 HB		
K4.1.C.UT	4	1 niska wytrzymałość (perlit <90%)	C	UT	160 HB	680	0.43
K4.2.C.UT		2 wysoka wytrzymałość (perlit ≥90%)	C	UT	230 HB	750	0.41
K5.1.C.NS	5	1 o niskiej wytrzymałości	C	NS	300 HB		
K5.2.C.NS		2 o wysokiej wytrzymałości	C	NS	400 HB		
K5.3.C.NS		3 o bardzo wysokiej wytrzymałości	C	NS	460 HB		

Kody MC dla materiałów N

Kod MC	Grupa materiałowa	Podgrupa materiałowa	Proces wytwarzania	Obróbka cieplna	Twardość nominalna	Opór właściwy skrawania, k_{c1} (N/mm)	m_c
N1.1.Z.UT	1	1 technicznie czyste	Z	UT nieobrobiona	30 HB	350	0.25
N1.2.Z.UT	1	2	Z odlew	UT	60 HB	400	0.25
N1.2.Z.AG	1	2 stopy AlSi, Si ≤1%	Z	AG wystarzone	100 HB	650	0.25
N1.2.S.UT	1	2	S spiek	UT nieobrobiona	75 HB	410	0.25
N1.2.C.NS	1	2	C	NS nie określono	80 HB	410	0.25
N1.3.C.UT	1	3 stopy odlewnicze AlSi, Si ≤1% oraz <13%	C odlew	UT nieobrobiona	75 HB	600	0.25
N1.3.C.AG	1	3	C	AG wystarzone	90 HB	700	0.25
N1.4.C.NS	1	4 stopy odlewnicze AlSi, Si ≥13%	C	NS nie określono	130 HB	700	0.25
N2.0.C.UT	2	0 stopy bazujące na magnezie	C odlew	UT nieobrobiona	70 HB		
N3.1.U.UT	3	1 bezolowiowe stopy miedzi (włączając miedź elektrolityczną)	U nie określono	UT	100 HB	1350	0.25
N3.2.C.UT	3	2 mosiądze i brązy ołowiane, (Pb ≤1%)	C odlew	UT nieobrobiona	90 HB	550	0.25
N3.3.S.UT	3	2	S spiek	UT	35 HB		
N3.3.U.UT	3	3 stopy bazujące na miedzi łatwoskrawalne (Pb >1%)	U nie określono	UT	110 HB	550	0.25
N3.4.C.UT	3	4 brązy o wysokiej wytrzymałości (>225HB)	C odlew	UT	300 HB		
N4.0.C.UT	4	0 stopy bazujące na cynku	C odlew	UT nieobrobiona	70 HB		

Kody MC dla materiałów S

Z punktu widzenia skrawalności, superstopy żaroodporne (HRSA) są sklasyfikowane jako materiały bazujące na żelazie, niklu oraz kobaltie. Tytan jest klasyfikowany jako tytan technicznie czysty, stopy alfa oraz zbliżone do nich, stopy alfa/beta oraz stopy beta.

Kod MC	Grupa materiałowa	Podgrupa materiałowa	Proces wytwarzania	Obróbka cieplna	Twardość nominalna	Opór właściwy skrawania, k_{c1} (N/mm ²)	m_c
S1.0.U.AN	1 stopy niebazujące	1 grupa główna	U nie określono	AN wyżarzane	200 HB	2400	0.25
S1.0.U.AG				AG starzone	280 HB	2500	0.25
S2.0.Z.AN	2 stopy na bazie niklu	0 grupa główna	Z kute/walcowane/ ciagnione na zimno	AN wyżarzane	250 HB	2650	0.25
S2.0.Z.AG				AG starzone	350 HB	2900	0.25
S2.0.Z.UT				UT nieobrobione	275 HB	2750	0.25
S2.0.C.NS			C odlew	NS nie określono	320 HB	3000	0.25
S3.0.Z.AN	3 stopy na bazie kobaltu	0 grupa główna	Z kute/walcowane/ ciagnione na zimno	AN wyżarzane	200 HB	2700	0.25
S3.0.Z.AG				AG starzone	300 HB	3000	0.25
S3.0.C.NS			C odlew	NS nie określono	320 HB	3100	0.25
S4.1.Z.UT	4 stopy na bazie tytanu	1 technicznie czyste (>99,5% Ti)	Z	UT nieobrobione	200 HB	1300	0.23
S4.2.Z.AN		2 stopy alfa lub zbliżone do nich	Z	AN wyżarzane	320 HB	1400	
S4.3.Z.AN		3 stopy alfa/beta	Z kute/walcowane/ ciagnione na zimno	AN wyżarzane	330 HB	1400	
S4.3.Z.AG				AG starzone	375 HB	1400	
S4.4.Z.AN		4 stopy beta	Z	AN wyżarzane	330 HB	1400	
S4.4.Z.AG				AG starzone	410 HB	1400	
S5.0.U.NS	3 stopy na bazie wolframu	0 grupa główna	U nie określono	NS nie określono	120 HB		
S6.0.U.NS	3 stopy na bazie molibdenu	0 grupa główna	U nie określono	NS nie określono	200 HB		

Kody MC dla stali hartowanej

Kod MC	Grupa materiałowa	Podgrupa materiałowa	Proces wytwarzania	Obróbka cieplna	Twardość nominalna	Opór właściwy skrawania, k_{c1} (N/mm ²)	m_c
H1.1.Z.HA	1 stal (bardzo twarda)	1 poziom twardości 50	Z	HA hartowana (+odpuszczana)	50 HRc	3090	0.25
H1.2.Z.HA		2 poziom twardości 55	Z		55 HRc	3690	0.25
H1.3.Z.HA		3 poziom twardości 60	Z		60 HRc	4330	0.25
H1.4.Z.HA		4 poziom twardości 63	Z		63 HRc	4750	0.25
H2.0.C.UT	2 żeliwo zabilone	0 grupa główna	C odlew	UT nieobrobione	55 HRc	3450	0.28
H3.0.C.UT	3 żeliwo zabilone	0 grupa główna	C odlew	UT nie określono	40 HRc		
H4.0.S.AN	4 żeliwo zabilone	0 grupa główna	S spiekane	AN wyżarzane	67 HRc		