ESERCIZIO DI TECNLOGIA MECCANICA

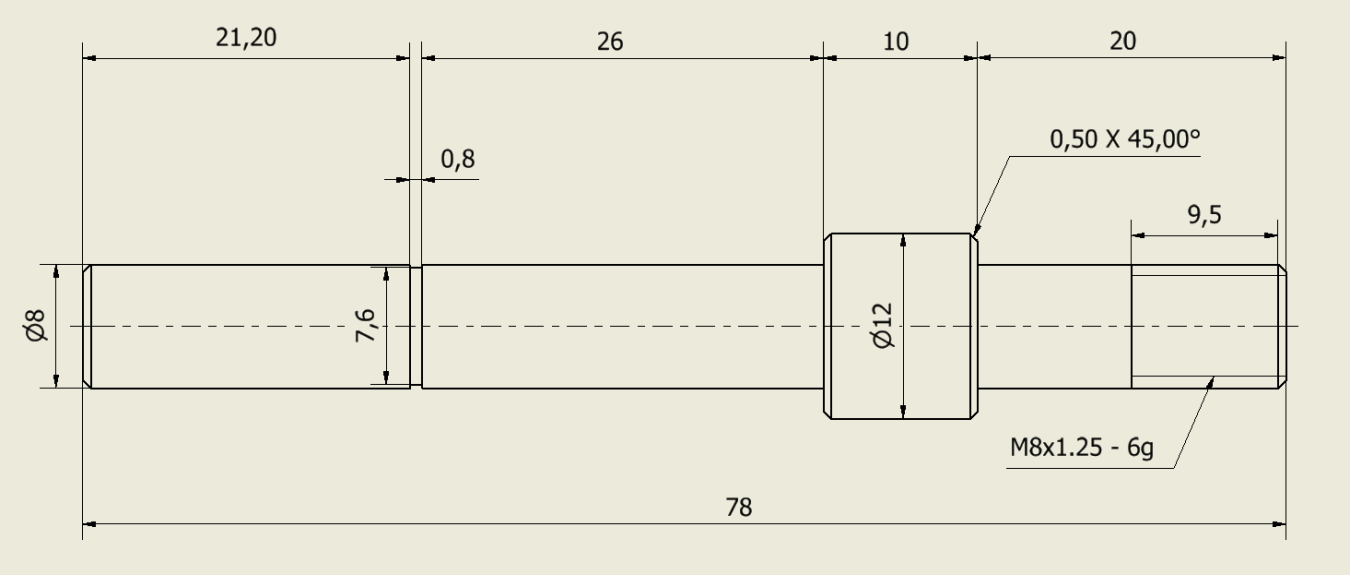
TORNITURA

- TABELLA PARAMETRI DI TAGLIO PER DIVERSI MATERIALI (V_C, K_S …)
- FORMULA DI KRONENBERG (K_S)
- FORMULA DI KIENZLE (K_S)
- LEGGE DI TAYLOR (DURATA UTENSILE)
- FORMULA DI SCHMALZ (TEMPERATURA DI TAGLIO)
- FORMULA DI COOK (FINITURA SUPERFICIALE)

ESERCIZIO TORNITURA ALBERO MECCANICO

ALBERO MECCANICO

Tornio con Potenza utile 1Kw.
Mandrino n° giri = 400 – 750 – 1400 rpm.
Grezzo di partenza 20mm.



L'albero a sinistra monta una coppia di cuscinetti standard 608 mentre a destra una ruota dentata.

Il foro del cuscinetto standard (classe di tolleranza Normale) ha una dimensione nominale di 8 mm con uno scostamento di 0 / -8 µm (cioè misura tra 7,992 mm e 8,000 mm).

608

MARCHIO SKF
DIAMETRO INTERNO 8 MM
DIAMETRO ESTERNO 22 MM
SPESSORE 7 MM
PESO 11 G
VELOCITÀ LIMITE 48000 RPM
CARICO DINAMICO 3.45 KN
CARICO STATICO 1.37 KN

Le tre opzioni principali di accoppiamento (secondo SKF) sono le seguente:

Tipo di Accoppiamento	Classe ISO	Valore in micron (µm)	Dimensione Finale Albero	Quando si usa / Caratteristiche
Albero Rotante (Interferenza leggera)	js6	±4.5 µm	7,9955 – 8,0045 mm	Consigliato per applicazioni standard (motori elettrici, pulegge). Impedisce all'anello interno di ruotare sull'albero sotto carico.
Albero Rotante Carico (Interferenza fissa)	k6	+1 / +10 µm	8,001 – 8,010 mm	Per carichi più pesanti o vibrazioni. Richiede una pressatura o il riscaldamento del cuscinetto per il montaggio.
Albero Fisso / Libero (Accoppiamento con gioco)	h6	0 / -9 µm	7,991 – 8,000 mm	Se il carico ruota attorno all'albero (es. ruota folle) o se il cuscinetto deve poter scorrere assialmente per compensare le dilatazioni termiche.

CALCOLO DEI PARAMETRI DI TAGLIO (SGROSSATURA AL TORNIO)

Dati di partenza:

- **Materiale da lavorare:** Acciaio al carbonio C45 (~180 HB)
- **Dimensioni grezzo:**
  Barra cilindrica diametro D = 20 mm, lunghezza L = 100 mm (lunghezza finita pezzo = 78 mm)
- **Materiale utensile:** Acciaio rapido (HSS) con angolo di spoglia principale gamma = 6°
- **Potenza utile del tornio (Pu):** 1 kW (1000 W)
- **Velocità mandrino disponibili (n):** 400 - 750 - 1400 giri/min (rpm)

1. SCELTA DELLA VELOCITÀ DI TAGLIO (VC) E DEL NUMERO DI GIRI (N)

Dalla tabella dei valori tipici per l'acciaio C45 lavorato con utensile in HSS, la velocità di taglio consigliata è compresa tra 20 e 35 m/min.

Scegliendo per la sgrossatura un valore medio-basso cautelativo pari a Vc = 25 m/min sul diametro massimo di 20 mm, il numero di giri teorico risulta:

n teorico = (1000 * Vc) / (3,1416 * D) = (1000 * 25) / (3,1416 * 20) = 397,9 giri/min

Tra le velocità disponibili sulla macchina (400 - 750 - 1400 rpm) si seleziona **n = 400 rpm**.

Nota tecnica:
Impostando 750 rpm sul diametro da 20 mm si otterrebbe una Vc di 47,1 m/min, valore eccessivo rispetto al limite di 35 m/min che causerebbe la rapida usura del tagliente in HSS.

Con n = 400 rpm e D = 20 mm, la velocità di taglio effettiva è:

Vc effettiva = (3,1416 * 20 * 400) / 1000 = **25,13 m/min**

2. CALCOLO DELLA FORZA DI TAGLIO MASSIMA AMMISSIBILE (FC_MAX)

La potenza di taglio è espressa dalla formula

P_t = (Fc * Vc) / 60 Watt (Fc in N e Vc in m/min).

Avendo a disposizione una potenza utile al mandrino Pu = 1000 W, la forza di taglio massima che il tornio può sostenere a 25,13 m/min è pari a:

$\mathbf{F_{c\,max}}$ = (60 * Pu) / Vc = (60 * 1000) / 25,13 = **2387,6 N**

3. CONFRONTO DI KS E DELLA PROFONDITÀ DI PASSATA MASSIMA (P_MAX) CON I TRE METODI

Assumendo un angolo di spoglia standard gamma = 6° (fattore correttivo K_gamma = 1), si confrontano i valori della pressione specifica di taglio (Ks) e della profondità di passata massima ammissibile dal motore per due avanzamenti tipici di sgrossatura (f = 0,2 mm/giro e f = 0,3 mm/giro):

$p_{max} = F_{c_max} / (K_s * f)$ [mm]

Metodo di calcolo	**Parametri C45 da tabella**	**Avanzamento f = 0,2 mm/giro**	**Avanzamento f = 0,3 mm/giro**
1. Tabella Diretta	Vc media (20-35m/min) Profondità media (1,5 - 3,0 mm)	Ks = 1760 N/mm² q_max = 1,35 mm² **p_max = 6,78 mm**	Ks = 1550 N/mm² q_max = 1,54 mm² **p_max = 5,13 mm**
2. Kronenberg	K_{s0} = 2200 N/mm² Esponente = 0,20	Ks = 2300 N/mm² q_max = 1,04 mm² **p_max = 5,19 mm**	Ks = 2121 N/mm² q_max = 1,12 mm² **p_max = 3,75 mm**
3. Legge di Kienzle	$k_{c1.1}$ = 1700 N/mm² Esponente z = 0,24	Ks = 2501 N/mm² q_max = 0,95 mm² **p_max = 4,77 mm**	Ks = 2269 N/mm² q_max = 1,05 mm² **p_max = 3,51 mm**

4. CICLO PRATICO DI SGROSSATURA (RIFERITO AL DISEGNO TECNICO)

Dal disegno dell'albero finito, i diametri nominali da ottenere sono **12 mm** (spallamento centrale) e **8 mm** (estremità per calettamento cuscinetto SKF 608 e tratto filettato M8x1,25).

Lasciando un sovrametallo di finitura pari a **0,5 mm sul raggio** (1 mm sul diametro), i diametri di sgrossatura sono **13 mm** e **9 mm**.

Fase A - Sgrossatura da diametro 20 mm a diametro 13 mm (riduzione radiale totale = 3,5 mm):

- **Soluzione consigliata (2 passate):**
  Per evitare flessioni della barra (lunga 100 mm) e vibrazioni sull'utensile in HSS, si suddivide l'asportazione in **2 passate** con profondità **p = 1,75 mm** e avanzamento **f = 0,25 - 0,30 mm/giro**.

  Verifica assorbimento (con p = 1,75 mm, f = 0,3 mm/giro e Ks = 1550 N/mm²):
  Sezione truciolo q = 1,75 * 0,3 = 0,525 mm²
  Forza di taglio Fc = 1550 * 0,525 = 813,8 N
  Potenza assorbita Pt = (813,8 * 25,13) / 60 = **341 W (0,34 kW)**

  La lavorazione fluida e ampiamente entro il limite di 1 kW.

- **Soluzione al limite di potenza (1 passata unica):**
  Impostando **p = 3,5 mm** e **f = 0,3 mm/giro**, si asporta tutto il sovrametallo in una sola passata
  Potenza richiesta 0,65 kW con tabella diretta oppure 0,99 kW secondo Kienzle, sfruttando il 100% della potenza del tornio).

Fase B - Sgrossatura tratti laterali da diametro 13 mm a diametro 9 mm (riduzione radiale = 2,0 mm):

- Si effettua **1 passata unica** con profondità **p = 2,0 mm** e avanzamento **f = 0,25 mm/giro**.
- Lavorando sul diametro ridotto da 13 mm, è possibile mantenere **400 rpm** (Vc = 16,3 m/min) oppure passare alla velocità superiore di **750 rpm**, ottenendo
  Vc = (3,1416 * 13 * 750) / 1000 = **30,6 m/min**
  ancora all'interno del range ottimale 20 - 35 m/min per l'HSS.

5. TABELLA RIASSUNTIVA PER IL CARTELLINO DI LAVORAZIONE

Operaz.	D (mm)	p (mm)	N° Pass.	n (rpm)	Vc m/min	f mm/giro	Potenza (kW)
Sgrossatura 1 **(su L = 78 mm)**	Da 20 a 13	1,75	2	400	25,13	0,30	0,34
Sgrossatura 2 **(tratto dx L = 20 mm)**	Da 13 a 9	2,00	1	400 (o 750)	16,3 (o 30,6)	0,25	0,18 (o 0,34)
Sgrossatura 3 **(tratto sx L = 48 mm)**	Da 13 a 9	2,00	1	400 (o 750)	16,3 (o 30,6)	0,25	0,18 (o 0,34)

Calcolo della durata del tagliente (Relazione di Taylor), della finitura superficiale media (Formula di Schmalz) e della temperatura all'interfaccia utensile-truciolo (Equazione di Cook)

Sgrossatura acciaio **C45** con utensile in **HSS** (n=400rpm, vc=25,13m/min, f=0,30mm/giro, p=1,75mm).

6. CALCOLO DELLA DURATA DELL'UTENSILE (RELAZIONE DI TAYLOR)

La relazione di Taylor lega la velocità di taglio alla durata del tagliente attraverso la formula:
$\mathbf{v_c * T^n = C}$ --> da cui si ricava: $\mathbf{T = (C / v_c)^{(1/n)}}$

Dalla tabella dei parametri di Taylor per **Acciai al carbonio (C40, C45)** lavorati con **Utensili in HSS (Acciaio Rapido)** si ricavano i seguenti valori:

- **Costante C (velocità per T = 1 min):** 60 m/min
- **Esponente n (HSS):** compreso tra 0,10 e 0,15 (si adotta il valore medio standard **n = 0,125**, per cui 1 / n = 8)
- **Velocità di taglio effettiva (Vc):** 25,13 m/min

Svolgimento del calcolo:

- Con **n = 0,125** (valore medio):
  T = (60 / 25,13)^(1 / 0,125) = (2,3876)^8 = **1058,5 minuti** (circa 17,6 ore di taglio effettivo)
- Con **n = 0,15** (limite superiore tabella, condizione più severa di sgrossatura):
  T = (60 / 25,13)^(1 / 0,15) = (2,3876)^6,667 = **331,2 minuti** (circa 5,5 ore)
- Con **n = 0,10** (limite inferiore tabella):
  T = (60 / 25,13)^(1 / 0,10) = (2,3876)^10 = **6035,6 minuti**

Verifica con il tempo macchina del pezzo:
Una passata di sgrossatura su L = 78 mm con n = 400 rpm e f = 0,30 mm/giro richiede un tempo di taglio pari a:

Tm = L / (f * n) = 78 / (0,30 * 400) = **0,65 minuti** (39 secondi per passata)

Un ciclo di sgrossatura completo (4 passate complessive tra diametro 13 mm e diametro 9 mm) impegna l'utensile per circa **2,6 minuti**. Con una durata media T = 331 - 1058 minuti, il tagliente in HSS può sgrossare **da 125 a 400 alberi** prima di necessitare di riaffilatura.

7. CALCOLO DELLA FINITURA SUPERFICIALE MEDIA (FORMULA DI SCHMALZ)

Secondo le relazioni geometriche di Schmalz, la rugosità lasciata dall'utensile nella tornitura longitudinale dipende dall'avanzamento **f** e dal raggio di punta dell'utensile $\mathbf{r_\varepsilon}$:

- **Rugosità massima teorica (picco-valle):** $R_{th} = f^2 / (8 * r_\varepsilon)$ [mm]
- **Rugosità media aritmetica teorica (Formula di Schmalz):** $R_{a_th} = f^2 / (31{,}2 * r_\varepsilon)$ [mm]
- **Rugosità media reale:** $R_{a_reale} = K_m * R_{a_th}$

Dati per il calcolo in sgrossatura:

- **Avanzamento (f):** 0,30 mm/giro (oppure 0,25 mm/giro nei tratti laterali)
- **Raggio di punta utensile HSS (r_ε):** assumiamo un valore standard da sgrossatura $\mathbf{r_\varepsilon = 0{,}8}$ **mm**
- **Coefficiente correttivo sperimentale (Km):**
  Lavorando C45 con utensile in HSS a basse velocità (20 - 40 m/min) si ricade nella zona critica del **Tagliente di Riporto (BUE - Built-Up Edge)** e della deformazione plastica laterale, per cui Km è elevato, tipicamente **Km = 1,5 - 2,0**

Svolgimento del calcolo (con f = 0,30 mm/giro e r_epsilon = 0,8 mm):

1. **Altezza massima teorica ($R_{_th}$):**
   $R_{_th} = 0{,}30^2 / (8 * 0{,}8) = 0{,}09 / 6{,}4 = 0{,}01406$ mm = **14,06 µm**
2. **Rugosità media teorica (R_{a_th}):**
   $R_{a_th} = 0{,}30^2 / (31{,}2 * 0{,}8) = 0{,}09 / 24{,}96 = 0{,}003606$ mm = **3,61 µm**
3. **Rugosità media reale stimata (Ra_reale con Km = 1,6):**
   $R_{a_reale} = 1{,}6 * 3{,}61 =$ **5,78 µm**
   valore tipico di una superficie sgrossata, che richiederà una passata di finitura per scendere al valore di Ra = 0,8 - 1,6 µm sulla sede del cuscinetto SKF 608.

Nota: nei tratti laterali con f = 0,25 mm/giro e r_epsilon = 0,8 mm, si ottiene $R_{a_th} = 2{,}50$ µm e $R_{a_reale} = 4{,}00$ µm).

8. CALCOLO DELLA TEMPERATURA DELL'UTENSILE (EQUAZIONE DI COOK)

L'equazione di Cook permette di stimare la temperatura media **T** all'interfaccia truciolo-utensile:

$$\mathbf{T = T_0 + [\ (0{,}4 * U) / (\rho * c)\ ] * [\ (V_c * t_0) / K\ ]^{(1/3)}}$$

Grandezze fisiche e conversione delle unità di misura (obbligatorie nella formula di Cook):

- **T_0 (Temperatura ambiente iniziale):** 20 °C
- **U (Energia specifica di taglio):**
  E' uguale alla pressione specifica di taglio **Ks** (N/mm²) valutata in (J/mm³)
  NB: 1 N/mm² = 1 MJ/m³ = 10^{-3} J/mm³.
  Con f = 0,30 mm/giro e p = 1,75 mm, dalla tabella si ha Ks = 1550 N/mm².
  U = 1,55 J/mm³ *(Se si usa Kienzle Ks = 2269 N/mm² allora U = 2,269 J/mm³).*
- **ρ * c (Calore specifico volumetrico per acciaio C45):**
  Densità ρ = 7,85 * 10^{-3} g/mm³; Calore specifico c_s = 0,48 J/(g °C)
- **ρ * c = 0,00377 J/(mm³ °C)**
  valore standard per gli acciai al carbonio: 0,0038 J/(mm³ °C).
- **K (Diffusività termica dell'acciaio C45):**
  K = 12,0 mm²/s (dato dal rapporto tra conducibilità termica k = 45 W/(m K) e calore specifico volumetrico).
- **Vc (Velocità di taglio convertita in mm/s):**
  Vc = 25,13 m/min = (25,13 * 1000) / 60 = 418,83 mm/s
- **t_0 (Spessore del truciolo indeformato = avanzamento f):** 0,30 mm

Svolgimento del calcolo:

1. **Primo termine (rapporto energetico-termico):**
   (0,4 * U) / (ρ * c) = (0,4 * 1,55) / 0,00377 = 0,62 / 0,00377 = 164,46 °C
2. **Secondo termine (numero adimensionale di Péclet sotto radice cubica):**
   $[(Vc * t_0) / K]^{(1/3)}$ = [(418,83 * 0,30) / 12,0]^(0,333) = [125,65 / 12,0]^(0,333) = (10,47)^(0,333) = 2,188
3. **Incremento di temperatura (*ΔT*):**
   Delta_T = 164,46 * 2,188 = 359,8 °C
4. **Temperatura finale sull'utensile (T):**
   T = T_0 + *ΔT* = 20 + 359,8 = **379,8 °C (circa 380 °C)**

Se si esegue il medesimo calcolo utilizzando il Ks di Kienzle pari a 2269 N/mm², ovvero U = 2,269 J/mm³, si ottiene ΔT = 526,7 °C
*Temperatura finale **T = 546,7 °C**.*

Verifica termica dell'utensile in HSS:
L'acciaio rapido (HSS) mantiene la propria durezza di tempra fino a una temperatura critica di rinvenimento di circa **550 °C - 600 °C**.

La temperatura calcolata a 400 rpm (**380 °C** con Ks tabellare, o **547 °C** nel caso più gravoso di Kienzle) risulta **inferiore alla soglia limite di 600 °C**.

Ciò conferma analiticamente perché la scelta di **n = 400 rpm** è corretta (mentre salendo a 750 rpm su diametro 20 mm la velocità passerebbe a 785 mm/s portando la temperatura oltre la soglia di rammollimento del tagliente in HSS, specialmente in assenza di fluido refrigerante).

9. TABELLA RIEPILOGATIVA GENERALE (CONFRONTO DEI RISULTATI)

Grandezza Calcolata	**Formula / Modello Utilizzato**	**Ks Tabella = 1550 N/mm²**	**Ks Kienzle = 2269 N/mm²**	**Limite / Riferimento Tecnico**
Durata Utensile (T)	Taylor: $T = (C / Vc)^{(1/n)}$	**1058 min** (con n = 0,125) **331 min** (con n = 0,15)	**1058 min** (con n = 0,125) **331 min** (con n = 0,15)	C = 60 n = 0,10 - 0,15 (HSS)
Rugosità Teorica (Ra_th)	Schmalz: $f^2 / (31,2 * r_e)$	**3,61 µm** (con f = 0,3; r_e = 0,8)	**3,61 µm** (con f = 0,3; r_e = 0,8)	R_th= 14,06 µm
Rugosità Reale (Ra_reale)	Ra_reale = Km * Ra_th	**5,78 µm** (con Km = 1,6)	**5,78 µm** (con Km = 1,6)	Finitura tipica di sgrossatura
Temperatura Tagliente (T)	Cook	**380 °C** (U = 1,55 J/mm³)	**547 °C** (U = 2,27 J/mm³)	T_max HSS ≈ 550 - 600 °C

VALORI TIPICI DI V_C E K_S PER DIVERSI MATERIALI

Avanzamento f [mm/giro] - HM= metallo duro - HSS acciaio superrapido

				Ks [N/mm2] con angolo di spoglia γ= 6°				
Materiale	**vc (HM) [m/min]**	**vc (HSS) [m/min]**	**Profondità p [mm]**	**f = 0.1**	**f = 0.2**	**f = 0.3**	**f = 0.4**	**f = 0.5**
Acciai dolci / automatici (es. 11SMn30, Fe360)	150 - 250	25 - 40	Piccola (0.5 - 1.5)	1910	1650	1500	1390	1320
			Media (1.5 - 3.0)	1810	1570	1420	1330	1250
			Grande (> 3.0)	1720	1490	1360	1260	1190
Acciai al carbonio (es. C40, C45 - ~180 HB)	120 - 200	20 - 35	Piccola (0.5 - 1.5)	2160	1820	1620	1490	1380
			Media (1.5 - 3.0)	2050	1760	1550	1390	1310
			Grande (> 3.0)	1940	1690	1490	1340	1270
Acciai legati da bonifica (es. 39NiCrMo4, 42CrMo4)	80 - 150	15 - 25	Piccola (0.5 - 1.5)	2890	2430	2220	2060	1910
			Media (1.5 - 3.0)	2730	2320	2120	1990	1830
			Grande (> 3.0)	2630	2220	2030	1900	1750
Acciai inossidabili austenitici (es. AISI 304, AISI 316)	80 - 120	10 - 20	Piccola (0.5 - 1.5)	2600	2190	1980	1840	1730
			Media (1.5 - 3.0)	2470	2090	1900	1760	1660
			Grande (> 3.0)	2340	1990	1810	1680	1580
Acciai inossidabili martensitici (es. AISI 420)	100 - 160	15 - 25	Piccola (0.5 - 1.5)	3120	2620	2370	2200	2070
			Media (1.5 - 3.0)	2960	2500	2270	2100	1980
			Grande (> 3.0)	2810	2380	2160	2000	1890
Ghisa grigia perlitica (es. G25 / GG25)	150 - 250	15 - 25	Piccola (0.5 - 1.5)	1420	1150	1060	990	910
			Media (1.5 - 3.0)	1300	1070	990	930	860
			Grande (> 3.0)	1250	1020	940	880	820
Ghisa sferoidale (es. GS500 / GGG50)	120 - 180	10 - 20	Piccola (0.5 - 1.5)	1790	1480	1340	1250	1180
			Media (1.5 - 3.0)	1660	1390	1270	1180	1110
			Grande (> 3.0)	1570	1320	1200	1120	1060
Alluminio puro e leghe tenere (es. Serie 1000/6000)	300 - 800	60 - 100	Piccola (0.5 - 1.5)	710	590	530	490	460
			Media (1.5 - 3.0)	670	560	500	460	430
			Grande (> 3.0)	640	530	480	440	410
Leghe d'alluminio da lavorazione (es. Avional, Ergal)	250 - 600	50 - 90	Piccola (0.5 - 1.5)	830	700	630	590	530
			Media (1.5 - 3.0)	790	650	600	560	510
			Grande (> 3.0)	740	620	570	520	480
Ottone da taglio libero (es. OT58)	200 - 400	40 - 70	Piccola (0.5 - 1.5)	820	710	650	610	580
			Media (1.5 - 3.0)	790	680	620	580	550
			Grande (> 3.0)	750	650	590	550	520

La forza di taglio si calcola quindi con la: $F_c = K_s \cdot q$ [N] con $q = p \cdot f$ (mm^2)

Regola per la spoglia reale (γ) diversa da 6 gradi:

Per angoli diversi da 6° si deve prima calcolare un fattore correttivo Kγ per calcolare il K_s effettivo:

$K\gamma = 1 - (\gamma - 6) / 66.7$

$K_{s_effettivo} = K_{s_tabella} * K\gamma$

FORMULA DI KRONENBERG

Tabella parametri di Kronenberg standard (Angolo di spoglia $\gamma = 6°$)

Gruppo Materiale	Stato / Caratteristiche	Ks0 (N/mm2)	Esponente (ε)	Campo di applicazione tipico
Acciai dolci / automatici (es. 11SMn30, Fe360)	Ricotto (< 150 HB)	1850	0.18	Carpenteria leggera, carichi minimi
Acciai al carbonio (es. C40, C45)	Normalizzato (~180 HB)	2200	0.20	Alberame, organi meccanici base
Acciai legati da bonifica (es. 39NiCrMo4, 42CrMo4)	Bonificato (~300 HB)	2600	0.22	Ingranaggi, alta resistenza
Acciai inossidabili austenitici (es. AISI 304, AISI 316)	Solubilizzato (~180 HB)	2450	0.21	Settore chimico, alta tenacità
Acciai inossidabili martensitici (es. AISI 420)	Temprato (~350 HB)	2800	0.23	Palette per turbine, alta durezza
Ghisa grigia perlitica (es. G25 / GG25)	Fusione (~200 HB, $\gamma = 2°$)	1250	0.16	Basamenti per macchine, truciolo corto
Ghisa sferoidale (es. GS500 / GGG50)	Ferritico-Perlitica (~230 HB)	1600	0.18	Scatole cambio, alberi a gomiti
Alluminio e leghe tenere (es. Serie 1000/6000)	Ricotto / Estruso	680	0.14	Minimo sforzo di taglio
Leghe d'alluminio strutturali (es. Avional, Ergal)	Invecchiato artificialmente	880	0.20	Lavorazioni aeronautiche veloci
Ottone da taglio libero (es. OT58)	Crudo	780	0.10	Minuterie metalliche ad alta velocità

Per calcolare la forza specifica reale Ks (N/mm2) con la formulazione di Kronenberg in base al tuo avanzamento reale f (che a 90° corrisponde allo spessore del truciolo h):

$K_s = K_{s0} * (0.25 / h)^{\varepsilon}$ [N/mm^2] dove la costante 0.25 è altezza truciolo h_0

La forza di taglio si calcola quindi con la: $F_c = K_s \cdot q$ [N] con $q = p \cdot f$ (mm^2)

Regola per la spoglia reale (γ) diversa da 6 gradi:

Se l'utensile reale ha un angolo differente dai 6 gradi di riferimento, il valore di Ks finale ottenuto qui sopra va corretto moltiplicandolo per il coefficiente correttivo dato dalla:

$K_\gamma = 1 - (\gamma - 6) / 66.7 \rightarrow K_{s_effettivo} = K_s * K_\gamma$

$F_c = K_{s_effettivo} \cdot q$ [N]

FORMULA DI KIENZLE

Kienzle ha formulato una relazione empirica legando la resistenza specifica Ks allo spessore del truciolo (che nel tornio o nella fresa è direttamente proporzionale all'avanzamento per giro f) tramite un coefficiente z che dipende dal materiale lavorato:

$$K_s = \frac{K_{s1.1}}{f^z}$$ con Ks1.1 resistenza specifica nominale ad avanzamento unitario e $\gamma = 6°$

La forza di taglio si calcola quindi con la: $F_c = K_s \cdot q$ [N] con $q = p \cdot f$ (mm^2)

Regola per la spoglia reale (γ) diversa da 6 gradi:

Se l'utensile reale ha un angolo differente dai 6 gradi di riferimento, il valore di Ks finale ottenuto qui sopra va corretto moltiplicandolo per il coefficiente correttivo dato dalla:

$K_\gamma = 1 - (\gamma - 6) / 66.7 \rightarrow K_{s_effettivo} = K_s * K_\gamma$

Tabella parametri di Kienzle standard (Angolo di spoglia $\gamma = 6°$)

Gruppo Materiale	Stato / Durezza	kc1.1 (N/mm2)	Esponente (z)	Note d'officina
Acciai dolci / automatici (es. 11SMn30, Fe360)	Ricotto (< 150 HB)	1500	0.21	Bassa resistenza, truciolo lungo
Acciai al carbonio (es. C40, C45)	Normalizzato (~180 HB)	1700	0.24	Materiale standard da costruzione
Acciai legati da bonifica (es. 39NiCrMo4, 42CrMo4)	Bonificato (~300 HB)	2200	0.26	Elevata resistenza meccanica
Acciai inossidabili austenitici (es. AISI 304, AISI 316)	Solubilizzato (~180 HB)	2000	0.25	Forte incrudimento e tenacità
Acciai inossidabili martensitici (es. AISI 420)	Temprato (~350 HB)	2400	0.28	Elevata durezza superficiale
Ghisa grigia perlitica (es. G25 / GG25)	Fusione (~200 HB)	1100	0.18	Truciolo corto e frammentato
Ghisa sferoidale (es. GS500 / GGG50)	Ferritico-Perlitica (~230 HB)	1400	0.20	Maggior tenacità rispetto alla grigia
Alluminio puro e leghe tenere (es. Alluminio serie 1000/6000)	Ricotto / Estruso	550	0.15	Basso sforzo, rischio incollamento
Leghe d'alluminio da lavorazione (es. Avional, Ergal)	Invecchiato artificialmente	750	0.25	Ottima lavorabilità alle alte velocità
Ottone da taglio libero (es. OT58)	Crudo	650	0.12	Truciolo cortissimo, sforzi minimi

LEGGE DI TAYLOR

La durata del tagliente, cioè il tempo di lavoro tra due successive riaffilature o sostituzioni, è funzione decrescente della velocità di taglio V_c.

$$v_c \cdot T^n = C$$

- v_c = velocità di taglio espressa in m/min. che consente una durata del tagliente di T minuti;
- T = durata del tagliente in minuti;
- n = coefficiente di durata del tagliente, dipendente dal materiale dell'utensile
- C = rappresenta la velocità di taglio per la quale l'utensile dura 1 minuto; costante, che dipende da molti fattori quali il criterio di usura, la geometria dell'utensile, il materiale in lavorazione e così via;

La formula derivata di Taylor per calcolare la durata T (in minuti) è:

$$T = (C / v_c)^{(1/n)} \quad \text{min}$$

Gruppo Materiale Pezzo	Parametro	Utensili in HSS (Acciaio Rapido)	Utensili in Metallo Duro (Carburo / HM)	Utensili in Ceramica (Ossidi/Nitruri)
Valore indicativo esponente (n)	n	0.10 - 0.15	0.20 - 0.30	0.50 - 0.70
Acciai dolci / automatici (es. 11SMn30, Fe360)	C	70	380	900
Acciai al carbonio (es. C40, C45)	C	60	350	800
Acciai legati da bonifica (es. 39NiCrMo4)	C	45	280	650
Acciai inossidabili (es. AISI 304, AISI 420)	C	40	250	550
Ghisa grigia perlitica (es. G25 / GG25)	C	50	300	1100
Ghisa sferoidale (es. GS500)	C	40	260	850
Alluminio e leghe leggere (Avional, Ergal …)	C	250	900	no
Ottone da taglio libero (es. OT58)	C	180	700	no

LEGGE DI SCHMALZ

Altezza massima teorica del profilo (rugosità picco-valle R_{th} o R_{max}):

$R_{th} \approx f^2 / (8 \cdot r_\varepsilon)$

Formula di Schmalz per la rugosità media aritmetica teorica ($R_{a,th}$):

La rugosità media aritmetica al profilo geometrico circolare è data dalla relazione:

$R_{a,th} \approx R_{th} / 3{,}85 \approx f^2 / (31{,}2 \cdot r_\varepsilon)$

Rugosita media reale ($R_{a,th\ reale}$)**:**

$R_{a,reale} = K_m \cdot R_{a,th}$

Unità di misura:

- f = avanzamento per giro [mm/giro]
- r_ε = raggio di punta dell'inserto [mm]
- R_{th} ed $R_{a,th}$ risultano in millimetri [mm] (moltiplicare x 1000 ver avere [µm])

Parametro Operativo	Utensile in HSS / HSS-E	Utensile in Metallo Duro (HM) Rivestito
Velocità di taglio finitura (vc)	30 - 42 m/min	180 - 240 m/min
Rischio Tagliente di Riporto	Alto (vc nel campo critico)	Nullo / Trascurabile (vc elevata)
Raggio del filo tagliente (r_β)	Molto piccolo (2 - 8 µm)	Medio (15 - 30 µm, filo arrotondato)
Fattore K_m (con refrigerante)	1,30 - 1,60	1,15 - 1,25
Fattore K_m (a secco)	1,80 - 2,50+	1,25 - 1,35
Grado di finitura raggiungibile	N6 - N7 ($R_a \approx$ 0,8 - 1,6 µm)	N5 - N6 ($R_a \approx$ 0,4 - 0,8 µm)

LEGGE DI COOK

L'equazione di Nathan H. Cook rappresenta un fondamentale modello analitico nello studio delle lavorazioni meccaniche. Permette di stimare la temperatura media che si genera all'interfaccia tra il tagliente dell'utensile e il truciolo durante il processo di taglio ortogonale, un dato cruciale per la scelta dei materiali degli inserti e dei parametri di taglio.

La formula si esprime nel seguente modo:

$$T = T_o + [\ (0{,}4 \cdot U) / (\rho \cdot c)\ ] \cdot [\ (v_c \cdot t_o) / K\ ]^{1/3}$$

Simbolo	Definizione Tecnico-Fisica	Unità di Misura
T	Temperatura media all'interfaccia truciolo-utensile	C
T_o	Temperatura ambiente iniziale del pezzo	C
U	Energia specifica di taglio del materiale	J/mm³
ρ · c	Calore specifico volumetrico del materiale	J/(mm³ C)
v_c	Velocità di taglio	mm/s
t_o	Spessore del truciolo indeformato (= avanzamento *f* nella tornitura)	mm
K	Diffusività termica del materiale lavorato	mm²/s
1/3	Esponente empirico (0,333) sperimentale per metalli	