

6. Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen

6.1 Allgemeines

Die geeignete Wahl der Fertigungsmittel wird heute von folgenden Faktoren mitbestimmt:

- kürzere Innovationszeiten
- verstärkter Kostendruck
- höherer Stundenlohn
- kürzere Arbeitszeiten
- höhere Maschinenstundensätze
- zunehmende Typenvielfalt
- kleinere Losgrößen
- kürzere Lieferzeiten.

Eine möglichst kostengünstige Fertigung führt zu flexiblen und automatisierten Fertigungseinrichtungen mit intensi-

ver technologischer und zeitlicher Nutzung (z. B. Durchfahren von Pausen). Zur Produktivitätssteigerung müssen immer höherwertige Werkzeugsysteme und Schneidstoffe eingesetzt werden. Die optimalen Standzeiten werden immer kleiner, die optimalen Schnittgeschwindigkeiten immer höher.

Wie folgendes Beispiel (*Bild 76*) nach Wiebach zeigt, beträgt die Standzeit bei Schneidkeramik mit 5 min nur $\frac{1}{3}$ der von Hartmetall bzw. $\frac{1}{2}$ derjenigen von Schnellarbeitsstahl. Aber aufgrund der 25fach schnelleren Bearbeitung gegenüber HSS wird eine Produktivitätssteigerung auf mehr als das Doppelte erreicht.

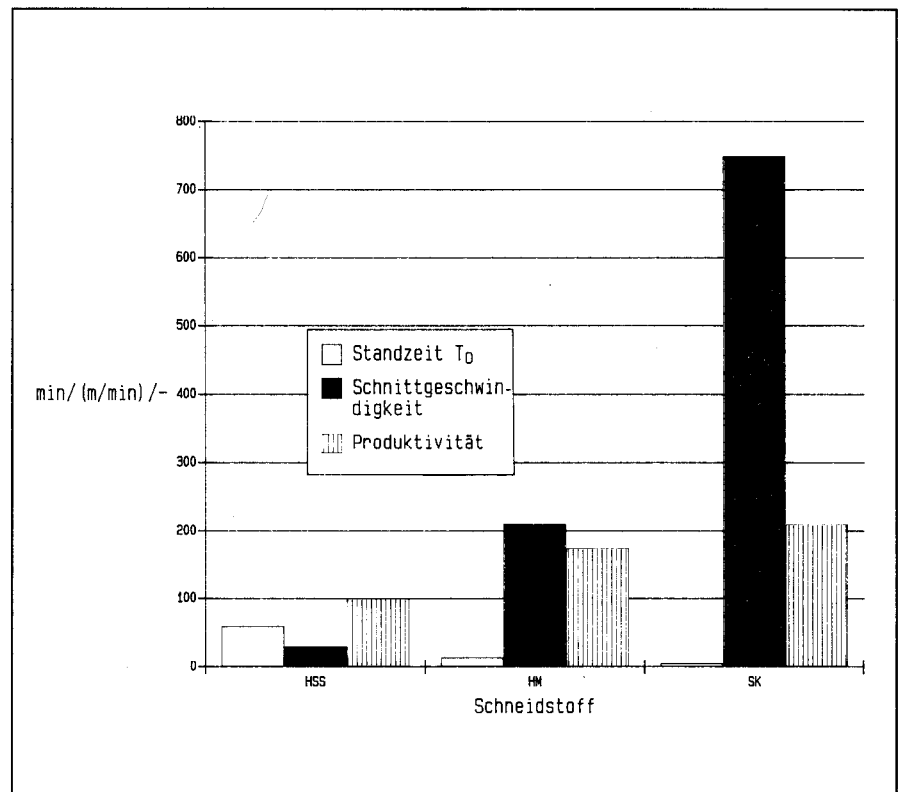


Bild 76: Produktivitätssteigerung durch Schneidkeramik (nach Wiebach)

6.2 Zerspanbarkeitsvergleich Stahl – Guß

Bei derartigen Vergleichen ist es prinzipiell wichtig, daß nur Werkstoffe vergleichbarer Festigkeit (Härte) miteinander verglichen werden, z. B. Ck 45 mit GGG 70 und nicht 42 CrMo 4 V mit GG 25.

Höchste Gußwerkstoffe wie ein GGG 60 oder GGG 70 führen zu starkem Kolkverschleiß im Vergleich zu Stahlwerkstoffen (Bild 77). Bei Schmiedestählen tritt Schneidkantenversatz, Schneidkantenverrundung sowie ein gleichmäßiger Freiflächenverschleiß auf. Die starke Kolkung bei der Gußzerspanung bringt die Gefahr des plötzlichen Abbrechens der Schneidkante mit sich. Dies wirkt sich negativ auf die Prozeßsicherheit aus. Die anwendbaren Schnittgeschwindigkeiten liegen bei Schmiedestählen 2–3mal höher als bei vergleichbaren Gußwerkstoffen (Bild 78). Durch die hohen Schnittgeschwindigkeiten in Verbindung mit dem gleichmäßigen Gefüge lassen sich bei Stahlwerkstoffen höhere Oberflächenqualitäten erreichen als bei Guß. Dies zeigt sich insbesondere in der Fräsbearbeitung. Der Vorteil von Guß, auch bei duktilen Gußwerkstoffen, liegt bei der Spanformung (Bild 79).

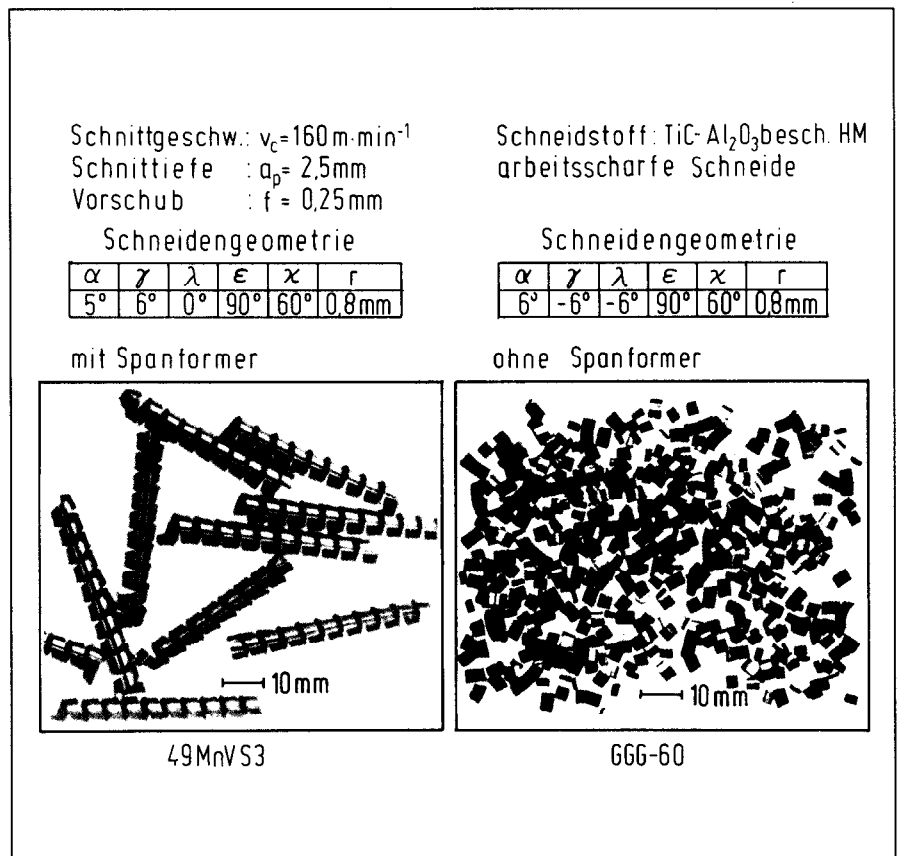


Bild 79: Spanformen bei Stahl und Guß

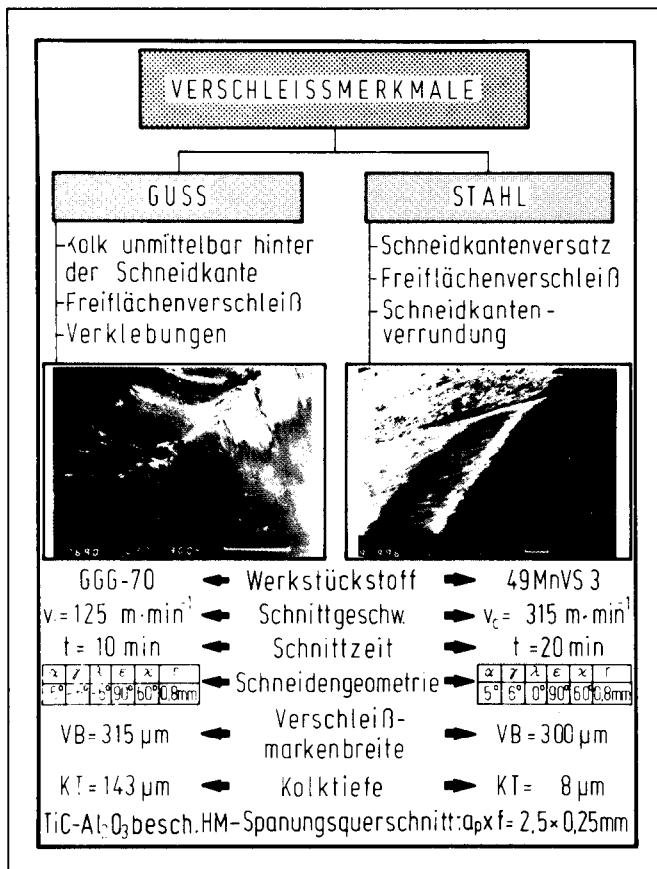


Bild 77: Vergleich der Verschleißformen bei Stahl und Guß

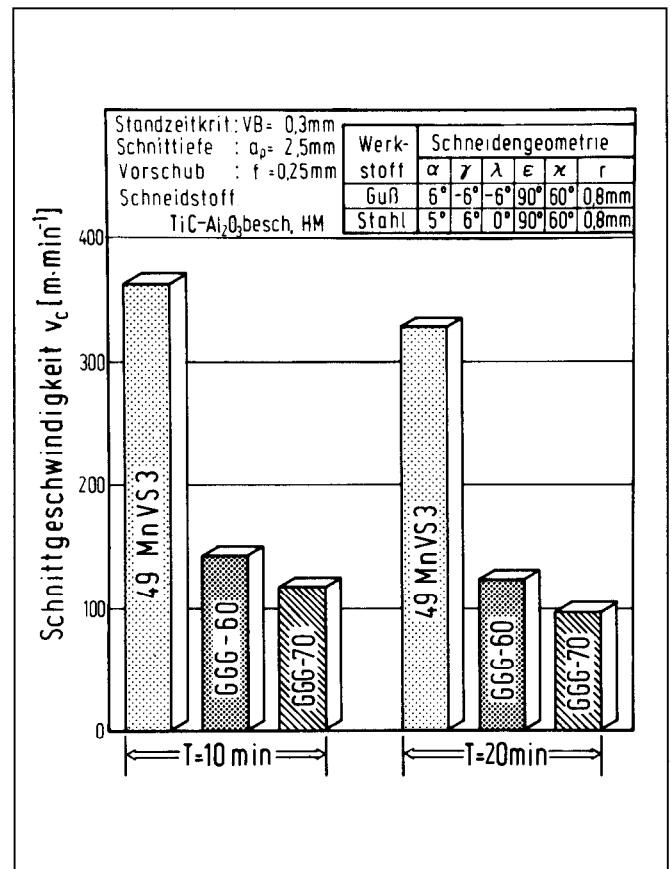
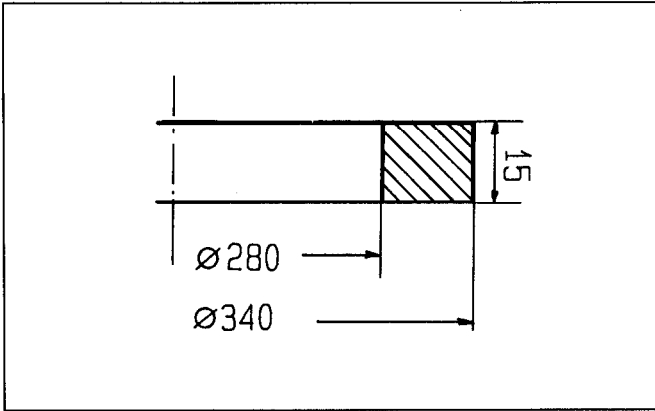


Bild 78: Standzeitvergleich bei der Stahl- und Gußzerspanung

6.3 Optimierungsrechnungen

Rechenbeispiel (fiktiv)

Plan- und Längsdrehen am Zahnkranz (s. Skizze). Zur Auswahl stehen die Werkstoffe Ck 45 V und Ck 45 mod. BY (s. a. Bild 35). Es ist ein Fertigungskostenvergleich durchzuführen. (Nähere Hinweise zur Optimierung von Zerspanprozessen enthält die VDI-Richtlinie 3321.)



Gegeben:

Schneidstoff: Oxidkeramik
 Eckenradius: $r_e = 1,6$ mm
 Rauhtiefe $R_z = 12$ μ m
 Einstellwinkel: $\alpha = 85^\circ$
 Schnitttiefe: $a_p = 3,0$ mm
 Spezifische Schnittkraft $k_{c1.1} = 1560$ N/mm²
 Anstiegswert der spezifischen Schnittkraft $1-m_c = 0,75$
 Werkzeugkosten je Standzeit: $K_{WT} = 5,17$ DM
 Maschinen- und Lohnzeitsatz: $K_{ML} = 64,50$ DM/h
 Anstiegswert-k, Ck 45 V = 1,2
 Anstiegswert-k, Ck 45 mod. BY = 2,1
 C-Wert, Ck 45 V = 2200 m/min
 C-Wert, Ck 45 mod. BY = 2100 m/min
 Werkzeugwechselzeit $t_w = 2$ min

Gesucht:

Vorschub f
 Schnittkraft F_c
 Schnittleistung P_c
 Antriebsleistung P_M
 Hauptzeit t_h
 Zeit je Einheit t_e
 kostenoptimale Standzeit T_{ok}
 kostenoptimale Schnittgeschwindigkeit v_{cok}
 Fertigungskosten im Vergleich K_F

Lösung:

Vorschub:

$$R_z = \frac{f^2}{8} \cdot r_e$$

$$f = \sqrt{R_z \cdot 8 \cdot r_e}$$

$$f = \sqrt{0,012 \cdot 8 \cdot 1,6}$$

$$f = 0,4$$
 mm

Schnittkraft

$$F_c = b \cdot h^{1-m_c} \cdot k_{c1.1}$$

$$\alpha \approx 90^\circ$$

$$F_c = a_p \cdot f^{1-m_c} \cdot k_{c1.1}$$

$$F_c = 3,0 \cdot 0,4^{0,75} \cdot 1560$$

$$F_c = 2354$$
 N

$$F_c \text{ VB } 0,3 = 1,5 \cdot 2354$$

$$F_c \text{ VB } 0,3 = 3531$$
 N

Kostenoptimale Standzeit

$$T_{ok} = (-k-1) (t_w + K_{WT}/K_{ML})$$

$$T_{ok, \text{ Ck 45 V}} = (1,2-1) (2 + (5,17/64,50) \cdot 60)$$

$$T_{ok, \text{ Ck 45 V}} = 1,4$$
 min

$$T_{ok, \text{ Ck 45 mod. BY}} = (2,1-1) (2 + (5,17/64,50) \cdot 60)$$

$$T_{ok, \text{ Ck 45 mod. BY}} = 7,5$$
 min

Kostenoptimale Schnittgeschwindigkeit

$$v_{cok} = C \cdot T_{ok}^{1/k}$$

$$v_{cok, \text{ Ck 45 V}} = 2200 \cdot 1,4^{-0,8}$$

$$v_{cok, \text{ Ck 45 V}} = 1680$$
 m/min

$$v_{cok, \text{ Ck 45 mod. BY}} = 2100 \cdot 7,5^{-0,5}$$

$$v_{cok, \text{ Ck 45 mod. BY}} = 770$$
 m/min

Schnittleistung

$$P_c = F_c \cdot v_c / 60 \cdot 103$$
 (kW)

$$P_{c, \text{ Ck 45 V}} = 3531 \cdot 1680 / 60 \cdot 103$$

$$P_{c, \text{ Ck 45 V}} = 99$$
 kW

$$P_{c, \text{ Ck 45 mod. BY}} = 3531 \cdot 770 / 60 \cdot 103$$

$$P_{c, \text{ Ck 45 mod. BY}} = 45$$
 kW

Motorleistung

$$P_M = P_c / \eta$$
 (Wirkungsgrad $\eta = 0,8$)

$$P_{M, \text{ Ck 45 V}} = 99 / 0,8$$

$$P_{M, \text{ Ck 45 V}} = 124$$
 kW

$$P_{M, \text{ Ck 45 mod. BY}} = 45 / 0,8$$

$$P_{M, \text{ Ck 45 mod. BY}} = 57$$
 kW

Hauptzeit

Plan-drehen $l = 30$ mm
 $t_h = l \cdot d_m \cdot n / (f \cdot v_c)$ (d_m = mittlerer Drehdurchmesser)
 $t_{h, \text{ Ck 45 V}} = 30 \cdot 310 \cdot n / (0,4 \cdot 1680)$
 $t_{h, \text{ Ck 45 V}} = 0,043$ min
 $t_{h, \text{ Ck 45 mod. BY}} = 30 \cdot 310 \cdot n / (0,4 \cdot 770)$
 $t_{h, \text{ Ck 45 mod. BY}} = 0,095$ min

Längsdrehen

$$t_{h, \text{ Ck 45 V}} = 15 \cdot 340 \cdot n / (0,4 \cdot 1680)$$

$$t_{h, \text{ Ck 45 V}} = 0,024$$
 min

$$t_{h, \text{ Ck 45 mod. BY}} = 15 \cdot 340 \cdot n / (0,4 \cdot 770)$$

$$t_{h, \text{ Ck 45 mod. BY}} = 0,052$$
 min

$$t_{h, \text{ ges, Ck 45 V}} = 0,067$$
 min

$$t_{h, \text{ ges, Ck 45 mod. BY}} = 0,147$$
 min

Zeit je Einheit

$$t_e = 1,15 (t_h + t_n) \quad (t_n \approx 0,4 \cdot t_h)$$

$$t_e = 1,6 \cdot t_h$$

$$t_{e, \text{ Ck 45 V}} = 0,107$$
 min

$$t_{e, \text{ Ck 45 mod. BY}} = 0,235$$
 min

Standmenge

$$n_{wt} = T / t_e$$

$$n_{wt, \text{ Ck 45 V}} = 1,4 / 0,107$$

$$n_{wt, \text{ Ck 45 V}} = 13$$

$$n_{wt, \text{ Ck 45 mod. BY}} = 7,5 / 0,235 = 32$$

Fertigungskosten

$$K_F = K_{ML} \cdot t_e / 60 + K_{WT} / n_{WT}$$

$$K_{F, \text{ Ck 45 V}} = 64,50 / 60 \cdot 0,107 + 5,17 / 13$$

$$K_{F, \text{ Ck 45 V}} = 0,513$$
 DM/Wstck.

$$K_{F, \text{ Ck 45 mod. BY}} = 64,50 / 60 \cdot 0,235 / 32$$

$$K_{F, \text{ Ck 45 mod. BY}} = 0,414$$
 DM/Wstck.

Einsparung ca. 0,1 DM bzw. 19% bei der Verwendung von Ck 45 mod. BY anstelle Ck 45 V.

In dieser theoretischen Betrachtung wurde davon ausgegangen, daß die ermittelten Werte beim Ck 45 V für Schnittgeschwindigkeit (1680 m/min) bzw. Antriebsleistung (124 kW) auch zur Verfügung stehen. In der Praxis fehlen jedoch in der Regel die maschinellen Voraussetzungen, so daß maximal die

optimalen Schnittwerte des Ck 45 mod. BY realisiert werden könnten. Mit diesen Schnittwerten würde sich der Fertigungskostenvorteil durch die Verwendung des BY-Stahls kräftig verstärken.

Die möglichen Einsparungen sind stark bauteilabhängig. Dort, wo umfangreiche Drehvorgänge anfallen und die Hauptzeit größer als die Nebenzeit ist, wirken sich höhere Standzeiten und Schnittgeschwindigkeiten, insbesondere bei Keramikeinsatz, hervorgerufen durch zerspanungsgerechte Werkstoff-

wahl, deutlich auf die Fertigungszeit und Fertigungskosten aus.

Bei der Einführung von BY-Stählen sollten zu Beginn Gespräche zwischen Zerspanungsfachleuten, Schmieden und Stahlherstellern stattfinden. Festlegungen, wie z. B. Mindestschwefelgehalte oder anzustrebende Festigkeitswerte im Toleranzbereich, helfen sicherzustellen, daß die Materialkostenvorteile der BY-Stähle durch eine günstige Zerspanung verstärkt werden.

6.4 Schnittgeschwindigkeitsempfehlungen

Schnittgeschwindigkeit v_c (m/min)					
Härte HB	Drehen			Bohren	
	Schneidstoff	$f = 0,2$ mm	$f = 0,4$ mm	Scheidstoff	$f = 0,01 \times d$
190 ÷ 220	unbesch. HM	225	190	HSS	25
	besch. HM	290	230		
	Schneidkeramik	650	500	Hartmetall	75
220 ÷ 250	unbesch. HM	180	160	HSS	18
	besch. HM	250	190		
	Schneidkeramik	550	450	Hartmetall	60
Härte HB	Fräsen			Gewinden	
	Schneidstoff	$f_z = 0,12$ mm	$f_z = 0,25$ mm	Schneidstoff	$f = m$ (Steigung)
190 ÷ 220	unbeschichtetes Hartmetall	170	140	HSS	10
220 ÷ 250	unbeschichtetes Hartmetall	130	110	HSS	8