



Inhaltsverzeichnis

Klaus Lochmann

Formelsammlung Fertigungstechnik

Formeln - Richtwerte - Diagramme

ISBN: 978-3-446-41501-0

Weitere Informationen oder Bestellungen unter

<http://www.hanser.de/978-3-446-41501-0>

sowie im Buchhandel.

# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Größen, Einheiten, Toleranzen/Passungen, Werkstoffkennwerte</b>	<b>11</b>
1.1	Physikalisch-technische Größen, SI- und weitere Einheiten, spezielle Umrechnungen	11
1.2	Vorschübe und Lastdrehzahlen an Werkzeugmaschinen	13
1.3	Zulässige Maß-, Form-, Lage- und Oberflächenabweichungen, Toleranzen und Passungen	14
1.4	Werkstoffe – Vergleichstabellen und Kennwerte	22
1.4.1	Bezeichnungssystematik typischer Maschinenbau-Werkstoffe	22
1.4.2	Übersichten zu Stahl- und Gusswerkstoffen	25
1.4.3	Kennwerte typischer Kunststoffe	32
1.4.4	Keramische und Verbundwerkstoffe (DIN ISO 4381; DIN 30910-1; DIN 1494-1)	34
1.5	Zielstellungen innerhalb der Fertigungstechnik	35
<b>2</b>	<b>Urformtechnik (Gießen, Sintern, Abscheiden)</b>	<b>37</b>
2.1	Werkstoffauswahl und erreichbare Teilequalitäten	37
2.2	Abmessungen und Gestaltung von Modellen und Gussteilen	39
2.3	Regeln und Hinweise zur form-, gieß-, putz- und bearbeitungsgerechten Gestaltung von Gussteilen	42
2.4	Verfahren der Urformtechnik (Hinweise, Berechnungen, Empfehlungen)	49
2.4.1	Urformen aus flüssigem, plastischem und teigigem Zustand (Gießen)	49
2.4.1.1	Gießen in verlorene Formen; Sandformguss	49
2.4.1.2	Gießen in Dauerformen aus Stahl (und Keramik)	51
2.4.2	Urformen aus dem festen (körnigen) Zustand (Sintern)	57
2.4.3	Urformen aus dem ionisierten Zustand (Galvanoformung)	60
2.4.4	Urformen duro- und thermoplastischer Kunststoffe	60
<b>3</b>	<b>Umformtechnik</b>	<b>63</b>
3.1	Grundlagen der Metallumformung	63
3.2	Verfahren des Druckumformens	67
3.2.1	Längs- bzw. Reckwalzen	67
3.2.2	Glattwalzen gekrümmter und ebener Oberflächen (Feinwalzen, Prägepolieren, ...)	68
3.2.3	Querwalzen	71
3.2.4	Freiformen (Schmieden)	71
3.2.5	Gesenkformen	72
3.2.5.1	Gesenkschmieden und Prägen	72
3.2.5.2	(Warm- und Kalt-)Stauhen	75
3.2.5.3	Strangpressen	78
3.2.5.4	Fließpressen	79
3.2.5.5	Einsenken	83
3.2.5.6	Gewindeherstellung (Gewindefurchen bzw. -formen und Gewindewalzen)	84
3.3	Zug-Druck-Umformung	87
3.3.1	Tiefziehen	87
3.3.2	Drücken/Fließdrücken	97
3.3.3	Durchziehen/Drahtziehen	99
3.4	Zugumformung	99
3.4.1	Rohrziehen (Verfahren und Kenngrößen)	99
3.4.2	Abstreckziehen (Verfahren und Berechnungen)	100
3.5	Biegeformen (Biegen)	100
3.6	Besonderheiten der Hochgeschwindigkeits- und -energieumformung (Teilebearbeitung mit Schockwellen)	108
<b>4</b>	<b>Trennen – Schneiden/Zerteilen, Spanen und Abtragen (Generieren)</b>	<b>112</b>
4.1	Schneiden und Zerteilen	112
4.1.1	Verfahren und Maschinenhauptzeiten	112
4.1.2	Anordnung von Werkstücken in Blechstreifen („Streifenbilder“)	113
4.1.3	Werkzeuggestaltung und Berechnungen an Schnittwerkzeugen	116
4.1.4	Berechnung des Kraft- und Arbeitsbedarfes beim Schneiden	120
4.1.5	Besonderheiten beim Feinschneiden	121
4.1.6	Schneiden mit Gummikissen	123

4.2	Spanen und Abtragen (mit Generieren) .....	123
4.2.1	Spanende Verfahren der Fertigungstechnik .....	123
4.2.1.1	Begriffe, Größen, Zusammenhänge und Abläufe beim Spanen .....	123
4.2.1.2	Kräfte und Leistungen beim Spanen .....	126
4.2.1.3	Zeitaufwand und Wege beim Spanen .....	130
4.2.1.4	Bedeutung und Einflüsse der Schnittgeschwindigkeit .....	131
4.2.1.5	Standgrößen und Standkriterien .....	135
4.2.1.6	Schnittgeschwindigkeiten, Vorschübe und Oberflächenqualitäten (Rauheiten) .....	136
4.2.1.7	Spanarten, Spanformen, Bearbeitbarkeit (Spanbarkeit) .....	137
4.2.1.8	Schneidstoffe und Wirkmedien (Kühl-, Schmier-, Spül-Mittel) .....	142
4.2.1.9	Besonderheiten beim Spanen harter Werkstoffe bei Trocken- sowie HSC- und HPC-Bearbeitungen .....	148
4.2.1.10	Verfahrenstypische Besonderheiten beim Spanen (jeweils Berechnungen zu Komponenten der Spanungskraft, Leistungen, Maschinenhauptzeiten) .....	149
4.2.1.11	Fein-, Mikro- und Präzisionsbearbeitung .....	184
4.2.1.12	Herstellung von Verzahnungen .....	204
4.2.1.13	Berechnung und Gestaltung ausgewählter Spannungswerkzeuge .....	222
4.2.2	Abtragen und Generieren .....	229
4.2.2.1	Verfahren der Abtragtechnik .....	229
4.2.2.2	Generieren von Bauteilen (Rapid Product Development/Rapid Prototyping) .....	251
4.2.3	Optimierung von Spannungsvorgängen und Maschinenauslastungen .....	254
<b>5</b>	<b>Fügetechnik – Übersichten zum Schweißen und Schneiden, Löten, Kleben und zu sonstigen Fügeverfahren</b> .....	<b>258</b>
5.1	Schweißen und Schneiden .....	258
5.1.1	Schweißbeignung, -sicherheit, -möglichkeiten (Schweiß-, Schweißfolgeplan) .....	258
5.1.2	Verfahren zum Schweißen und Schneiden .....	260
5.1.3	Schweißgerechte Konstruktion von Bauteilen .....	281
5.1.3.1	Stoß- und Nahtarten, Formen von Schweißfugen .....	281
5.1.3.2	Zeichnerische Darstellungen von Schweißverbindungen .....	284
5.1.3.3	Abmessungen von Schweißnähten, Berechnungen einfacher Schweißverbindungen; Nahtwertigkeit und Nahtformkoeffizient .....	284
5.1.3.4	Schrumpfungen an geschweißten Teilen .....	287
5.1.3.5	Grundsätze und typische Beispiele schweißgerechter Konstruktion von Bauteilen .....	289
5.1.3.6	Kennzeichnung von Schweißpositionen und Rationalisierungsansätze beim Schweißen .....	296
5.2	Löten von Einzelteilen .....	297
5.2.1	Einteilung/Zuordnung von Lötverfahren, Löteignung/Lötbarkeit .....	297
5.2.2	Lötverbindung, Lote und Flussmittel, Lötbarkeit von Werkstoffen, Verfahrensvarianten .....	300
5.2.3	Lötgerechte Konstruktion von Bauteilen; Zeichnerische Darstellung von Lötverbindungen .....	305
5.3	Kleben von Bauteilen .....	308
5.3.1	Aufbau von Klebeverbindungen; Vorteile, Anwendungsgrenzen und Besonderheiten beim Kleben [76] .....	308
5.3.2	Klebstoffarten (DIN EN 923); Grundvorgänge beim Kleben .....	309
5.3.3	Empfehlungen zur klebegerechten Konstruktion und Festigkeitsprüfung von Bauteilen .....	310
5.3.4	Gesundheits- und Arbeitsschutz beim Kleben .....	314
5.4	Übersicht zu sonstigen Verfahren zur Verbindung von Bauteilen und Baugruppen .....	314
<b>6</b>	<b>Beschichten – Herstellung fest haftender metallischer und nichtmetallischer Schichten</b> .....	<b>315</b>
6.1	Beschichten mit metallischen Überzügen .....	316
6.2	Beschichten mit nichtmetallischen Überzügen .....	321
6.3	Beschichten aus dem gas- oder dampfförmigen Zustand (PVD – Physical Vapour Deposition, CVD – Chemical Vapour Deposition) .....	322
<b>7</b>	<b>Änderungen von Stoffeigenschaften – Härten, Glühen, Vergüten</b> .....	<b>324</b>
7.1	Zusammenhänge bei der Änderung von Stoffeigenschaften (Thermische, Thermo-chemische und thermo-mechanische Verfahren) .....	324
7.2	Temperaturverläufe bei typischen Wärmebehandlungsverfahren .....	327
7.2.1	Glühverfahren für Eisenwerkstoffe .....	327
7.2.2	Glühmethoden für Leichtmetalle .....	328
7.2.3	Wärmebehandlungen mit signifikanten Änderungen der Stoffeigenschaften .....	328

7.2.4	Härten auf Martensit und Vergüten	330
7.2.5	Nitrieren von Werkstoffen	330
7.3	Wärme-, Abkühl-, Halte- und Perlitisierungszeiten bei der Wärmebehandlung von Stahlwerkstoffen	331
7.4	Zusammenhänge zur Ermittlung von Aufkohlungs- und Nitrierzeiten	333
7.5	Temperaturverläufe beim Abkühlen/Abschrecken	335
<b>8</b>	<b>Kalkulationen (Zeiten, Kosten, Preise, ...); Arbeitsstudien und Investitionsrechnungen</b>	<b>337</b>
8.1	Berechnungen von Kosten und Preisen	337
8.2	Bestimmung technisch-organisatorisch begründeter Durchlaufzeiten (DLZ)	338
8.3	Durchführung von Arbeitsstudien	341
8.4	Typische Methoden für/bei Investitionsrechnungen	341
<b>Anhang</b>		<b>343</b>
<b>T 1</b>	<b>Allgemeine Übersichten</b>	<b>343</b>
T 1.1	ISO-Toleranzen für Wellen und Bohrungen (Auszüge)	343
T 1.2	Erreichbare Rauheiten $R_z$ in Abhängigkeit unterschiedlicher Bearbeitungsverfahren	347
T 1.3	Zusammenfassende Übersichten zu mechanischen Eigenschaften typischer Maschinenbauwerkstoffe (Auszüge)	348
T 1.3.1	Stahl- und Gusswerkstoffe	348
T 1.3.1.1	Unlegierte Baustähle; DIN EN 10 025	348
T 1.3.1.2	Vergütungsstähle; DIN EN 10 083-1/2	349
T 1.3.1.3	Einsatzstähle; DIN EN 10 084	352
T 1.3.1.4	Wälzlagerstähle; DIN EN ISO 683-17	353
T 1.3.1.5	Automatenstähle; DIN EN 10 087	354
T 1.3.1.6	Gusseisen mit Lamellengraphit; DIN EN 1561	355
T 1.3.1.7	Gusseisen mit Kugelgraphit; DIN EN 1563	356
T 1.3.1.8	Stahlguss; DIN 1681	356
T 1.3.1.9	Warmfester Stahlguss; DIN EN 10 213-2	357
T 1.3.1.10	Temperguss; DIN EN 1562 (TGW und TGS)	357
T 1.3.2	Duro- und Thermoplaste	358
<b>T 2</b>	<b>Tabellen zur Urformtechnik</b>	<b>361</b>
T 2.1	Spezielle Übersicht zur Gestaltung von Radien und Übergängen an Gussteilen	361
T 2.2	Empfehlungen für zulässige Maßabweichungen an Gießereimodellen	361
<b>T 3</b>	<b>Tabellen und Tabellen zur Umformtechnik</b>	<b>362</b>
T 3.1	Formänderungsfestigkeiten und Fließkurven	362
T 3.1.1	Auswahl typischer Formänderungsfestigkeiten $k_{fl} = f(\varphi)$ bei der Kaltverformung weichgeglühter Werkstoffe	362
T 3.1.2	Beispiele für Fließkurven typischer Maschinenbauwerkstoffe (Kaltumformung)	362
T 3.1.3	Einflüsse von Umformtemperaturen (Warmumformung), Umformgeschwindigkeiten auf das Verformungsverhalten metallischer Werkstoffe	364
T 3.2	Schmieden/Gesenkschmieden	365
T 3.2.1	Gestaltungsgrundsätze für Gesenkschmiedeteile	365
T 3.2.2	Zulässige Maß- und Oberflächenabweichungen	366
T 3.3	Richtwerte und Empfehlungen zum Stauchen	367
T 3.3.1	Nomogramm zur Bestimmung des Kraftbedarfes beim Kaltstauchen unterschiedlicher Werkstücke aus Stahl- und NE-Werkstoffen	367
T 3.3.2	Zulässige Formänderungen beim Stauchen	367
T 3.3.3	Erreichbare Maßgenauigkeiten beim Kaltstauchen	367
T 3.4	Werte für das Fließpressen	368
T 3.4.1	Nomogramme zur Ermittlung der Fließpresskraft	368
T 3.4.2	Empfehlungen zur Teilegestaltung beim Fließpressen	370
T 3.4.3	Herstellbare Teileabmessungen	370
T 3.4.4	Erreichbare Oberflächenabweichungen beim Kaltfließpressen	371
T 3.5	Gewindefurchen und -formen	371
T 3.5.1	Vorbohrdurchmesser für Metrische ISO-Regelgewinde; DIN 13; DIN ISO 965-1	371
T 3.5.2	Vorbohrdurchmesser für Whitworth-Gewinde; BS 84	371
T 3.5.3	Vorbohrdurchmesser für US-Amerikanisches Unified-Grobgewinde; UNC-2B; ASME B 1.1; ISO 5864	372

T 3.6	Gleichungen zum Tiefziehen	372
T 3.6.1	Berechnungen von Flächenelementen beim Tiefziehen	372
T 3.6.2	Bestimmung von Rondendurchmessern für typische Fertigteilformen	374
T 3.7	Zusammenhänge beim Biegen	377
T 3.7.1	Nomogramm zur Bestimmung von Biegekräften beim Biegen von V-Formen	377
T 3.7.2	Bestimmung der Gesenkwerte in Abhängigkeit vom Biegehalbmesser	378
<b>T 4</b>	<b>Spanen (Schneiden/Zerteilen); Abtragen; Generieren</b>	<b>379</b>
T 4.1	Tabellen und Richtwerte zum Spanen	379
T 4.1.1	Korrekturfaktoren für Schnittgeschwindigkeit und Spanwinkel	379
T 4.1.2	Korrekturfaktoren zur Berechnung von Schnittkräften	380
T 4.1.3	Spezifische Schnittkräfte der spanenden Fertigung	381
T 4.1.4	Richtwerte für Schnittgeschwindigkeiten $v_c$ in $m \cdot min^{-1}$	382
T 4.1.5	Zusammenhänge zwischen Oberflächenrauheiten und Herstellkosten beim Spanen	385
T 4.1.6	Entstehungsbedingungen und Wirkungen von Spanarten	386
T 4.1.7	Wirkungen und Nutzungsmöglichkeiten typischer Bestandteile von KSSM (Kühl-, Schmier-, Spülmittel) auf Bearbeitungsvorgang und Arbeitsergebnis (vgl. VSI)	387
T 4.1.8	Spezielle verfahrensspezifische Richtwerte	387
T 4.1.8.1	Drehen (Lang-, Plan-, Fein-, Gewindedrehen)	387
T 4.1.8.2	Hobeln und Stoßen	397
T 4.1.8.3	Bohren (Bohren ins Volle, Auf-, Tief-, Fein-, Gewindebohren), Senken und Reiben	398
T 4.1.8.4	Fräsen (inkl. Gewindeherstellung, HSC- Fräsen und Bearbeitung harter Werkstoffe)	416
T 4.1.8.5	Sägen (Kreis- und Bandsägen)	424
T 4.1.8.6	Räumen (Außen-, Innen-)	425
T 4.1.8.7	Schleifen (Rund-, Flach-, Stech-, Zieh- und Schwingziehschleifen); Läppen und Polieren	426
T 4.1.8.8	Besonderheiten bei der Herstellung von Zahnrädern (Werte aus [14])	430
T 4.1.8.9	Spanen spezieller Werkstoffe	435
T 4.2	Tabellen und Richtwerte zum Abtragen und Generieren	438
T 4.2.1	Ultraschallbearbeitung (USM); Berechnungen an Sonotroden [60], [61]	438
T 4.2.2	Elektrochemisches Abtragen (ECM); Abtragverhalten typischer Werkstoffgruppen bei Bearbeitung mit NaCl- und NaNO <sub>3</sub> -Elektrolytlösungen [4]	439
T 4.2.3	Senk- und Drahterodieren (EDM)	440
T 4.2.4	Laserschweißen und -schneiden (LBM)	442
T 4.2.5	Generieren von Bauteilen (Rapid Product Development – RPD; Rapid Prototyping – RP)	445
<b>T 5</b>	<b>Tabellen, Richtwerte und Empfehlungen zum Fügen von Bauteilen, Beschichten und Ändern von Stoffeigenschaften</b>	<b>447</b>
T 5.1	Übersichten zur Fügetechnik	447
T 5.2	Berechnungen und Empfehlungen für das Beschichten	462
T 5.3	Übersichten zur Stoffeigenschaftsänderung	463
	<b>Literaturverzeichnis</b>	<b>465</b>
	<b>Sachwortverzeichnis</b>	<b>468</b>